

I - 6

Conferencia:

RECURSOS ENERGETICOS Y ENERGIA  
SOLAR

M.B.A. Crespi



## RECURSOS ENERGETICOS Y ENERGIA SOLAR

Martín B. A. Crespi

Comisión Nacional de Energía Atómica

Avenida del Libertador 8250

Buenos Aires

### RESUMEN.

Es probable, o por lo menos posible, que la sociedad humana se estabilice en una población de 15000 a 20000 millones de habitantes en la segunda mitad del siglo próximo. Los requerimientos energéticos de esa sociedad, con cuotas de consumo equitativamente distribuidas, serán del orden de 40 veces los actuales. Entre todos los recursos conocidos, solo la energía nuclear y la energía solar aparecen en la actualidad como potencialmente capaces de satisfacerlos. La distribución de la oferta energética entre ambas grandes fuentes dependerá principalmente del costo económico y ambiental de cada una de ellas para una situación particular.

Este predominio no es óbice para que otras fuentes puedan tener importancia en localizaciones favorables, aun cuando carezcan de significación a nivel mundial. En el caso de la Argentina, varias de estas fuentes complementarias cumplirán un papel destacado en el proceso de evolución hacia la situación final recién mencionada.

## 1. Panorama energético mundial.

La evolución de la sociedad desde sus formas más primitivas de organización hasta la civilización industrial moderna está caracterizada por una utilización creciente de los recursos que la Naturaleza ha puesto al alcance del hombre.

En el campo de la energía, el grado de parasitismo alcanzado puede cuantificarse comparando la capacidad propia de generación del hombre como máquina biológica con la cantidad de energía de otro origen que utiliza.

El insumo fisiológico de un adulto bien alimentado es de aproximadamente 1060  $\text{kW}_t\text{h/año}$ , correspondientes a una dieta de 2500 kcal diarias<sup>(1)</sup>. De éstos, 730  $\text{kW}_t\text{h}$  cubren su metabolismo basal, es decir, se gastan en la síntesis proteica y en mantener las demás funciones vegetativas del organismo en estado de reposo físico y mental. La energía disponible para la actividad diaria es, por lo tanto, de 0,9  $\text{kW}_t\text{h}$ , equivalentes a una potencia continua promedio, durante las 24 horas, de 37  $\text{W}_t$ .

Quando este valor se compara con el consumo promedio mundial actual de energía primaria obtenida de fuentes externas, que equivale aproximadamente a una potencia continua de 1,9  $\text{kW}_t$  por habitante<sup>(2)</sup>, se ve que ésta excede en más de 50 veces la capacidad fisiológica<sup>(\*)</sup>. Más aún, la distribución del consumo promedio por habitante presenta grandes altibajos, existiendo grupos humanos que emplean energía a niveles 300 veces superiores a su capacidad fisiológica y otros que están prácticamente al nivel mínimo de supervivencia, gastando totalmente la energía provista por su alimentación en

---

(\*) Esta relación es todavía mayor cuando se considera el trabajo efectivamente producido, ya que, y salvo en lo que respecta a la actividad cerebral, cuyo consumo es ínfimo respecto de su rendimiento social, la energía térmica provista por fuentes no humanas se emplea con una eficiencia una 3 veces mayor que la humana en la realización de trabajo socialmente útil.

obtener una cantidad equivalente que les permita subsistir.

La Tabla 1 ilustra algunos ejemplos de esta distribución<sup>(2)</sup>. Los datos se refieren al total de energía primaria, cuyo empleo aproximado, para países por encima del promedio mundial, es de un 25% en transporte, un 25% en industria, un 25% en edificios y un 25% en generación de electricidad<sup>(3)</sup>.

En su evolución histórica, la demanda energética siguió en las primeras épocas una tendencia más o menos paralela al aumento de la población. Hasta el siglo 17, las fuentes predominantes de energía térmica fueron la madera y los desechos agrícolas y animales; el trabajo mecánico lo realizaba el hombre, ayudado por animales y por molinos de viento y de agua. En esas épocas, la disponibilidad de energía de un agricultor europeo era del mismo orden que la de un asiático o de un africano. Al iniciarse la civilización industrial, la demanda de energía se aceleró rápidamente y pronto excedió las posibilidades de las fuentes renovables, cobrando importancia creciente la utilización del carbón y luego del petróleo, a través de máquinas térmicas, para realizar trabajo mecánico.

