

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

PRESIDENCIA
ACTIVIDAD PROSPECTIVA

CONVERSION DE ENERGIA SOLAR EN ELECTRICIDAD

ESTUDIO DE EVALUACION

VOLUMEN 1

Jaime A. Moragues y Walter Scheuer

Departamento de Física

Gerencia de Investigaciones

BUENOS AIRES

1976

TEMARIO

Volumen 1

PROLOGO

NOTA PRELIMINAR

PARTE I

ENERGIA SOLAR: RECURSOS Y APLICACIONES

1. GENERALIDADES
2. RADIACION SOLAR. DATOS FISICOS
3. DEMANDA ENERGETICA Y DISPONIBILIDAD DE ENERGIA DE ORIGEN SOLAR
4. UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR

PARTE II

CONVERSION DE ENERGIA SOLAR EN ELECTRICIDAD

5. INTRODUCCION
6. CONVERSION FOTOTERMICA
7. CONVERSION FOTOVOLTAICA
8. SINTESIS Y CONCLUSIONES

Volumen 2

PARTE III

CONVERSION FOTOTERMICA

9. CONCEPTOS GENERALES
10. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SISTEMAS DE CONVERSION
11. ANALISIS ECONOMICO
12. PROGRAMAS NACIONALES DE CONVERSION FOTOTERMICA
13. CONCLUSIONES
14. APENDICE: DETALLES TECNICOS ADICIONALES DE LOS SISTEMAS DE COLECCION Y CONVERSION

PARTE IV

CONVERSION FOTOVOLTAICA

15. INTRODUCCION
16. CARACTERISTICAS TECNICAS DE CELULAS FOTOVOLTAICAS
17. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DE ELECTRICIDAD
18. ANALISIS ECONOMICO
19. PROGRAMAS NACIONALES DE CONVERSION FOTOVOLTAICA
20. CONCLUSIONES

PROLOGO

La Comisión Nacional de Energía Atómica, como organismo responsable de integrar la energía nuclear en el sector productivo de la Nación, necesita disponer de información actualizada sobre las demás tecnologías energéticas, necesidad que se manifiesta no solamente en relación con las ya tradicionales y probadas sino en especial respecto de fuentes no convencionales que presenten potencial significativo. Su carácter de institución de investigación, desarrollo y producción, y la infraestructura existente en ella, hacen posible, además, que la CNEA contribuya al adelanto de la utilización de estas últimas en el país. Entre las tareas asignadas a la Actividad Prospectiva de la Presidencia de la CNEA figura, precisamente, la de estudiar y evaluar las nuevas tecnologías nucleares y no nucleares y asesorar sobre la conveniencia de promover estudios adicionales, investigaciones y desarrollos sobre ellas.

La producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar es un caso típico de esta clase de tecnologías. Por una parte, es la única fuente, en lo que respecta a recursos disponibles en escala mundial, con capacidad de competición y complementación clara, en el largo plazo, con la energía nuclear. Por otra, es una fuente no contaminante. Ambas circunstancias, enmarcadas en la denominada "crisis energética" y la generalizada preocupación por el costo ecológico de la civilización industrial, han provocado un enorme incremento de las investigaciones sobre el tema en los últimos años, reubicándolo como un excitante estudio de frontera ampliamente estimulante de la creatividad ingenieril y científica. Es claro que su utilización real futura estará determinada por razones de competitividad económica y no por el presente entusiasmo, pero tampoco cabe duda de que éste será un factor decisivo para alcanzarla.

El presente informe constituye una contribución de la CNEA en la dirección recién expuesta. En él se analizan la situación mundial actual y las tendencias de las líneas más importantes en estudio, tal cual surgen de la información disponible, y se consignan algunos datos sobre el potencial del país en el campo helioenergético. Su realización fue decidida en 1974 y encargada,

mediante un acuerdo con la entonces Area de Investigación, Desarrollo y Servicios, a dos científicos del Departamento de Física Nuclear interesados en el tema, los Dres. J.A. Moragues y W. Scheuer. Como primera etapa, ambos profesionales realizaron un viaje de información por Europa y Estados Unidos de Norteamérica de siete semanas de duración, a lo largo de las cuales asistieron a un curso y a tres congresos específicamente dedicados a la conversión de energía solar y visitaron doce centros especializados en el mismo tema. La información recolectada fue significativamente ampliada a través de la recepción posterior de numerosos informes, en su mayor parte enviados como consecuencia de los contactos establecidos en el viaje.

Dentro del panorama energético nacional, la participación de la energía solar en el mercado eléctrico a largo plazo puede llegar a tener una importancia considerable. En el país se dan las condiciones básicas para ello. En primer término, la insolación de gran parte del mismo es elevada, y si bien no llega a los valores máximos registrados en algunas regiones de la Tierra, está claramente por encima del promedio mundial. En segundo, la gran extensión del territorio posibilita la captación de la energía solar en gran escala sin originar conflictos respecto de la utilización óptima de su superficie, que es una limitación respecto de su posible uso masivo en algunos países del mundo.

La producción actual de energía eléctrica en la Argentina es del orden de los 1200 kWh por habitante-año, con una posición relativa 30% inferior al promedio mundial y más de 8 veces por debajo del de los Estados Unidos de Norteamérica y de Suecia. El camino hacia nuevos niveles puede recorrerse de muchas maneras, pero es claro que la ruta óptima está caracterizada por la utilización máxima de la capacidad nacional, de modo que las necesidades de cada etapa se vayan cubriendo con las fuentes más apropiadas para las condiciones y disponibilidades locales dominantes en ella, que no tienen por qué ser las que prevalezcan en la misma época en países más desarrollados y poblados y dominan, por lo tanto, la oferta internacional de equipamiento.

No cabe duda que hay acuerdo general en el país sobre la conveniencia de seguir ese camino. La posibilidad real de recorrerlo, sin embargo, no depende de acuerdos declamatorios, sino de la capacidad que muestre la Argentina para reconocer con objetividad las

verdaderas dimensiones y posibilidades de cada uno de sus recursos y, más aún, de la energía técnica y financiera con que sea capaz de emprender y mantener un esfuerzo propio de investigación y desarrollo inspirado en esas premisas.

Si este informe contribuye a estimular dicho esfuerzo, habrá cumplido uno de sus propósitos más importantes.

Martín B.A. Crespi
Prospectiva

NOTA PRELIMINAR

El presente trabajo contiene información referente al desarrollo alcanzado en la conversión de energía solar a electricidad para utilización terrestre. En promedio está actualizado hasta mediado de 1975 y cubre las siguientes regiones: EE.UU. de Norteamérica, Europa Occidental, Japón, Rusia y Latinoamérica.

La energía solar que incide sobre la tierra puede ser usada directamente o después que el sistema Tierra-atmósfera la haya convertido en otra forma de energía. Dentro de la primera posibilidad, existen diversas maneras de transformar la energía solar en energía eléctrica mediante técnicas apropiadas. Se las puede agrupar según sean de conversión directa o indirecta. En el primer grupo se incluyen tres procesos: termoiónico, termoeléctrico y fotovoltaico; en el segundo sólo uno, en el que, por conversión fototérmica, se produce vapor con el cual se acciona una turbina. En este informe analizamos únicamente las conversiones fotovoltaica y fototérmica, dado que son las que aparecen como más promisorias, estando, además, el estudio de las restantes muy poco desarrollado. Respecto a la generación de electricidad a partir de energía solar naturalmente convertida a otra forma, como ser la energía eólica o la obtenible a partir del gradiente de temperatura en los mares, si bien presentan grandes posibilidades, son de por sí de tal complejidad que deben ser objeto de análisis por separado.

El Volumen 1 del presente estudio consta de dos partes. En la Parte I se incluyen generalidades sobre la energía solar; en la Parte II se dan los aspectos técnicos y económicos más significativos de los sistemas de conversión fototérmica y fotovoltaica, comparando a éstos entre sí y con sistemas convencionales de generación de electricidad. El Volumen 2 amplía la Parte II con un análisis más profundo, tanto de la información técnica y económica referente a ambos sistemas de conversión cuanto de la comparación de éstos con los sistemas convencionales.

En este informe no analizamos la posibilidad de construir y utilizar en la Argentina centrales eléctricas a energía solar. Ese análisis constituye una tarea para la cual, aparte de la información aquí reunida, será esencial la colaboración de otros grupos de trabajo de la CNEA y de otras instituciones, con experiencia en una serie de campos específicos. Un conocimiento imprescindible, que deberá ser ampliado por estar escasamente disponible a la fecha, es el de la insolación (global y directa) en la República Argentina. Asimismo, deberá efectuarse un análisis de disponibilidad de

materiales y de recursos industriales nacionales, para que la selección del sistema de generación más conveniente sea hecha teniendo en cuenta no sólo las características técnicas y económicas específicas, sino también el criterio de máxima adaptabilidad a las necesidades y posibilidades de la Argentina. Se puede adelantar que la tecnología implicada no es de gran complejidad, estando al alcance de países con desarrollo tecnológico medio, como nuestro país.

Consideramos que las decisiones referentes al desarrollo de la capacidad de generación de potencia eléctrica en el país deben contemplar la conveniencia de incorporar centrales solares a partir de aproximadamente 1990, fecha para la cual se prevé que serán económicamente competitivas; eventualmente, para algunos emplazamientos seleccionados, esta condición se satisfará antes. En la clara fijación de prioridades requerida deberá valorarse debidamente que las centrales solares no producen contaminación ambiental y que emplean una fuente de energía primaria inagotable y de libre disponibilidad.

PARTE I

ENERGIA SOLAR: RECURSOS Y APLICACIONES

I N D I C E

1.	<u>GENERALIDADES</u>	1
2.	<u>RADIACION SOLAR. DATOS FISICOS</u>	3
2.1.	CONSTANTE SOLAR	3
2.2.	RADIACION SOLAR INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE	3
3.	<u>DEMANDA ENERGETICA Y DISPONIBILIDAD DE ENERGIA DE ORIGEN SOLAR</u>	11
	- Energía solar que Incide sobre la tierra	11
	- Consumo mundial de energía	11
	- Reservas mundiales de combustible fósil	12
	- Producción de energía eléctrica	12
4.	<u>UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR</u>	19
4.1.	PERSPECTIVAS DE APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO	19
4.2.	PROGRAMAS DE APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR Y PRESUPUESTOS ASIGNADOS.	26
	- EE.UU. de Norteamérica	26
	- Japón	31
	<u>REFERENCIAS</u>	33

1. GENERALIDADES

Con el estado actual de los conocimientos, para la utilización de la energía solar únicamente se requieren desarrollos tecnológicos que permitan reducir los costos de los sistemas de conversión a otras formas de energía. Por lo tanto -dejando de lado progresos científicos fundamentales que puedan originar nuevos métodos de conversión- los factores que determinarán si la energía solar se utilizará para contribuir masivamente a satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad serán de orden económico, político y ecológico. Consecuentemente, la finalidad primordial de un estudio de las posibilidades actuales de aprovechamiento de la energía solar es establecer en qué proporción se puede explotar esa fuente de energía, teniendo en cuenta los conocimientos tecnológicos presentes, los factores económicos y los condicionamientos ecológicos. Dicho análisis lo efectuaremos, dentro de lo que permita la información disponible, para el caso particular de la generación de electricidad a partir de energía solar, tema de este informe.