Las desigualdades que ilustra la Tabla 1 surgen de ese proceso. La curva de demanda de energía comenzó a subir más rápidamente que la de la población, y los recursos para cubrirla fueron utilizados preferentemente por los países de mayor desarrollo económico, militar y cultural, estableciéndose así un sistema de realimentación positiva que incrementó continuamente las diferencias distributivas.

La situación actual está esquematizada en la figura 1 que representa el consumo total de energía primaria de los diversos países del mundo. En la figura 2 se indica la producción de energía en la misma representación. Se observa claramente que gran parte de la energía se transporta de regiones productoras a regiones consumidoras. El panorama está regido principalmente por la circula-

ción de los hidrocarburos, que proveen en la actualidad el 65% de las necesidades de energía primaria del mundo.

La Tabla 2 ilustra sobre la situación energética de algunos países, elegidos en una escala más o menos representativa, en lo que respecta a su autosuficiencia. En la Tabla 3 se ha indicado la contribución de las grandes fuentes al consumo actual.

El panorama mundial está caracterizado, por lo tanto, por:

1. Marcadas desigualdades entre los niveles de consumo de los diferentes grupos humanos, que son función de los diferentes grados de desarrollo alcanzados. En general, existe una correlación lineal, grosera pero claramente significativa, entre el consumo de energía y el producto bruto nacional, ambos per cápita, de un país<sup>(4)</sup>.

2. Un gran predominio de los hidrocarburos como fuente de energía primaria, lo que involucra un intenso tráfico internacional de esta mercancía y hace particularmente vulnerables a los grandes importadores, como lo demostró abruptamente la reciente "crisis de la energía".

3. Un ritmo de crecimiento del consumo mayor que el de la población, con el consiguiente aumento del consumo per cápita, como consecuencia del aumento general del estándar de vida. En la década 1960-70, el coeficiente de crecimiento del consumo global fué del 7,1% anual promedio, el de la población del 2,1% y el del consumo per cápita de 3,75%<sup>(5)</sup>.

## 2. Las necesidades energéticas a largo plazo.

La extrapolación de esta situación no tiene solución única. La relación entre consumo de energía y población ha sido hasta ahora la resultante de decisiones individuales y colectivas efectuadas dentro de marcos económicos y sociales independientes que ha varia-

do de país a país, de región a región y de época a época.

No es posible, dentro de los límites del presente trabajo, analizar las diversas alternativas de evolución que se presentan a la humanidad en este panorama. Tampoco es necesario, ya que nuestro propósito es evaluar necesidades máximas y capacidad de satisfacerlas. Adoptaremos, por lo tanto, la posición que ha dado en llamarse "tecnológico-optimista", por oposición a la "malthusiana", o pesimista, y supondremos que se elegirá el camino correcto, y se sortearán de alguna manera los obstáculos sociales, económicos, culturales, religiosos y políticos que aparezcan en él, para llegar finalmente a una sociedad estabilizada caracterizada por una población fluctuante en la vecindad de un valor constante que sea energéticamente equitativa, es decir, con un consumo mundial promedio representativo de un nivel de comodidad similar para todos los habitantes de la Tierra, cuya variación regional se deba solamente a exigencias geográficas. Es obvio que, a los niveles de operación que se alcanzarán, la cuestión energética deberá encararse como un sistema complejo cuya inclusión en el conjunto global se realice sobre la base de la armonización integral de factores económicos, de seguridad, de conservación y ecológicos interactuando a un mismo nivel de importancia<sup>(3)</sup>.

Veamos, en primer término, que número probable de habitantes tendrá esa sociedad estabilizada. La figura 3 da varias proyecciones de la población mundial caracterizadas por la fecha en que se supone la adopción completa, a nivel mundial, de un método satisfactorio de control de fertilidad que establezca un índice de reproducción constante de dos hijos por pareja<sup>(4)</sup>. Como se ve en las curvas, una vez adoptado el método se requieren varias decenas de años para llegar al equilibrio. Esto se debe al impulso inicial resultante del predominio, en la distribución de edades, de personas jóvenes en condiciones de reproducirse, a lo que se añade el aumento del promedio de vida durante el lapso de adaptación.