Dos características importantes de la energía solar son: su condición de energía prácticamente inagotable y el hecho de no constituir un agente contaminante. En este contexto, es conveniente recordar que no sólo son importantes las contaminaciones materiales del aire y del agua, sino que también lo es la térmica. La energía solar que llega a la Tierra es el elemento más importante del balance calórico de ésta y su aprovechamiento sólo alterará en pequeña medida la distribución geográfica del proceso de transferencia de esa energía al sistema Tierra-atmósfera (y aun este efecto estará circunscripto a áreas pequeñas en comparación con la superficie terrestre). Además, es una fuente de energía disponible, en mayor o menor grado, en cualquier lugar del planeta, presentando la ventaja de que, en muchos casos, puede ser colectada y transformada en el lugar de utilización. Esto último puede ofrecer ventajas económicas considerables, particularmente en áreas remotas, para las cuales los costos de transporte de combustibles convencionales o la distribución de energía eléctrica pueden ser muy elevados.

Como contrapartida, la energía recibida desde el sol tiene baja densidad y su suministro es intermitente. Ello significa que es necesario recogerla sobre superficies relativamente grandes y, eventualmente, concentrarla antes de su conversión a una forma utilizable de energía. Además, la energía necesaria para las horas nocturnas debe colectarse en las horas de sol e, inclusive, deben preverse períodos relativamente largos (varios días) totalmente nublados. Por ello, el aprovechamiento de la energía solar requiere

desarrollar no sólo dispositivos que permitan convertirla en una forma usable, sino también disponer de buenos sistemas de acumulación.

En esta primera parte del informe suministramos algunos datos físicos que permiten dar una idea de la magnitud de energía de origen solar de que se dispone en relación a las necesidades energéticas actuales y futuras de la humanidad. Asimismo, damos un listado de aplicaciones posibles, agrupándolas según su concreción sea probable a corto, mediano o largo plazo. Finalmente, como ejemplo de los programas de aprovechamiento de la energía solar en ejecución en diversos países, describimos con algún detalle los correspondientes a EE. UU. de N.A. y al Japón.

2. RADIACION SOLAR. DATOS FISICOS

La energía solar es generada por reacciones complejas de fusión nuclear producidas en el sol. A los fines prácticos, el sol puede considerarse como una enorme esfera incandescente, cuya temperatura de emisión es de 5760 K (temperatura de la fotosfera). La radiación emitida atraviesa el espacio y tiene que pasar por la atmósfera antes de alcanzar la superficie terrestre, sufriendo modificaciones en ésta por procesos de absorción y dispersión. A la energía solar que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo (densidad de flujo de energía), se la denomina irradiancia; las siguientes son algunas relaciones entre las unidades más usuales en que se la expresa:

$$\begin{aligned} 1 \text{ W.m}^{-2} &= 1 \text{ Joule.seg}^{-1}.\text{m}^{-2} = 10^3 \text{ erg.seg}^{-1}.\text{cm}^{-2} \\ &= 2,389 \cdot 10^{-5} \text{ cal.seg}^{-1}.\text{cm}^{-2} \\ &= 1,432 \cdot 10^{-3} \text{ Langley.min}^{-1} \\ &= 8,795 \cdot 10^{-5} \text{ Btu.seg}^{-1}.\text{ft}^{-2}, \end{aligned}$$

siendo 1 Langley = 1 cal.cm⁻².

2.1 CONSTANTE SOLAR

Se denomina constante solar a la cantidad de energía total recibida por unidad de tiempo sobre la unidad de área expuesta en forma normal a los rayos solares en ausencia de atmósfera terrestre; por energía total se entiende la transportada por las radiaciones de todas las longitudes de onda existentes en el espectro solar. La constante solar se determina a la denominada distancia media del sol a la tierra (149,5 millones de km). Un valor reciente ¹⁾ de aceptación general es de 1353 W/m².

Esta irradiancia extraterrestre, correspondiente por lo tanto a masa atmosférica cero (AM0), tiene la distribución espectral mostrada en la Fig. 2.1; está compuesta en un 8 % por radiación ultravioleta, 41 % por luz visible y 51 % por radiación infrarroja. Como se observa en dicha figura, esta distribución no pertenece exactamente a la emisión de un cuerpo negro a la temperatura de 5760 K, pero a los fines energéticos se puede aceptar como tal.

2.2 RADIACION SOLAR INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Al atravesar las capas atmosféricas que rodean la Tierra, se producen efectos de absorción y dispersión de la radiación solar que modifican su intensidad y su distribución espectral (de hecho, sólo son significativos

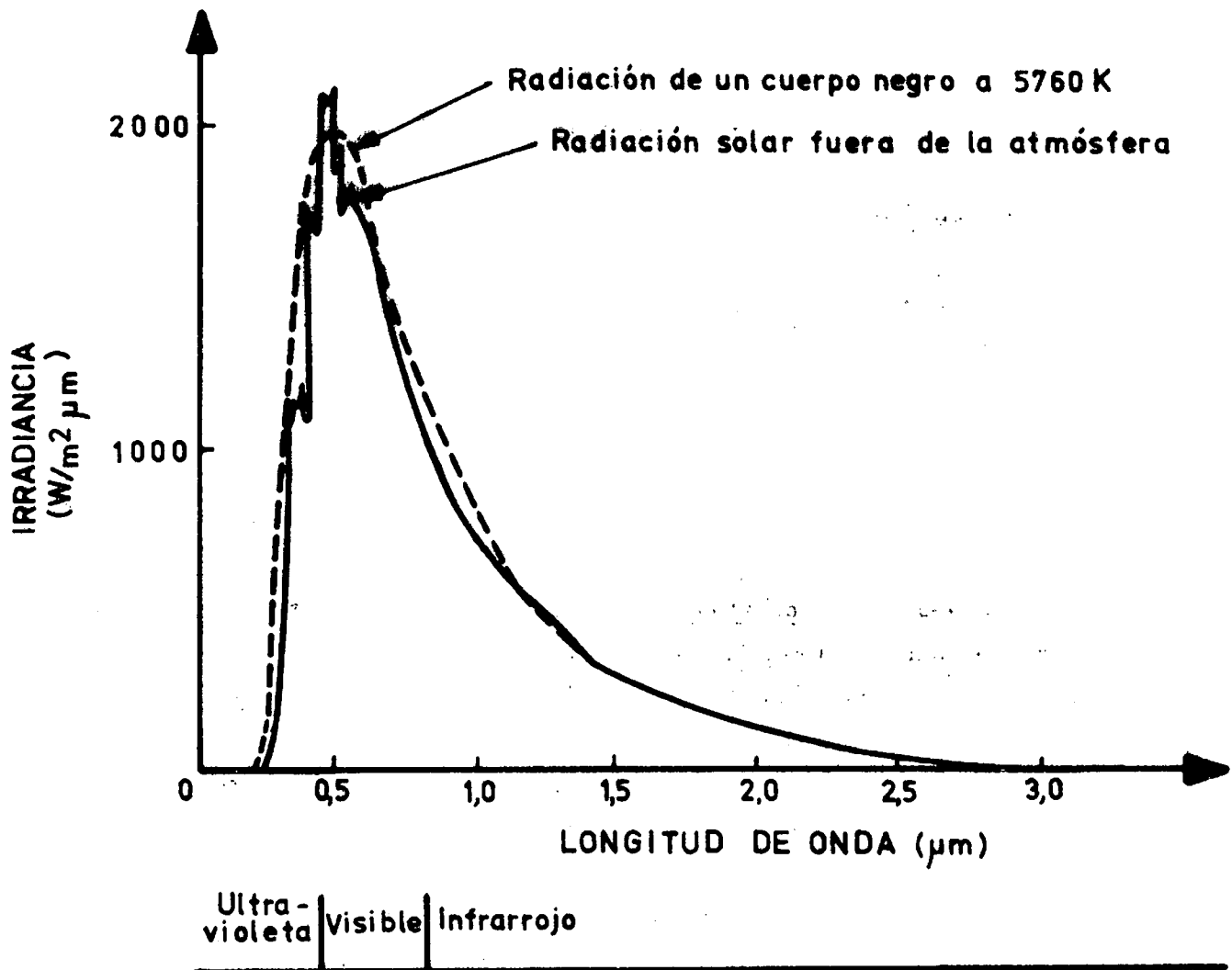


Fig. 2.1: Distribución espectral de la irradiancia AM0, obtenida de datos experimentales. Su composición corresponde a 8 % de radiación ultravioleta, 41 % de radiación visible y 51 % de radiación infrarroja. De Refs. 1 y 2.

los producidos en la capa más densa, la troposfera, de ~ 11 km de espesor). Por lo tanto, sobre la tierra se recibe radiación que llega directamente desde el disco solar y radiación que ha sufrido dispersión al pasar por la atmósfera. Esta distinción es importante; por ejemplo, hay equipos de aprovechamiento de la energía solar que funcionan sobre la base de concentración de la radiación previa a su conversión a otra forma de energía y que sólo trabajan con radiación directa.

RADIACION DIRECTA, DIFUSA Y GLOBAL: La radiación directa (I) es, como dijimos, la radiación que atraviesa las capas atmosféricas sin sufrir modificaciones; igual que la radiación extraterrestre, se la mide sobre un plano perpendicular a los rayos solares. La radiación difusa o dispersa (D) es la que llega a la tierra después de haber sufrido procesos de dispersión en las capas atmosféricas y en las nubes; la irradiancia difusa es medida sobre un plano horizontal. Finalmente, la radiación global (G) es la suma de las dos primeras, ambas medidas sobre un plano horizontal. La irradiancia global es dada por $G = D + I \cdot \sin h$, donde la altura del sol h es expresada como el ángulo formado por las líneas observador-horizonte y observador-sol, medido a partir de la primera. La relación entre radiación directa y difusa depende del espesor de atmósfera a atravesar (latitud, hora del día); de su humedad y de la nubosidad.

IRRADIANCIA AM1, AM2, AM3, ETC.: Normalmente se expresa la irradiancia en condiciones atmosféricas ideales, o sea con cielo despejado y ambiente seco. Se la normaliza, además, a nivel del mar y para distintas alturas del sol. Para ello, se considera que la radiación solar atraviesa una atmósfera terrestre cuando el sol está ubicado en el cenit, o sea $h = 90^\circ$. Luego, se denominan irradiancias AM1, AM2, AM3, etc., a las correspondientes a alturas del sol tales que la radiación atraviesa una, dos, tres, etc. atmósferas terrestres. El índice numérico está relacionado con la altura h del sol a través de la relación $1/\sin h$.

La distribución espectral será, por supuesto, distinta para las diferentes condiciones. Como ejemplo, en la Fig. 2.2 se muestran las distribuciones espectrales de la radiación solar directa para los casos de irradiancias AM1, AM2, AM4 y AM8, obtenidas teóricamente a partir de la irradiancia AM0 al considerar el efecto de la atmósfera sobre las distintas longitudes de onda. Como comparación se da, en cada caso, la correspondiente distribución para AM0. En la Tabla 2.1 consignamos valores calculados de irradiancias directa, difusa y global para distintas posiciones del sol y en condiciones de cielo despejado y ambiente seco.

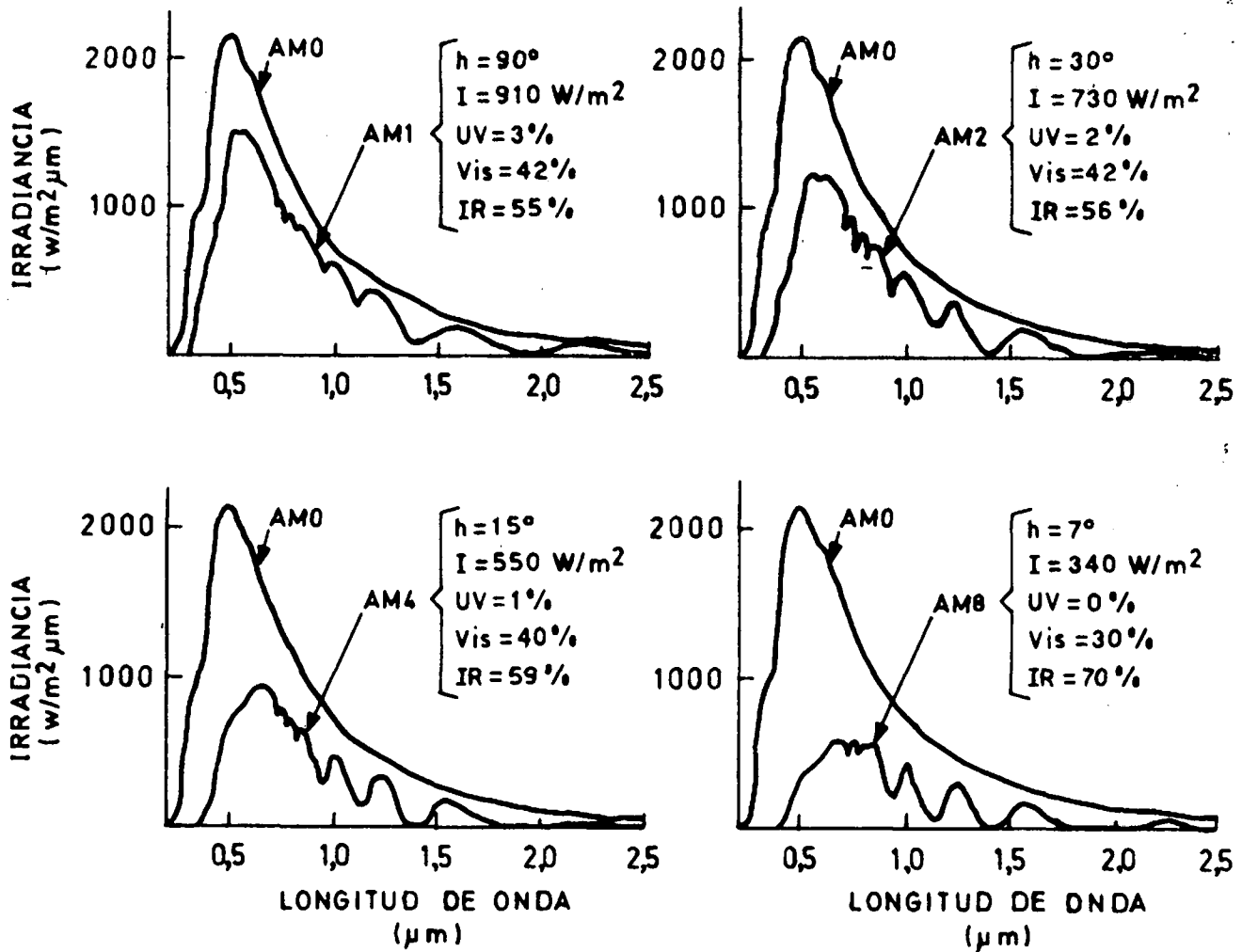


Fig. 2.2: Distribución espectral de radiación solar directa a nivel del mar con cielo claro y ambiente seco. Valores calculados conociendo la composición atmosférica. En cada caso se da la altura (h) del sol, expresada como el ángulo formado por las rectas observador-horizonte y observador-sol; la irradiancia directa total (I) y la proporción (en por ciento) de radiación ultravioleta (UV), visible (Vis) e infrarrojo (IR). La distribución AM0 es dada como comparación; sus características son: irradiancia de 1353 W/m^2 y composición de UV=8%, Vis=41%, IR=51%. En el eje de las ordenadas, la irradiancia corresponde a la que llega dentro de un intervalo de longitudes de onda de $0,1 \mu\text{m}$. De Ref. 3.

Tabla 2.1

Ejemplo de relaciones de radiación directa, difusa y global para distintas horas del día, con cielo claro y ambiente seco ^{a)}

Posición del sol		Irradiancia (W/m ²)			
Altura del sol (h)	Masas atmosféricas	Directa		Difusa D	Global $G = I \cdot \sin h + D$
		I	$I \cdot \sin h$		
	AM0	1353	---	---	---
90°	AM1	910	910	130	1040
30°	AM2	730	360	80	440
15°	AM4	550	140	50	190
7°	AM8	340	40	30	70

a) Datos tomados de Ref. 3 . La irradiancia directa se mide sobre una superficie perpendicular a la dirección de la radiación. Las irradiancias difusa y global sobre superficies ubicadas horizontalmente.

Tabla 2.2

Radiación solar global en la República Argentina ^{a)}

Estación	Latitud Longitud	Altura sobre nivel del mar (m)	Período de registro	Energía incidente por día b) (kWh/m ² .día)			Potencia promedio en 24 horas c) (W/m ²)			Potencia pico d) (W/m ²)		
				Junio	Diciembre	Anual	Junio	Diciembre	Anual	Junio	Diciembre	Anual
Tucumán	26°48' S 65°12' O	481	1965-68	2,63	5,86	4,40	110	244	183			620
Pilar (Córdoba)	31°40' S 63°53' O	338	1964-66	2,80	6,63	4,87	117	276	203			660
Mendoza	32°53' S 68°51' O	828	1965-68	2,57	7,93	5,02	107	330	209			690
San Martín (Mendoza)	33°05' S 68°25' O	653	1965-67	2,79	7,95	4,75	116	331	198			720
Buenos Aires	34°35' S 58°29' O	25	1964-68	2,01	6,99	4,50	84	291	187	330 ^{e)}	920 ^{e)}	620
Neuquén	38°57' S 68°08' O	270	1965-68	1,98	8,02	4,80	83	334	200			650

a) Datos obtenidos de Ref. 4 .

b) Para los meses de Junio y Diciembre se da el promedio de los valores correspondientes a todos los días del mes en cuestión, extendido a todos los años en que existen registros. El valor anual es el correspondiente promedio de los promedios mensuales.

c) Valores promedios de energía definidos en b) divididos por 24 horas.

d) Potencia promedio sobre una hora, con el sol alrededor de su posición de altura máxima.

e) Datos del año 1967.

Estas condiciones atmosféricas ideales son reproducibles en laboratorio, permitiendo comparar experimentalmente, a condiciones normalizadas, los comportamientos de dispositivos solares cuya respuesta depende fuertemente de la composición espectral de la radiación. Así, por ejemplo, es usual consignar las eficiencias de células fotovoltaicas a condiciones AM0 y AM1.

La altura máxima del sol para cada lugar es una función de la latitud y de la estación del año, encontrándose entre los límites $h_{\text{máx}} = (90^\circ - \text{latitud}) \pm 23,50^\circ$, donde $23,50^\circ$ es el ángulo que forma la eclíptica con el plano ecuatorial. Por lo tanto, en muchos lugares nunca se tienen condiciones reales de irradiancia AM1; en Buenos Aires, por ejemplo, la altura máxima del sol va de 79° en verano a 32° en invierno.

DISPONIBILIDAD REAL DE RADIACION SOLAR: Desde el punto de vista de la energía disponible en cada lugar, la irradiancia se da como valor promedio de mediciones realizadas en condiciones reales de nubosidad y altura sobre el nivel del mar.

Usualmente, se da la energía incidente sobre la unidad de superficie durante un día. Promediando los valores diarios a lo largo de un mes, se determina la energía solar diaria media disponible en dicho mes. El conjunto de estos promedios mensuales da la distribución anual de la energía solar diaria disponible. Igualmente, es usual dar el promedio anual. Otra forma de consignar información sobre la radiación solar es dar la potencia disponible, expresada como valor promedio durante 24 horas (o sea la energía que llega durante un día, dividida por 24 horas) y la potencia pico, correspondiente al sol en su posición de altura máxima (energía que llega durante una hora para dicha posición del sol). Ambas potencias se dan, como en el caso de la energía, en promedio mensual y anual. En la Tabla 2.2, damos como ejemplo la radiación global medida en seis estaciones de la República Argentina.

3. DEMANDA ENERGETICA Y DISPONIBILIDAD DE ENERGIA DE ORIGEN SOLAR

La cantidad de energía que llega a la superficie de nuestro planeta en forma de radiación solar es enorme. Para justificar esta afirmación haremos algunas comparaciones con la energía que la humanidad requiere para su consumo. A fin de facilitar la comparación de los datos aquí presentados con los dados en otras publicaciones, damos las relaciones entre las unidades de energía más usadas.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kWh} &= 3,60 \cdot 10^6 \text{ Joule} \\
 &= 8,60 \cdot 10^5 \text{ cal (calorías pequeñas)} \\
 &= 3,41 \cdot 10^3 \text{ Btu (British thermal units)} \\
 &= 3,41 \cdot 10^{-15} \text{ Q}^\dagger \\
 &= 1,34 \text{ hph (horse power-hour)} \\
 &= 1,36 \text{ cvh (cheval vapeur-heure)} \\
 &= 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ tec (toneladas métricas equivalentes de carbón)} \\
 &= 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ tep (toneladas métricas equivalentes de petróleo)}
 \end{aligned}$$

Energía solar que incide sobre la tierra

Consideraremos únicamente la radiación incidente sobre Africa, América, Asia, Australia y Europa, o sea sobre una superficie de aproximadamente 132,5 millones de km^2 . De los datos a nuestra disposición, estimamos que la energía solar que llega al área considerada es de 3 a 4 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$. A los fines de comparación, adoptamos un valor de 3,5 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$, promedio anual, al cual le corresponde una potencia promedio sobre 24 horas de $150 \text{ W}/\text{m}^2$. Estos valores implican la disponibilidad de una energía de origen solar de $4,6 \cdot 10^8 \text{ GWh}/\text{día}$ ($1,6 \text{ Q}/\text{día}$) o $1,7 \cdot 10^{11} \text{ GWh}/\text{año}$ ($580 \text{ Q}/\text{año}$). Sin embargo, por razones ecológicas, económicas o técnicas sólo es posible utilizar una fracción de la superficie considerada, debiéndose hacer un análisis particular para cada región (ver, p.ej., pág. 1-13).

Consumo mundial de energía

De acuerdo con los datos suministrados por las Naciones Unidas ⁵⁾, el consumo mundial de energía en todas sus formas fue, para 1972, de $5,9 \cdot 10^7 \text{ GWh}/\text{año}$. Para el año 2000 se estima ⁶⁾ que la tasa anual mundial de consumo de energía será 3 veces mayor que la actual. Por lo tanto, convirtiendo la energía solar con una eficiencia del 20 %, en menos de 0,2% del área continental considerada se podría generar una energía equivalente a la demanda mundial actual y, en 0,5%, la correspondiente a la demanda mundial para el año 2.000.