Las curvas muestran que un mundo de 15000 millones de habitantes,

v aún de 20000 millones, no es imposible para el siglo venidero. Es de notar que estas cifras no suponen crecimiento exponencial a partir del ritmo actual y que la densidad de población resultante no es disparatada. La superficie del mundo habitable es de  $1,35 \times 10^8 \text{ km}^2$ , lo que da una densidad promedio, para 15000 millones de habitantes, de 111 habitantes/ $\text{km}^2$ . El valor actual de Alemania Occidental es de 157, el de toda Europa Occidental de 151 y el del Japón de 290<sup>(2)</sup>. La densidad de población del Gran Buenos Aires es del orden de 1000 hab/ $\text{km}^2$ , de modo que esa población ocuparía poco más del 10% de la superficie de los continentes a esa densidad. En ciudades más sofisticadas, a 15000 hab/ $\text{km}^2$ , algo menor que la densidad actual del Principado de Mónaco<sup>(2)</sup>, bastaría con  $10^6 \text{ km}^2$ , o sea el 0,75% de esa superficie.

Se estima<sup>(6)</sup> que una sociedad de esas dimensiones tendría un consumo promedio por habitante del orden de 20  $\text{kW}_t$  continuos, es decir, unas 10 veces el promedio presente. Ese nivel de consumo se alcanza asumiendo un estándar de vida similar al norteamericano actual, de 10  $\text{kW}_t$  continuos por habitante, y añadiendo las nuevas necesidades colectivas, para una sociedad de ese tamaño, derivadas del reciclado y recuperación de materiales escasos, la obtención de agua potable y su transporte a las ciudades, la producción de alimentos en forma intensiva, el control de la eliminación de desechos y de la polución, la obtención de intermediarios energéticos sustitutos de los combustibles transportables (por ejemplo, hidrógeno), la eventual irradiación forzada de excedentes de calor al espacio, y otras contingencias emergentes del manejo de recursos energéticos a ese nivel.

En esas condiciones, y asumiendo como hipótesis de trabajo una población de 16000 millones de habitantes (cuatro veces la actual), los requerimientos energéticos de la sociedad estabilizada supuesta son de  $2,6 \times 10^{15} \text{ kW}_t\text{h/año}$ , o sea 40 veces el consumo mundial actual

### 3. Las fuentes energéticas.

En lo que sigue, y dadas las magnitudes a tratar, usaremos principalmente la unidad de energía  $Q$ , definida como  $10^{18}$  Btu o sea  $1,055 \times 10^{21}$  Joule. El consumo mundial actual es de 0,23  $Q$ /año.

La Tabla 4 enumera las fuentes energéticas renovables y no renovables consideradas usualmente como significativas. Hemos excluido otras de menor importancia probable o más esotéricas, como la energía de las olas o de los gradientes salinos en la desembocadura de los ríos.

Vamos a examinar sumariamente las posibilidades de cada una de estas fuentes en cuanto surgen del conocimiento actual. Por su propio carácter, los valores pueden estar afectados de errores muy grandes, pero de cualquier modo dan un marco de referencia aproximado para la discusión general sobre su significación probable. Incluiremos como "reservas" las cantidades conocidas que son económicamente explotables con la tecnología actual, y como "recursos", además, la cantidad máxima que se estima podrá utilizarse, aún cuando no se disponga todavía de la tecnología necesaria o no sea posible hacerlo ahora por razones económicas; esto incluye los recursos "inferidos". En esta clasificación, que es muy primaria pero basta para nuestros propósitos, los recursos se transforman en reservas por el cambio de condiciones económicas o el progreso de la tecnología.

Es de notar que, con excepción de la energía nuclear y la geotérmica, y la intervención de la Luna en la regulación del ciclo de las mareas, todas las fuentes incluidas en la Tabla 4 tienen como origen directo o indirecto la energía del Sol. Esto es una consecuencia del papel preponderante que cumple la energía solar en el balance energético del entorno de la superficie terrestre, al cual contribuye con el 99,98% de la energía anual involucrada<sup>(8)</sup>.