[†] Aquí Q identifica a la tradicional "unidad Q" = 10^{18} Btu . Nótese que en los EE.UU. de N.A. también suele utilizarse Q como abreviatura de "quad" = 10^{15} Btu .

Tabla 3.1

Disponibilidad mundial de energía de origen solar

Energía solar incidente por día y por m ² (promedio anual)	(kWh/(m ² .día))	3,5
Superficie continental considerada (Africa, América, Asia, Australia, Europa)	(km ²)	132,5 10 ⁶
Energía solar incidente sobre la superficie considerada	(GWh/día) (GWh/año)	4,6 10 ⁸ 1,7 10 ¹¹
Consumo mundial total de energía en 1972 a)	(GWh/año)	5,9 10 ⁷
Reservas mundiales de combustibles fósiles a)	(GWh)	6,3 10 ¹⁰

a) Datos obtenidos de Ref. 5.

Interesante mencionar que, para muchos de los usos tenidos en cuenta en el consumo mundial de energía, basta con convertir la energía solar en térmica a bajas temperaturas, para lo cual la eficiencia es de $\sim 70\%$, aumentando en forma considerable la disponibilidad de energía de origen solar.

Reservas mundiales de combustibles fósiles

Las reservas mundiales totales de combustibles fósiles se estiman ⁵⁾ en $7,8 \cdot 10^{12}$ toneladas ó $6,3 \cdot 10^{10}$ GWh. Esas reservas, no renovables, fueron producidas a lo largo de millones de años por la energía solar a través del proceso de fotosíntesis y concentradas por procesos geológicos. El total de reservas mundiales de petróleo, carbón, lignito y gas natural recién consignadas, que puede considerarse como el capital de energía solar acumulado, es equivalente a la cantidad de energía solar que incide sobre la superficie continental antes mencionada en un período de cuatro meses y medio.

En la Tabla 3.1 hemos resumido los datos de energía solar, demanda energética mundial y reservas de combustibles fósiles arriba discutidos.

Producción de energía eléctrica

Concretándonos al problema específico de este informe, la producción de energía eléctrica, compararemos las demandas para aproximadamente 1990 en el suroeste de EE.UU. de N.A. y en la República Argentina con las posibilidades de satisfacerlas utilizando energía solar.

SUROESTE DE EE. UU. DE NORTEAMERICA: Recientemente se ha realizado ⁷⁾ un análisis de las posibles ubicaciones de centrales solares para la generación de electricidad en el suroeste de EE. UU. de N.A., limitándolo a zonas en las que la energía solar incidente es mayor que $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ (promedio anual). Se excluyeron dentro de esas zonas, terrenos erosionados, regiones de difícil acceso, lagos, ríos, dunas, playas, zonas de recursos naturales, parques, bosques, áreas urbanas, granjas, terrenos de elevado valor. Aplicando un criterio muy restrictivo, del área de $2.670.000 \text{ km}^2$ correspondiente a los ocho estados de la región, quedan 55.700 km^2 como aptos para la ubicación de las centrales (2 % del área total); sobre ellos inciden $10,6 \cdot 10^7$ GWh/año de energía solar. Con una eficiencia total para la conversión de energía solar en electricidad del 16 % y un factor de utilización del terreno del 50 % (espacios necesarios para circular entre colectores), se pueden producir $8,5 \cdot 10^6$ GWh/año. Con un criterio menos restrictivo en la selección de los terrenos, se puede disponer de 7,5 veces más energía eléctrica.

En el mismo trabajo se efectúa un análisis de la demanda de electricidad en el suroeste de los EE. UU. de N.A. para el período 1980-2000. Para

Tabla 3.2

Demanda de electricidad y posibilidad de satisfacerla a partir de energía solar para el suroeste de EE.UU. de N.A. ^{a)}

Superficie del suroeste de EE.UU. de N.A. (8 estados) (km ²)		2.670.000
Superficies aptas para instalar centrales solares ^{b)} (km ²)		55.700
Energía solar que incide sobre la superficie considerada (GWh/año)		$10,6 \cdot 10^7$
Energía eléctrica disponible (16 % eficiencia) (50 % utilización del terreno) (GW _e h/año)		$8,5 \cdot 10^6$
Demanda energía eléctrica S.O. de EE.UU. (GW _e h/año)	1990	$\sim 1,0 \cdot 10^6$
	2000	$\sim 2,0 \cdot 10^6$

a) Datos obtenidos de Ref. 7 .

b) Según criterio restrictivo.

el año 1990, año en el que se espera que entren en operación comercial las centrales solares, la demanda sería de $\sim 1,0 \cdot 10^6 \text{ GW}_e \text{ h/año}$ y para el año 2000 de $\sim 2,0 \cdot 10^6 \text{ GW}_e \text{ h/año}$. En la Tabla 3.2 resumimos los datos discutidos. De ellos surge que para una región de un país altamente industrializado como EE. UU. de N.A. — el cual, de acuerdo a las estadísticas de las Naciones Unidas ⁵⁾, actualmente consume el 33 % del consumo total mundial de energía — sería posible satisfacer la demanda de energía eléctrica para el año 2000 a partir de energía solar solamente.

REPUBLICA ARGENTINA: Según los datos presentados por la Secretaría de Estado de Energía ⁸⁾, la generación de electricidad por centrales del servicio público en todo el país fue, durante los años 1973 y 1974, de 21.580 y 23.030 $\text{GW}_e \text{ h}$, respectivamente. Se considera que estas cifras representan el 80 % del total de la electricidad producida en el país, correspondiendo el 20% restante a autogeneración. Partiendo de estos datos, suponiendo un crecimiento de la demanda entre 1974-75 igual al del período 1973-74 (7%), y utilizando para el período 1975-90 un incremento de la demanda al servicio público del 11% en promedio (según la proyección elaborada por la Gerencia de Centrales Nucleares de la CNEA (Ref. 9)), para el año 1990 se obtiene una necesidad de generación de 125.000 $\text{GW}_e \text{ h}$.

De la Tabla 2.2 y la Ref. 10, se ve que es razonable considerar 4,5 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ como promedio anual de la energía solar incidente sobre la zona del país situada al norte de la provincia de Río Negro (esto corresponde a una potencia promedio en 24 horas de $190 \text{ W}/\text{m}^2$). Tomando 20 % para la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad, se obtienen 330 $\text{kW}_e \text{ h}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$. Por lo tanto, considerando un factor de utilización del terreno del 50 %, para satisfacer la demanda de electricidad en 1990 se necesita un área de colección de 760 km^2 .

Si bien es necesario hacer un estudio de los lugares aptos para la ubicación de centrales solares, similar al que se citara anteriormente, es interesante notar que 760 km^2 equivalen a sólo 0.04 % de la superficie total de la mencionada zona al norte de Río Negro. Por otra parte, provincias de alta insolación como San Juan, San Luis, Mendoza y Salta tienen superficies que oscilan en los 80.000 km^2 las dos primeras y en los 150.000 km^2 las dos últimas. También se puede comparar aquella área con la requerida por los lagos artificiales formados para centrales hidroeléctricas, si bien ésta, para una potencia dada, depende fuertemente de la topología del terreno. Tomemos como ejemplo la central de El Chocón ¹¹⁾, para la cual el espejo de agua cubre, a cota máxima, 820 km^2 , posibilitando la producción de $3,3 \cdot 10^3 \text{ GW}_e \text{ h}$ durante un año medio. La superficie cubierta es aproximadamente la que se necesita para satisfacer

Tabla 3.3

Demanda de energía eléctrica y posibilidades de satisfacerla a partir
de energía solar en la República Argentina

Energía eléctrica generada por cen- trales de servicio público (GW _e h)	Producida ^{a)}	1973	21.580
		1974	23.030
	Demanda ^{b)}	1990	125.000
Energía solar disponible (kWh/(m ² .día)) (promedio anual) (kWh/(m ² .año))			4,5 1.600
Energía eléctrica disponible (20 % de eficiencia) (kW _e h/(m ² .año))			330
Superficie requerida para satisfacer la demanda de electricidad de 1990 (50 % factor utilización terreno) (km ²)			760
Superficies de algunas provincias argentinas (km ²)	San Luis		76.750
	San Juan		86.750
	Mendoza		150.840
	Salta		155.360
Central hidroeléctrica El Chocón ^{c)}	Energía generable (GW _e h)		3.300
	Superficie del espejo de agua (km ²)		820

a) Datos obtenidos de Ref. 8.

b) Datos obtenidos de Ref. 9.

c) Datos obtenidos de Ref. 11.

a partir de energía solar la demanda eléctrica total proyectada para 1990, la cual es 40 veces mayor que la que puede producir El Chocón. Además, debe recordarse que las mejores zonas en las que se pueden instalar centrales solares son, por su elevada irradiancia, las desérticas, las cuales, en general, no son aprovechables para otros fines. En la Tabla 3.3 hemos resumido los datos discutidos.

4. UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR

Como hemos mencionado en el Capítulo 1, para hacer uso de la inmensa cantidad de energía de origen solar disponible, es necesario desarrollar dispositivos que permitan convertirla, a niveles económicamente competitivos, en otras formas de energía. La fase importante que queda por cumplir es diseñar, construir y demostrar la confiabilidad de sistemas que satisfagan la condición de economicidad; en relación a esto último, deben tenerse en cuenta las ventajas ecológicas y la disponibilidad prácticamente libre e inagotable del recurso.

Aun saliéndonos del campo estricto abarcado por el presente informe, creemos ilustrativo dar en esta Introducción una breve enumeración de las aplicaciones más importantes de la energía solar.

4.1. PERSPECTIVAS DE APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

Parte de la radiación solar que llega a nuestro planeta es colectada y convertida en otras formas de energía por el gran sistema termodinámico formado por el conjunto Tierra-atmósfera; la energía eólica, la energía térmica disponible en los océanos, la energía obtenible a través de procesos de bioconversión, son productos de este proceso natural. El hombre puede usar estas formas de energía, o directamente la energía solar, convirtiéndolas en:

- (a) energía térmica, por conversión directa de la radiación solar, por combustión de material orgánico, etc.;
- (b) energía mecánica, por conversión fototérmica, conversión de la energía eólica, utilización del gradiente de temperatura de los océanos, etc.;
- (c) potencia eléctrica, a través de conversión fototérmica o fotovoltaica, conversión de la energía eólica, utilización del gradiente de temperatura de los océanos, etc.;
- (d) combustibles renovables no contaminantes, mediante, por ejemplo, producción fotosintética de materiales orgánicos y posterior conversión a combustibles, biofotólisis o disociación térmica del agua para producir hidrógeno, etc.

Las posibles aplicaciones de estas formas de energía pueden clasificarse de acuerdo a los plazos que se consideran necesarios para que resulten económicamente competitivas.