### 3.1. Combustibles fósiles.

Este rubro está dominado por el petróleo, el carbón y el gas natural. En algunos países (Rusia, Finlandia, Irlanda) se emplean cantidades considerables de formas de carbón de bajo poder calorífico (turbas, etc.). Los combustibles fósiles incluyen también rocas portadoras de hidrocarburos pesados prácticamente no explotadas en la actualidad por el costo elevado de la recuperación.

Las reservas de combustibles fósiles son del orden de 22 Q<sup>(9)</sup>, de los cuales el 75% corresponden a carbón, el 15% a petróleo y el 10% a gas natural. Las rocas bituminosas se explotan hasta ahora en proporciones menores en Alberta (Canadá), Manchuria y Estonia, y experimentalmente en otros lugares, pero su recuperación no ha alcanzado todavía condiciones económicas que justifiquen incluir parte de los recursos como reservas.

En cuanto a recursos, los valores dados usualmente para el carbón están en el rango 250-400 Q<sup>(10)</sup>, aunque según algunas opiniones (11) estas estimaciones son exageradas y la realidad económica está un orden de magnitud por debajo (30 Q). Los recursos de petróleo se estiman en 8-80 Q y los de gas natural en 3-30 Q<sup>(10)</sup>.

Los recursos de hidrocarburos pesados recuperables a partir de esquistos bituminosos se ubican en los 105 Q, y los obtenibles de otras rocas portadoras en 6 a 15 Q<sup>(10)</sup>.

La circunstancia de que la mayor parte de los recursos fósiles sean de carbón, unida al hecho de que se encuentran principalmente en EE.UU., Rusia y Europa, sugiere que su participación en la satisfacción de la demanda energética aumentará en el futuro inmediato y ha provocado una intensificación de las investigaciones tendientes a aprovecharlo en formas indirectas (liquefacción, gasificación, etc.).

### 3.2. Energía nuclear de fisión.

Los reactores de fisión térmica en uso utilizan aproximadamente el 1,5% de la capacidad energética que tendría el uranio en un ciclo basado en la reproducción de material fisionable ("breeding"). Aun en el primer caso, el costo de producción de la energía es relativamente poco sensible a variaciones en el costo del combustible, dada la elevada energía específica de éste ( $1,65 \times 10^8$  kcal/kg para uranio natural). Esto hace que el límite económico entre reservas y recursos sea muy difuso y dependa del costo aceptable para su extracción.

Con esta salvedad, las reservas a un costo de hasta 40 U\$S/kg, competitivo en la actualidad para la producción de energía eléctrica, son del orden de 1,4 Q, y los recursos de 3,2 Q<sup>(9)</sup>.

El panorama cambia totalmente al considerar los reactores reproductores, de los cuales ya existen centrales de demostración en funcionamiento en el mundo y cuya inserción comercial en el mercado eléctrico se prevé para la próxima década. Utilizadas en ellos, las reservas actuales a 40 U\$S/kg son 326 Q, del orden de los recursos máximos de combustibles fósiles. De ellas, 192 Q corresponden al uranio y 134 al torio, que se añade, para estos reactores, como un nuevo recurso nuclear.

En lo que respecta a recursos, los reactores reproductores podrán aceptar uranio y torio extraídos a costos casi dos órdenes de magnitud mayores que los actuales sin perder competitividad, lo que posibilita incorporar como reservas yacimientos de muy baja ley, ahora antieconómicos, e inclusive aprovechar el uranio contenido en las rocas graníticas y el agua de mar a niveles respectivos de 4 y 0,003 ppm.

En estas condiciones, el recurso se hace prácticamente infinito, con un valor de  $2 \times 10^7$  Q por km de corteza terrestre suponiendo que se utiliza solo el 1% de ésta.

### 3.3. Energía nuclear de fusión.

La factibilidad científica de la producción controlada de energía nuclear de fusión no ha sido lograda, por lo que las consideraciones sobre su potencial energético solo tienen valor especulativo. El lapso necesario para llegar a reactores comerciales de fusión una vez demostrada la factibilidad científica se estima en 20 a 30 años, aun cuando hay opiniones más optimistas.