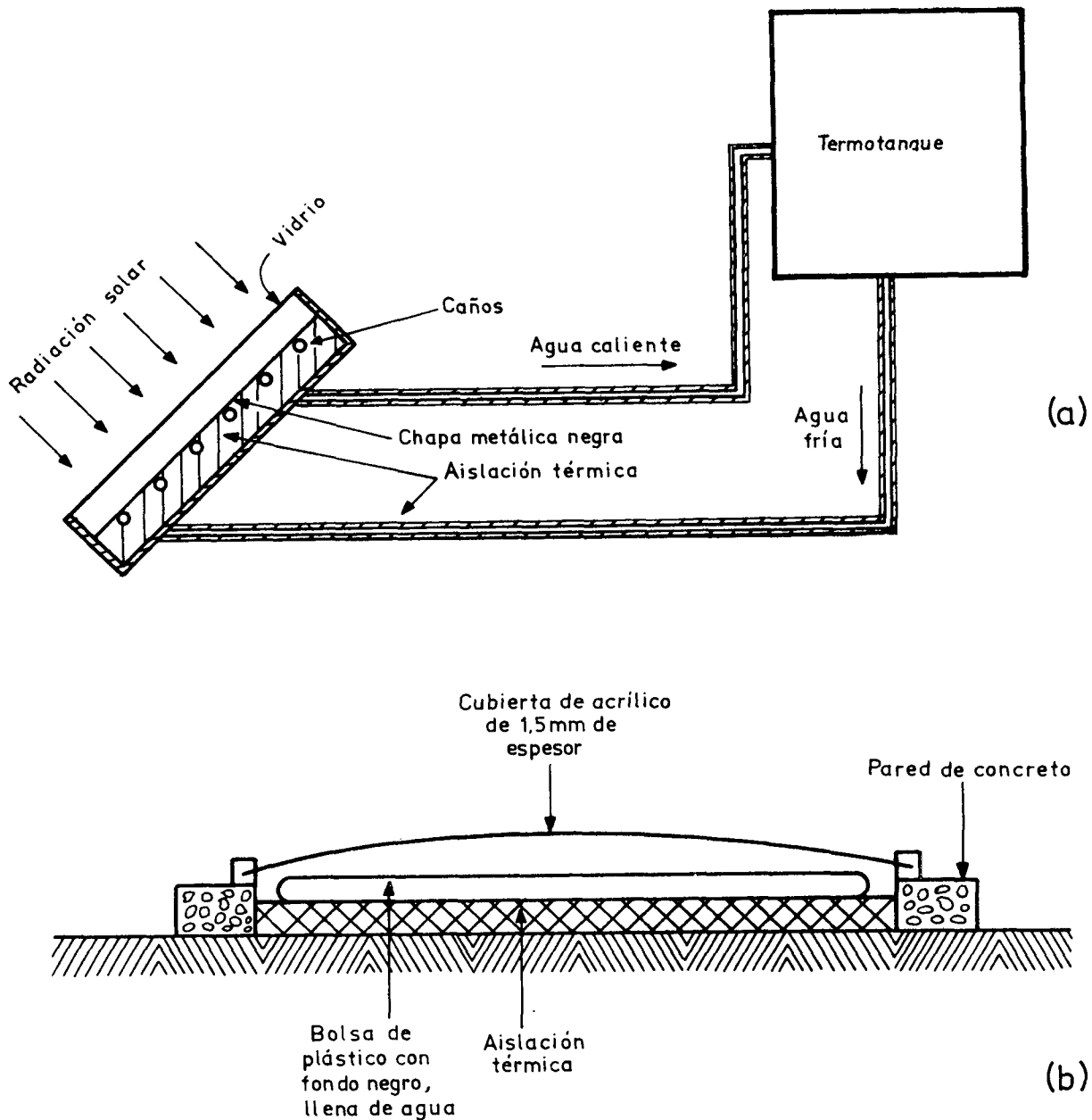


Fig. 4.1: (a) Calentamiento de agua. El colector plano consiste en una caja térmicamente aislada, con la parte superior cubierta por un vidrio que deja entrar la radiación visible y, siendo prácticamente opaco a la infrarroja, evita la pérdida de calor a través de él. La chapa metálica negra colecta la radiación solar y la convierte a energía térmica, la cual es transferida al agua que circula por los caños. El agua fría, al irse calentando, sube por termosifón, estableciéndose una circulación pontfina por el sistema colector plano-termotanque.

(b) Corte de un estanque playo para calentamiento de agua. Cada módulo tiene 60 m de largo por 3,6 m de ancho y la bolsa de plástico con fondo negro, por la cual fluye agua lentamente, tiene una altura de 5 a 10 cm. La cubierta de acrílico produce efecto invernadero. De Ref. 12.

Aplicaciones a corto plazo

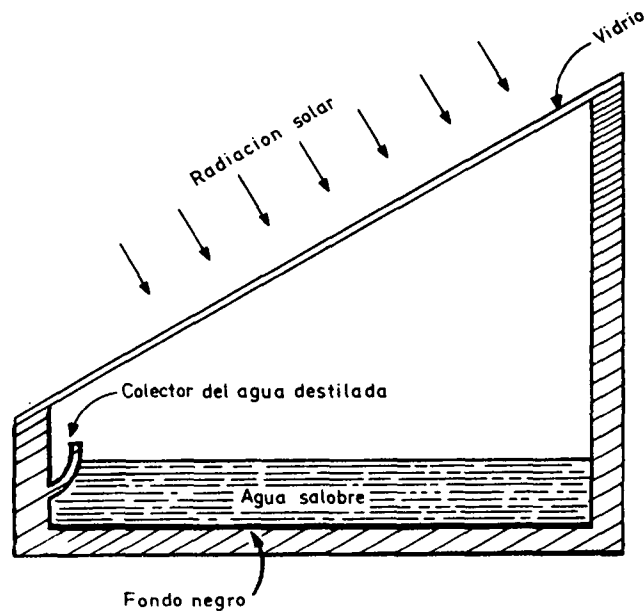
Consideramos como tales aquellas que pueden estar en el mercado en un término de 3 a 5 años. Algunas de las aplicaciones clasificadas dentro de esta categoría en realidad se utilizan, con buenos resultados, en algunos países desde hace bastante tiempo, y sólo requieren una adaptación al medio en el cual van a ser empleados. La mayoría de ellas hacen uso directo del contenido calórico de la radiación solar, sin conversión a otro tipo de energía.

CALENTAMIENTO DE AGUA: Para usos domésticos y algunos usos industriales que sólo requieren temperaturas del orden de los 60 C, se puede utilizar un dispositivo muy simple que aprovecha la radiación global incidente sobre un colector plano convenientemente orientado. Para las horas nocturnas se almacena el agua en tanques térmicamente aislados (Fig. 4.1a). Para períodos muy prolongados sin sol es necesario reforzar con un sistema convencional, a menos que se disponga de una superficie colectora y tanques de gran capacidad. En países como Australia, Israel, Japón, Unión Soviética y EE. UU. de N.A., el empleo de estos dispositivos se está difundiendo rápidamente para uso doméstico, fabricándose los a escala industrial. Como ejemplo de aplicación a usos industriales podemos citar ¹²⁾ la adaptación de un dispositivo de esta naturaleza para producir el agua caliente requerida para el tratamiento de minerales de uranio (Fig. 4.1b).

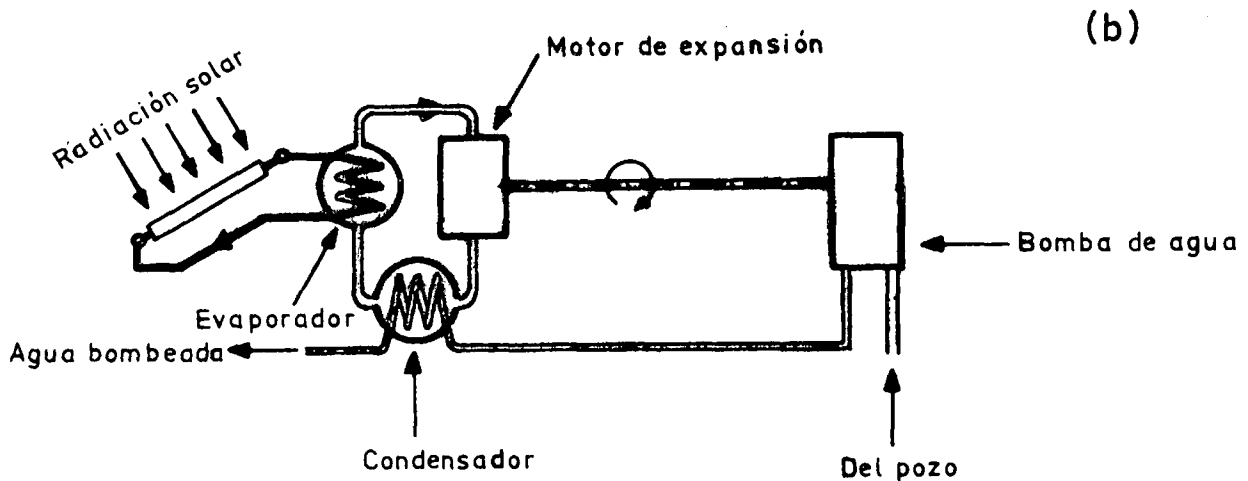
DESTILACION SOLAR: Para tratamiento de aguas salobres, se han utilizado destiladores solares en diversos países desde hace ya muchos años. El principio de funcionamiento es similar al de los dispositivos de calentamiento de agua antes mencionados (Fig. 4.2a). En los salitrales del norte de Chile se instaló en 1872 una planta con 4.700 m² de superficie colectora que, por más de 30 años, produjo agua potable para la población minera de Las Salinas, a razón de más de 20.000 litros diarios en verano (Ref. 13).

Un principio totalmente distinto de purificación de agua es el de formación de hielo por radiación natural nocturna a la atmósfera. Las sales quedan disueltas en la capa inferior de agua no congelada. En el norte de Chile se realizaron numerosas experiencias, habiéndose logrado importantes espesores de hielo: del orden de 15 kilos por metro cuadrado en una sola noche ¹⁴⁾. Sin embargo no se tienen noticias de que se haya difundido su uso.

SECADO SOLAR: Se utiliza la energía solar para, por ejemplo, calentar aire que se hace circular por el secador controlando los parámetros de temperatura y humedad. Estos dispositivos son utilizados en varios países para los productos más diversos (granos, frutas, tabaco, etc.). Un método más rudimentario, en el cual no se tiene ningún control sobre los parámetros mencionados, es el secado exponiendo directamente los frutos al sol.



(a)



(b)

Fig. 4.2: (a) Destilador solar. El agua salobre es destilada por efecto del calor proveniente de la radiación solar y se condensa en la pared interior del vidrio inclinado, corriendo por la misma y siendo recogida por una canaleta lateral.

(b) Bomba solar. La fuente de calor del evaporador es agua calentada por la radiación solar, la fuente fría del condensador es el agua bombeada del pozo. En el motor de expansión un gas líquido, por ejemplo butano, se expande rápidamente produciendo una presión capaz de mover un émbolo que, a su vez, pone en funcionamiento una bomba. El gas luego es enfriado, cerrándose el ciclo.

CULTIVO BAJO CARPA: Son los tradicionales invernaderos en los cuales se controlan la temperatura, humedad y contenido de CO_2 . En los lugares desérticos, se combina con la destilación solar para obtener agua de riego.

CALEFACCION DE EDIFICIOS: Se han propuesto diversos procedimientos, sobre la base de calentamiento de agua o aire en dispositivos de funcionamiento similar al de los utilizados para obtener agua caliente. El problema principal reside en la acumulación de la energía térmica para las horas nocturnas o períodos prolongados sin sol. Sin embargo, ya se está utilizando a nivel experimental en algunos edificios en EE.UU. de N.A., Inglaterra, Francia, etc.

ENERGIA MECANICA Y ELECTRICA EN PEQUEÑA ESCALA: La energía eólica es utilizada desde hace muchos años para la extracción de agua y la generación de electricidad en instalaciones de baja potencia (cargadores de baterías).

Aplicaciones a mediano plazo

Consideramos como tales aquellas que pueden entrar en competitividad en un plazo de 5 a 10 años. También en estos casos existen algunos prototipos, pero sólo a escala experimental, aunque ya pueden resultar económicamente competitivos en emplazamientos seleccionados.

PRODUCCION DE FUERZA MOTRIZ: Existe experiencia en motores a ciclo térmico de baja temperatura, usando colectores planos similares a los utilizados en calentamiento de agua. Ha tenido amplia difusión el sistema que usa estos motores para la extracción de agua ¹⁵⁾ (Fig. 4.2b), encontrándose instalados equipos similares, entre otros lugares, en Mauritania, Niger, Senegal, Argelia y Túnez. Sin embargo, aún es necesario lograr que estos equipos sean competitivos en lugares no tan apartados como aquellos en los que actualmente están instalados. El Commissariat à l'Energie Atomique de Francia está efectuando desarrollos en estos sistemas.

Es posible utilizar motores que trabajen con fluidos a mayor temperatura, pero para ello es necesario desarrollar dispositivos que, con o sin concentración, permitan lograr a precios competitivos temperaturas mayores que las alcanzables con colectores planos.

HORNOS SOLARES: Su factibilidad ha sido demostrada con el conocido ¹⁶⁾ horno solar de Odeillo, en los Pirineos franceses, el cual permite alcanzar temperaturas del orden de 3800 C con una potencia térmica de 1 MW (Fig. 4.3). Su importancia radica, entre otras cosas, en que permite obtener temperaturas elevadas en atmósfera limpia, lo cual es requerido, por ejemplo, para la producción de aleaciones con muy alto grado de pureza.

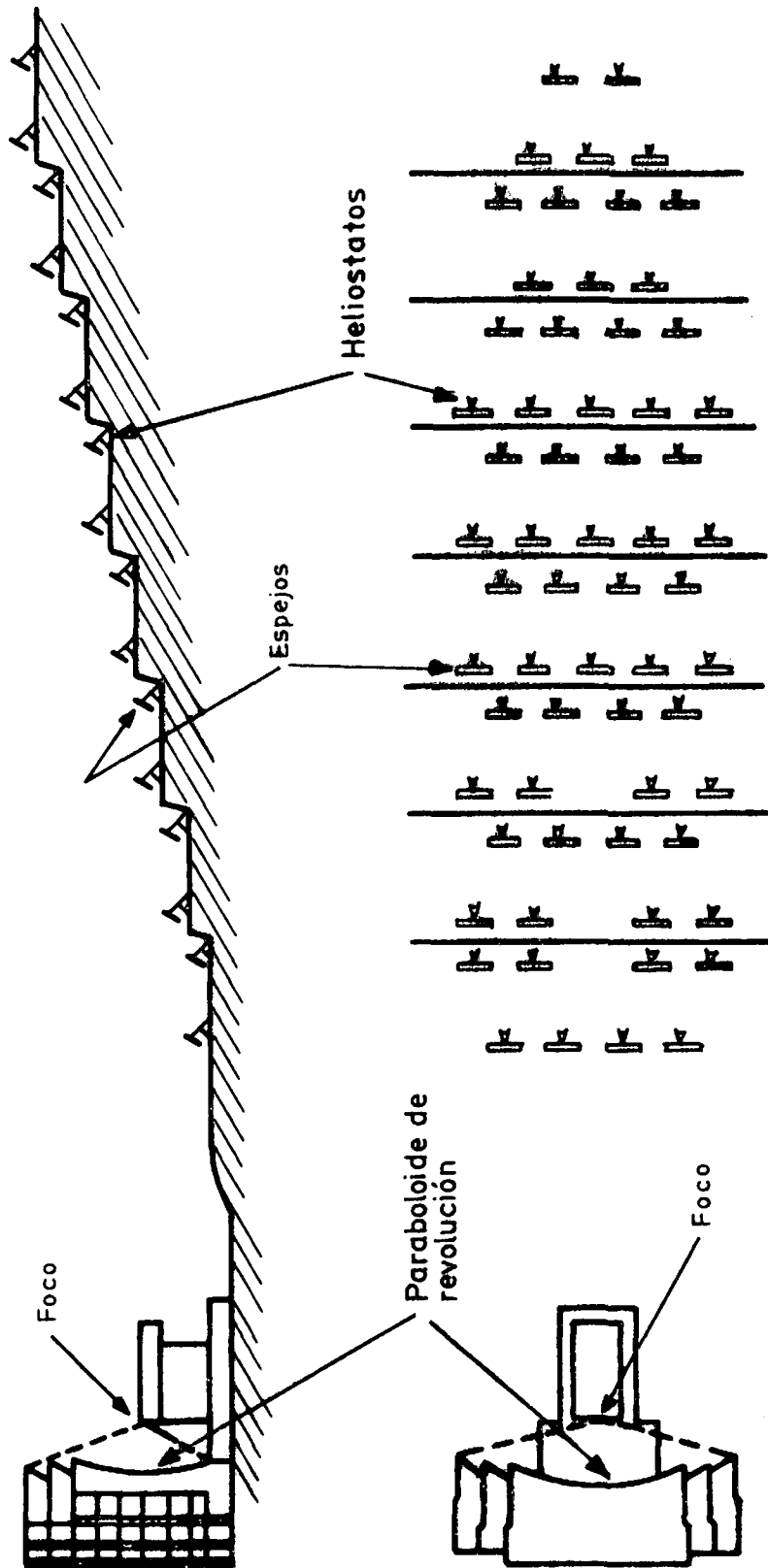


Fig. 4.3: Horno solar. Disposición del horno solar existente en Odeillo, en los Pirineos franceses. La radiación solar incidente sobre una superficie de 2520 m^2 es reflejada por 60 espejos hacia un paraboloide de revolución formado, a su vez, por 9500 espejos curvados. El paraboloide tiene 40 m de altura, 54 m de ancho y una longitud focal de 18 m . Para 1 kW/m^2 de radiación solar se obtiene, en el foco, una potencia superior a los $1000 \text{ kW}_{\text{ter}}$ y una temperatura de 3800 C . De Ref. 16.

REFRIGERACION DE EDIFICIOS: Es una de las aplicaciones que puede difundirse más fácilmente cuando se haya logrado un sistema satisfactorio, dado que en los lugares donde hay mayor radiación solar es donde más se lo necesita. Se han desarrollado diferentes sistemas, basándose algunos en el uso del cambio de fase de sales eutécticas y, otros, en la generación de vapor por concentración ¹⁷⁾ y su posterior utilización para accionar máquinas compresoras.

ARQUITECTURA SOLAR: El objetivo consiste en efectuar diseños arquitectónicos destinados a aprovechar al máximo las posibilidades de iluminación, calefacción, refrigeración y provisión de agua caliente que brinda la energía solar, siendo importante diferenciar esto de la simple adición de dispositivos que utilicen energía solar a los edificios de diseño tradicional. A nuestro criterio, su clasificación como de mediano plazo es originada en buena medida porque requiere una adaptación mental de la generalidad de los arquitectos y usuarios, más que un desarrollo de nuevos componentes.

COMBUSTIBLES SINTETICOS A PARTIR DE MATERIALES ORGANICOS: Se espera alcanzar dentro de este plazo el desarrollo de sistemas económicos que permitan producir y convertir materiales orgánicos a combustibles líquidos, gaseosos o sólidos. Los procesos involucrados pueden ser bioconversión de materiales orgánicos a metano, pirólisis de materiales orgánicos, reducción química a aceites, etc..

Aplicaciones a largo plazo

Las únicas aplicaciones a largo plazo en que, según nuestras referencias, se está trabajando, son las de producción de energía eléctrica por conversión de la energía solar mediante diversos métodos: conversión fototérmica y fotovoltaica, energía eólica, gradiente de temperatura de los océanos. Se considera que no van a ser comercialmente competitivas en un plazo inferior a 10 ó 15 años. Su aplicación antes del período mencionado solamente puede justificarse para casos muy particulares, como ser zonas donde, por problemas de distancia, el uso de combustibles convencionales es muy costoso.

Es posible que el sistema de conversión fototérmico (Parte III de este informe) llegue a ser competitivo antes que el fotovoltaico (Parte IV de este informe), si bien en este campo se están ensayando nuevas técnicas que, de tener éxito, significarán una considerable disminución de costos. Los sistemas basados sobre la utilización del gradiente de temperatura de los océanos ¹⁸⁾ son los que, a nuestro juicio, demandarán mayor tiempo de concreción.

4.2. PROGRAMAS DE APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR Y PRESUPUESTOS ASIGNADOS.

Lo mencionado en el punto anterior se concreta mediante programas nacionales existentes en numerosos países, como, por ejemplo, Australia, Inglaterra, Israel, Rusia, EE.UU. de N.A. y Japón. Dado que para los dos últimos poseemos información detallada sobre sus objetivos y presupuestos asignados, damos a éstos como ejemplos ilustrativos de la importancia relativa asignada a la energía solar dentro del campo de las nuevas fuentes energéticas.

A. EE.UU. DE NORTEAMERICA

A fines de 1972, un grupo de expertos en energía solar, coordinados por la National Science Foundation (NSF) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA), realizaron una evaluación de la energía solar como recurso nacional de energía, proponiendo ¹⁹⁾ un programa nacional de investigación y desarrollo. Al constituirse en 1974 la Energy Research and Development Administration (ERDA), la cual absorbió, entre otras instituciones, parte de la NSF, hizo suyo el programa de energía solar ²⁰⁾ anteriormente presentado.

Programa

Está dividido en 6 subprogramas, cuyos objetivos y campos de acción resumimos a continuación.

CALEFACCION Y REFRIGERACION DE EDIFICIOS: Además de la utilización de los sistemas de calefacción y refrigeración con energía solar en todo tipo de edificios, se espera extender los resultados a aplicaciones tales como secado de granos, invernaderos, refugios de animales y calentamiento de agua para un extenso rango de necesidades domésticas e industriales.

CONVERSION FOTOTERMICA: Está destinado a proveer, para mediados de 1980, una base tecnológica completa para (a) la producción de energía eléctrica a fin de satisfacer parte de la demanda en el modo de seguimiento de carga, (b) sistemas de generación para satisfacer las necesidades energéticas totales de complejos urbanos, comunidades rurales y parques industriales.

CONVERSION FOTOVOLTAICA: Su objetivo es desarrollar sistemas de generación de potencia eléctrica sobre la base de células fotovoltaicas para aplicaciones terrestres. La primera fase del subprograma está destinada a disminuir los costos en un factor ~ 50 para comienzos de la próxima década.

ENERGIA EOLICA: Los objetivos específicos a 5 años involucran la operación y evaluación de sistemas de 100 kW_e y diseño, construcción, operación y evaluación de sistemas a escala de MW_e, así como el estudio de sistemas

para producir hidrógeno en mar abierto por electrólisis.