El valor del recurso para el ciclo D-D, basado en la utilización del 1% del deuterio contenido en el agua de mar ( $5 \times 10^{13}$  Ton), es de unos  $10^8$  Q. En cuanto al ciclo D-T, que presenta menos exigencias de temperatura y en el cual se concentran las investigaciones actuales, su potencial depende de la disponibilidad de litio, elemento del cual se obtendría el tritio empleado en la reacción.

Los yacimientos de litio conocidos e inferidos se estiman en  $2,2 \times 10^7$  Ton<sup>(12)</sup>, lo que corresponde a un recurso energético de 2000 Q. Este se eleva a  $5 \times 10^4$  Q, valor infinito a los fines prácticos, si se supone aprovechable el 1% del litio contenido en los océanos (0,13 ppm).

### 3.4. Energía geotérmica.

Esta fuente es, en principio, renovable, pero como su tasa de renovación no se conoce, y hasta ahora se emplea solamente vapor acumulado, es usual dar su potencial en términos de energía total. Se operan actualmente en el mundo unos 7000 MW<sub>t</sub> para calefacción y generación eléctrica (aproximadamente 1000 MW<sub>e</sub>) y están en proyecto o construcción centrales que duplican esa potencia.

Los recursos utilizables con la tecnología actual se estiman en 0,4 Q para los primeros 10 km de profundidad<sup>(13)</sup>; esto corresponde al 1% del vapor y el agua caliente almacenada, que en su mayor parte se encuentra en condiciones de presión y temperatura no apropiadas para generar vapor en la superficie.

El recurso se incrementa grandemente si se suponen aplicables nuevas tecnologías basadas en el calentamiento de agua inyectada artificialmente en rocas secas, y llega a  $10^4$  Q, para la misma profundidad de 10 km, cuando, además de las rocas calientes, se consideran utilizables el 1% de las regiones de gradiente térmico normal (aproximadamente 20 C/km) <sup>(3)</sup>.

En caso de no concretarse estas posibilidades, las perspectivas de utilización de la energía geotérmica están limitadas a un papel complementario relativamente reducido.

### 3.5. Energía hidroeléctrica.

La circulación en la hidrosfera involucra potencias totales del orden del 0,1 Q/a <sup>(8)</sup>. La fracción máxima canalizable a través de aprovechamientos hidroeléctricos se estima <sup>(9)</sup> en 0,04 Q/a de energía eléctrica producida (factor de utilización 50%).

### 3.6. Energía solar directa.

La energía solar que llega a la superficie terrestre es de aproximadamente 2440 Q/a <sup>(8)</sup>. Suponiendo que un 10% de este recurso sea utilizable sin interferencias con los ciclos energéticos normales <sup>(3)</sup>, se llega a unos 70 Q/a para la superficie continental (el 10% de la superficie continental). El factor limitativo de la explotación terrestre será la disponibilidad de superficie o, en el caso de satélites captadores, para los cuales el recurso se duplica, el valor aceptable para la densidad energética transmitida a la Tierra.

### 3.7. Energía eólica.

La energía máxima obtenible a partir de este recurso se estima <sup>(9)</sup> en 0,25 Q/año, que es aproximadamente el consumo mundial actual. Esto constituye una pequeña fracción de la energía total en juego en la circulación atmosférica, ya que solo son utilizables los vientos superficiales hasta cierta altura.

### 3.8. Energía mareomotriz.

La energía disipada en las mareas es del orden de 0,1 Q/a, de la cual el 2-3%, o sea 0,002 a 0,003 Q/a, sería utilizable en lugares apropiados<sup>(8,9)</sup>. Se considera que éstos difícilmente sean más de 15 o 20 para todo el mundo<sup>(14)</sup>, dada la necesidad de contar con características geográficas apropiadas (bahías o estuarios con mareas mayores de 2 m). Existen centrales mareomotrices en operación en La Rance (Francia) y Kislaya (Rusia), con 434 MW<sub>e</sub> en total.