BIOCONVERSION A COMBUSTIBLE: Tiene por finalidad demostrar, para mediados de 1980, la conveniencia de producir comercialmente materiales orgánicos para luego convertir a éstos y otros productos corrientemente considerados como basura en combustibles limpios u otras formas útiles de energía no contaminante.

CONVERSION DE LA ENERGIA TERMICA DE LOS OCEANOS: El objetivo es proveer, para comienzo de la próxima década, las bases tecnológicas que permitan diseñar, construir y operar una planta de demostración para producir electricidad, basada en el uso del gradiente térmico de los océanos.

Presupuestos

Los fondos que la NSF y, actualmente, la ERDA han provisto a terceros para desarrollar aplicaciones terrestres de la energía solar, han ido variando abruptamente en los últimos años. Hasta el año fiscal [†] 1971 inclusive, se puede considerar que eran muy pequeños, menos de un millón de dólares anuales para todo el programa. A partir de esa fecha, los presupuestos para cada uno de los subprogramas se incrementaron de acuerdo a las prioridades establecidas. En la Fig. 4.4 hemos graficado para cada uno de los subprogramas, los presupuestos correspondientes a partir de 1971, 1972 ó 1973, según sea el caso. Los presupuestos del año 1975 son valores estimados y constituyen la suma de lo que aún administra la NSF (7 millones de U\$S en total) y lo que fue transferido a la ERDA. Los presupuestos para el año fiscal 1976 corresponden a lo solicitado por la ERDA.

Los fondos provistos a terceros por otras instituciones gubernamentales son poco significativos. Por ejemplo, en el año fiscal 1974 el total de fondos para energía solar en general asignados por la NASA, la AEC, el Department of Housing and Urban Development y el Department of Defense, alcanzó a 2,35 millones de dólares. Por otra parte, algunas instituciones gubernamentales, como por ejemplo la NASA, realizan investigaciones propias en energía solar, pero no disponemos de información sobre los presupuestos asignados a dichos trabajos. En cuanto a los fondos invertidos por la industria privada, se estiman en aproximadamente 1 a 2 veces los invertidos por la NSF y la ERDA.

Como resumen, podemos estimar que para el año fiscal 1976 los fondos disponibles para desarrollos en el aprovechamiento de la energía solar en EE.UU.

[†] En EE.UU. de N.A., el año fiscal se identifica por el año calendario en que finaliza. El año fiscal 1976 abarca desde el 1° de Julio de 1975 al 30 de Junio de 1976.

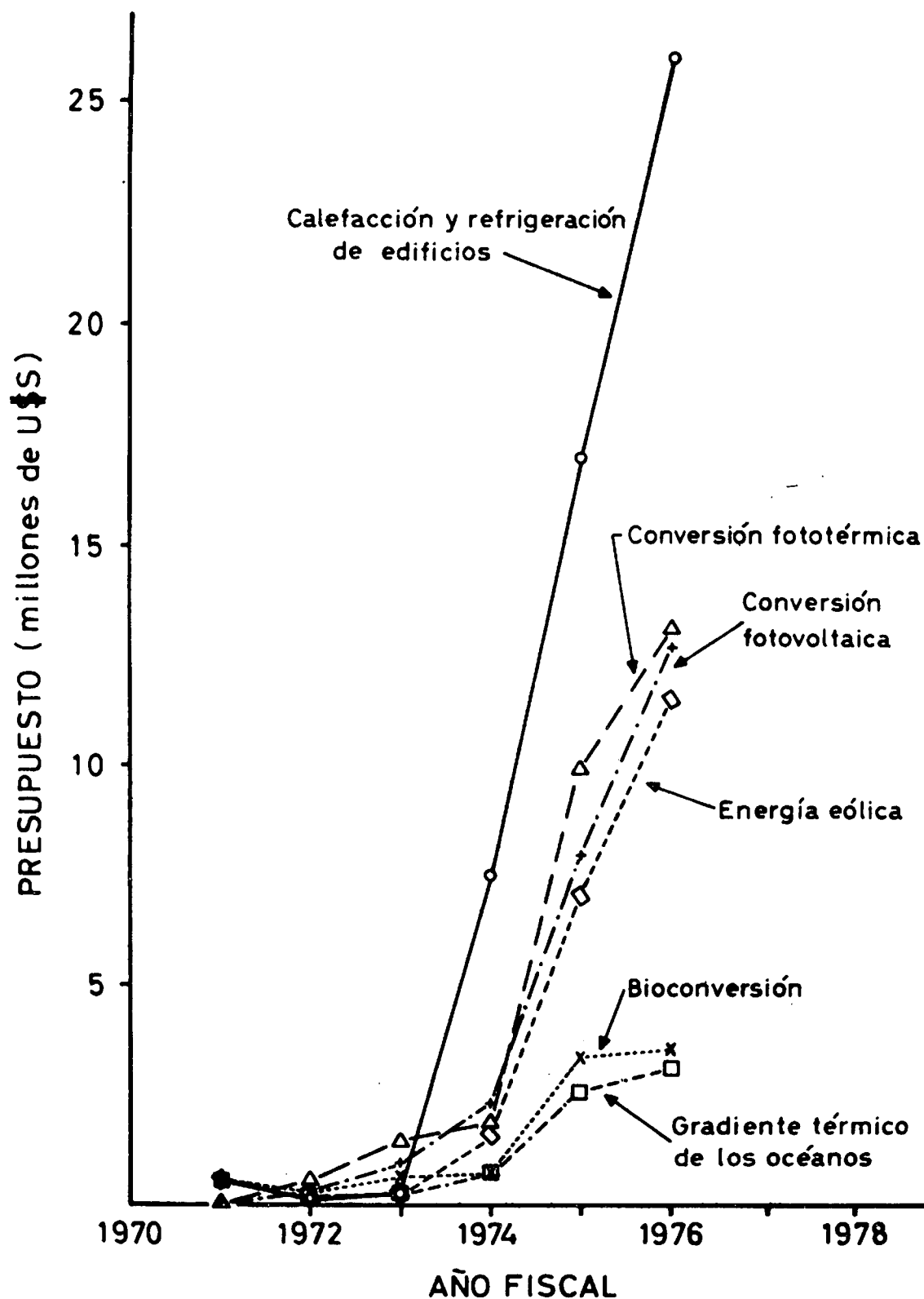


Fig. 4.4: Presupuestos provistos a terceros por la NSF y la ERDA a partir del año fiscal 1971. Los datos para los años 1971-74 fueron obtenidos de las Refs. 21 y 22. Los datos del año fiscal 1975 fueron estimados por nosotros, combinando los dados por la NSF y la ERDA (Refs. 21 y 23). Los valores para 1976 son los solicitados por la ERDA y, eventualmente, serán incrementados al doble, según propuestas del Subcomité de Investigaciones Energéticas del Comité de Ciencias de la Cámara baja del Congreso de los EE. UU. de N.A. (Refs. 23 y 24).

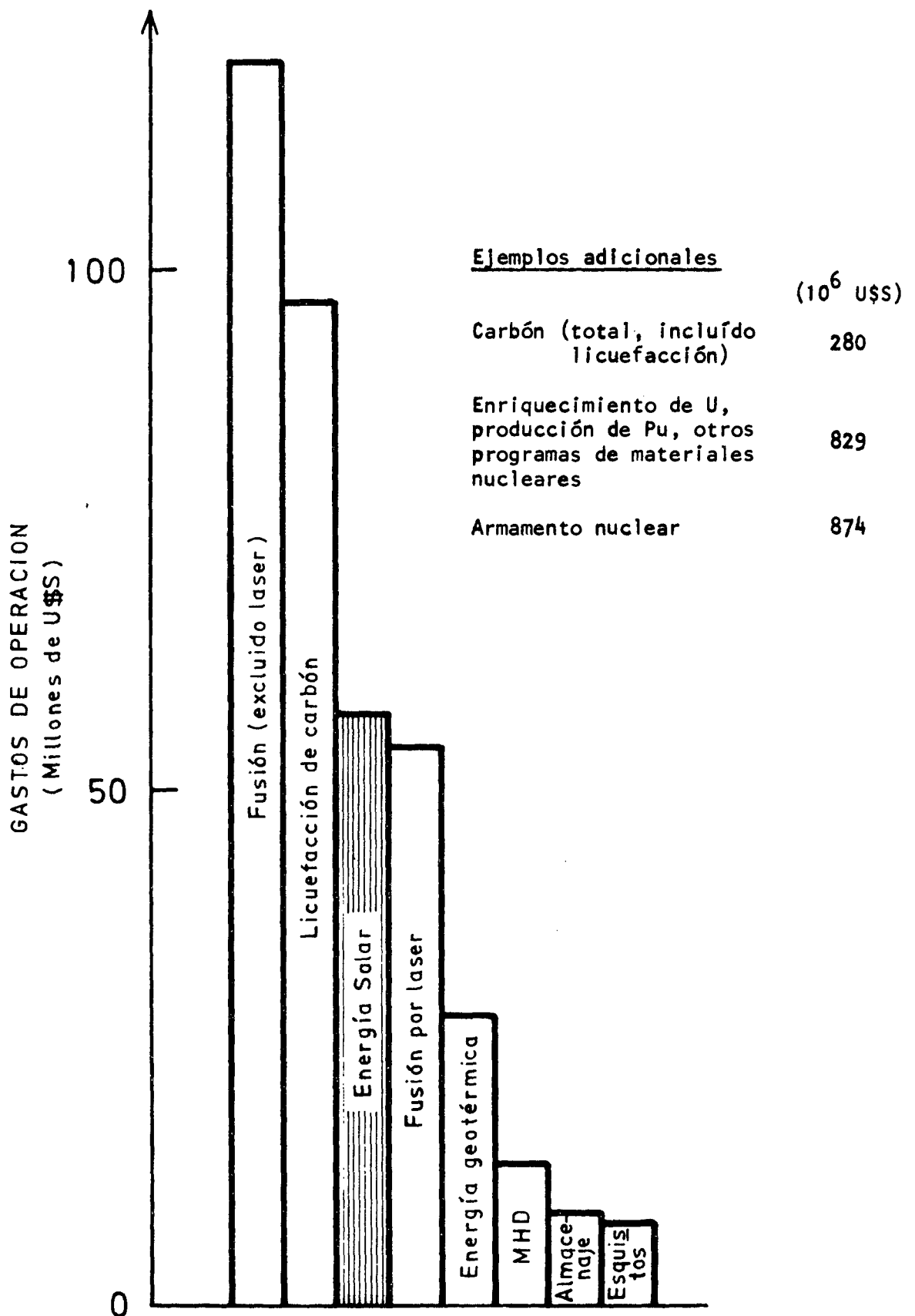


Fig. 4.5: Presupuestos solicitados por la ERDA para gastos de operación de ocho programas durante el año fiscal 1976. Los datos son actualizados a febrero-marzo de 1975. Además, para cada programa se deben considerar los gastos en instalaciones y equipos que no poseemos en detalle; si se considera la totalidad de los programas de la ERDA, los gastos en instalaciones y equipos son aproximadamente el 22 % de los gastos de operación. De Refs. 25 y 26.

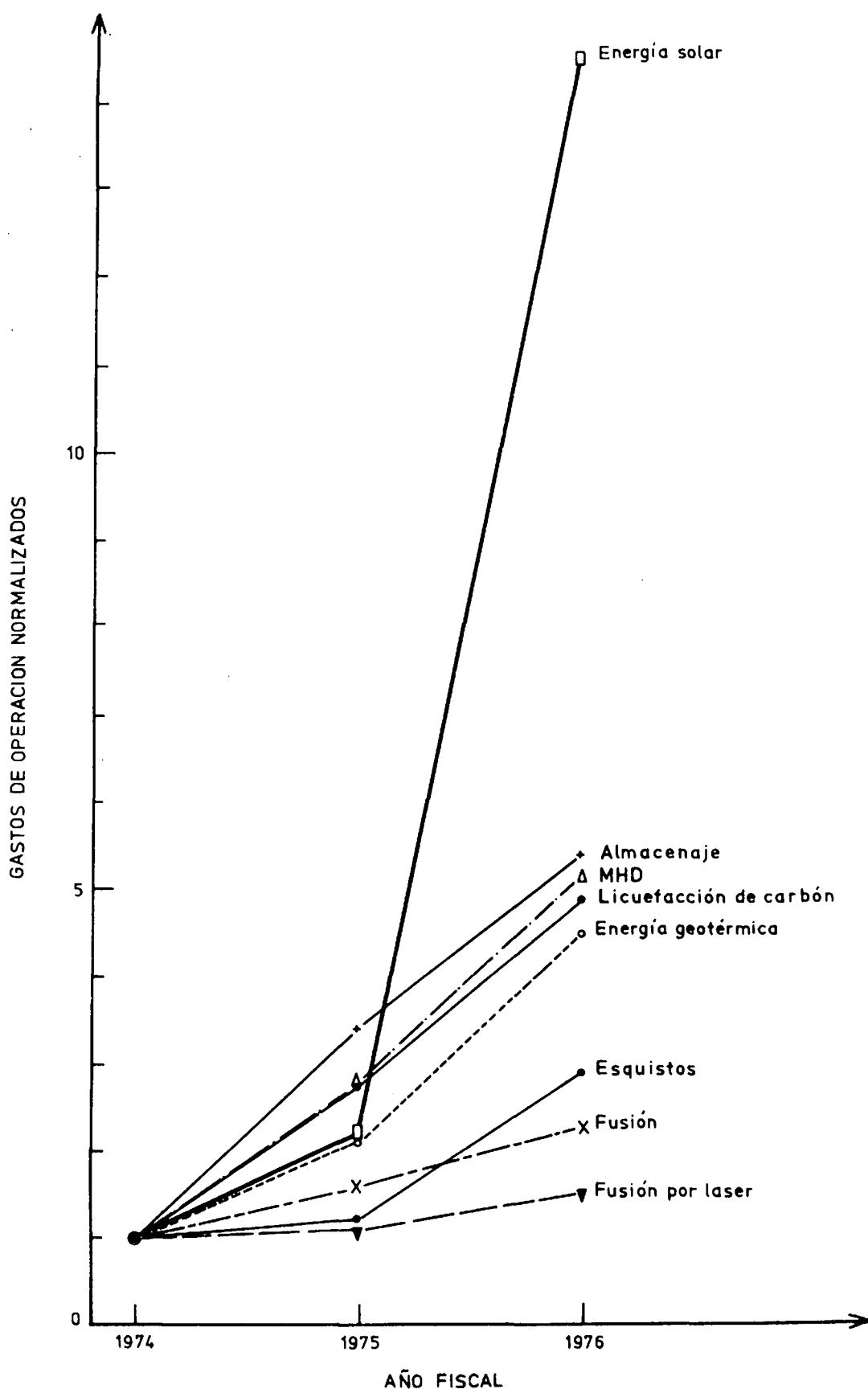


Fig. 4.6: Gastos de operación normalizados al año 1974, a fin de mostrar el incremento relativo de las inversiones. Los presupuestos para los años fiscales 1975 y 1976 son valores estimados por la ERDA. De Ref. 25.

de N.A. no serán menores que ~ 160 millones de dólares, si se tienen en cuenta tanto los de origen gubernamental cuanto privado.

A fin de mostrar la importancia relativa del programa de energía solar dentro de los programas energéticos de la ERDA, en la Fig. 4.5 graficamos los presupuestos solicitados ^{25,26)} para gastos de operación de ocho programas durante el año fiscal 1976. Como datos adicionales, damos las inversiones previstas por la ERDA, en el mismo período, para desarrollo de algunos métodos convencionales: carbón, enriquecimiento de U, producción de Pu y otros programas de materiales nucleares. También incluimos la inversión prevista en armamentos nucleares. En la Fig. 4.6, hemos graficado los gastos de operación para los ocho programas, normalizados al año fiscal 1974, a fin de mostrar el incremento relativo de las inversiones propuestas. Es evidente que existe una clara decisión de desarrollar intensamente los aprovechamientos de la energía solar.

B. JAPON

La Agencia de Ciencia y Tecnología Industrial del Ministerio de Comercio e Industria del Japón ha implementado recientemente un plan de investigación y desarrollo denominado "Sunshine Project", el cual abarca el período 1974-2000 y los campos de energía solar, energía geotérmica, licuefacción y gasificación de carbón y producción de hidrógeno.

Programa

El programa ^{27,28)} de energía solar ha sido dividido en tres subprogramas:

DESARROLLO DE TECNOLOGIAS PARA SISTEMAS DE GENERACION DE ELECTRICIDAD:

- (a) Conversión fototérmica: Dentro del período 1974-1980, se propone desarrollar un sistema piloto de 1 MW de potencia pico, así como el diseño conceptual de un sistema piloto de 10 MW de potencia pico.
- (b) Conversión fotovoltaica: Este subprograma está orientado a reducir en un factor 100 el costo de la electricidad generada por sistemas de conversión fotovoltaica, lo cual se propone lograr en 1990.
- (c) Otros: Destinado a investigaciones para obtener aplicaciones prácticas de otros métodos de generación de potencia a partir de energía solar, como ser conversión termoiónica y generación de potencia en el espacio.

DESARROLLO DE TECNOLOGIAS PARA CALEFACCION Y REFRIGERACION DE EDIFICIOS Y

SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE: Se propone desarrollar, durante el período 1974-1980, sistemas altamente económicos para los fines enunciados, aplicables a todo tipo de edificios. Para el año 1990, se espera tener desarrollados sistemas regionales de calefacción y refrigeración.

DESARROLLO DE TECNOLOGIAS PARA NUEVAS APLICACIONES DE ENERGIA SOLAR: Abarca fuentes de calor para usos industriales, hornos solares, etc., como también investigaciones tendientes a clarificar la relación entre tecnología solar y problemas económicos, sociales y de medio ambiente.

Presupuesto

Los presupuestos ²⁹⁾ para el año fiscal 1974, otorgados por la Agencia de Ciencia y Tecnología Industrial para cada uno de los programas del "Sunshine Project", son:

Programa	Millones de U\$S
Energía solar	2,9
Energía geotérmica	1,9
Gasificación y licuefacción de carbón	1,5
Producción de hidrógeno	1,1

La distribución de presupuestos muestra claramente que el programa de energía solar es prioritario.

El presupuesto solicitado para el año fiscal 1975 para el programa de energía solar fue de 4 millones de U\$S.

REFERENCIAS

- 1) M.P.Thekaekara, Solar Energy 14, 109 (1973).
- 2) J.Gretz, Energia Nucleare 21, 504 (1974).
- 3) Cuaderno N°1 de la Association Française pour l'Etude et le Développement des Applications de l'Energie Solaire (A.F.E.D.E.S.), (Enero 1968).
- 4) M.C.Kurlat y R.O.Fernández, Acta Scientifica N°19 del Observatorio de Física Cósmica, San Miguel (Bs. As.), (1970).
- 5) "Statistical Yearbook 1973", United Nations, New York (1974).
- 6) H.Lustig, El Correo de la UNESCO, pág. 4, (Enero 1974).
- 7) P.B.Bos, W.A.Kammer y E.Blond, "Solar-Thermal Conversion Mission Analysis-Southwestern United States", Informe ATR-74(7417-16)-2, Vol. 1, de The Aerospace Corporation, California, EE.UU. de N.A. (1975).
- 8) Boletín Mensual, Secretaría de Estado de Energía, Buenos Aires, (Diciembre 1974).
- 9) B.J.Csik, H.M.Marrero y H.Sarraillet, "Análisis Electroenergético Argentino", Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, (1974).
- 10) E.S.Crivelli, J.L.Guerrero y A.Pedregal, "Solar Radiation and Solar Energy in Argentina", E 24, Congreso Internacional "El Sol al Servicio del Hombre", París, Francia, (Julio 1973).
- 11) Centro de Investigaciones Energéticas, Servicio Informativo N°3, Buenos Aires, (Febrero 1973).
- 12) W.C.Dickinson, "Large-Scale Industrial Application of Solar Energy", Informe del Grupo de Energía Solar del Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, EE.UU. de N.A. (1975).
- 13) G.Frick y J.Hirschmann, Solar Energy 14, 405 (1973).
- 14) J.Fournier, en Actas de la XIX reunión de la Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada, (Agosto 1972).
- 15) H.Masson y J.P.Girardier, Bulletin de la Coopération Méditerranéenne pour l'Energie Solaire (COMPLES) N°10, 103 (1966).
- 16) F.Trombe y A. Le Phat Vinh, Solar Energy 15, 57 (1973).
- 17) J.G.Cottingham y G.K.Green, "Solar Powered Steam Supplement for the BNL Steam Plant", Informe BNL 18734 del Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, EE.UU. de N.A. (1974).
- 18) C.Zener, Physics Today 26, N°1, 48, (1973).
- 19) P.Donovan, W.Woodward, W.R.Cherry, F.H.Morse y L.O.Herwig, "An Assessment of Solar Energy as a National Energy Resource", preparado por un panel de especialistas en energía solar coordinados por la NSF y la NASA, EE.UU. de N.A. (1972).
- 20) "Solar Energy Program", Informe ERDA-15 de la División de Energía Solar de la Energy Research and Development Administration, Washington, EE.UU. de N.A. (Marzo 1975).
- 21) L.O.Herwig, "Report on Photovoltaics Research and Technology in the United States", pág. 29, Conferencia Internacional sobre "Generación de Potencia por Medios Fotovoltaicos", Hamburgo, República Federal Alemana, (Setiembre 1974).

- 22) L.O.Herwig, "NSF/RANN Solar Energy Research Grants and Contracts in Fiscal Year 1974", Washington, EE.UU. de N.A. (1974).
- 23) Solar Energy Intelligence Report 1, 2 (1975).
- 24) Solar Energy Intelligence Report 1, 11 (1975).
- 25) Nucleonics Week 16, N°6, 1 (1975).
- 26) Nuclear News 18, N°4, 28 (1975).
- 27) "Sunshine Project", Informe BI-3(74-9) del Ministerio de Comercio Internacional e Industria, Tokio, Japón (1974).
- 28) "Sunshine Project, Indicative Plan and Implementation Plan for the First Stage". Informe 49-10-1721 del Ministerio de Comercio Internacional e Industria, Tokio, Japón (1974).
- 29) F.Ishikawa, pág. 43, Conferencia Internacional sobre "Generación de Potencia por Medios Fotovoltaicos", Hamburgo, República Federal Alemana, (Setiembre 1974).