### 3.9. Energía vegetal y de residuos.

Parte de la energía absorbida en la fotosíntesis es recuperable en forma de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Se estima<sup>(4)</sup> que por medio de "plantaciones de energía" podrían obtenerse 0,20 Q/a, que se elevarían a 0,24 Q/año utilizando además los residuos orgánicos. Esta cifra es especulativa y parece elevada considerando que toda la energía involucrada en la fotosíntesis es del orden de 1 Q/año<sup>(8)</sup>.

### 3.10. Gradiente térmico de los océanos.

Las estimaciones realistas sobre este recurso oscilan entre 2,6<sup>(15)</sup> y 6<sup>(9)</sup> Q/a. Un factor limitativo de la explotación en gran escala puede ser el eventual efecto climático del enfriamiento producido en la superficie marina.

## 4. La satisfacción de las necesidades.

La Tabla 5 resume los resultados del examen de recursos y reservas que acabamos de realizar. Con fines comparativos se ha incluido también en ella el consumo actual, que es de 0,23 Q/a.

El consumo de la sociedad estabilizada supuesta anteriormente es en estas unidades, de 10 Q/a. Cuando se compara este valor con los dados en la Tabla 5 resulta evidente que la mayoría de las fuentes

son inadecuadas para proveer las necesidades asintóticas de la humanidad. Esto es particularmente válido para las fuentes tradicionales aun cuando, dada la incertidumbre intrínseca en la estimación de recursos probables máximos, éstos sean considerablemente mayores que lo supuesto.

Los únicos recursos de dimensiones no críticas son la energía solar, la nuclear y la geotérmica. En este último caso, sin embargo, no existe la tecnología necesaria para su utilización a ese nivel, y existen dudas sobre si será posible emplearla, dada su posible interferencia, para los volúmenes de producción necesarios, con la estabilidad geológica local.

En cambio, en los casos de la energía solar y la energía nuclear la factibilidad de uso está demostrada. Para la nuclear, lo está en condiciones económicas en lo que respecta a la fisión térmica y técnicamente para la reproductora. En el caso solar, no hay dudas sobre la factibilidad técnica, y su ingreso económico en el mercado energético dependerá de la energía con que se prosiga su desarrollo en esa dirección.

Parece lógico, por lo tanto, que, salvo el descubrimiento, por ahora insospechado, de una nueva fuente espectacular, el consumo de la humanidad a largo plazo se satisfará con estas dos fuentes. La distribución de la producción entre ellas dependerá, para cada caso particular, de los riesgos ecológicos y la carga económica que respectivamente presenten.

##### 5. La situación argentina.

El consumo actual de nuestro país es de 0,0015 Q/a, que corresponde al 0,6% del mundial. La composición de la energía primaria muestra una franca distorsión hacia la sobreutilización de hidrocarburos respecto del promedio mundial (87,7% frente a 65%) y consiguientemente una baja utilización relativa de otros recursos.

Esta situación es reconocida en los ambientes responsables y su corrección contemplada en los planes energéticos formulados en los últimos años. Un resumen de esta tendencia se ve en la Tabla 6, elaborada con datos de una publicación reciente del Centro de Estudios Energéticos<sup>(16)</sup>.

En la hipótesis de una sociedad mundial estabilizada de 16000 millones de habitantes ya mencionada, a la Argentina, por su proporción de superficie terrestre, le corresponde una cuota de 330 millones de habitantes, con un consumo anual de aproximadamente 0,2 Q. Esto supone una población uniformemente distribuida en todo el globo, lo que seguramente no ocurrirá. Por el contrario, es probable que la situación asintótica de la población en esta parte del mundo corresponda a una proporción mayor, dadas las condiciones climáticas particularmente favorables de la mayor parte del territorio. Aun en la condición de distribución uniforme, la energía necesaria es 160 veces la actual, incremento muy superior al mundial, que es de 40 veces, debido principalmente a la relativamente escasa población actual.

Realizando un examen análogo al efectuado antes para el mundo, se llega a la Tabla 7, basada en los datos de que se dispone en la actualidad<sup>(16,17,18,19,20)</sup>.

La Tabla muestra que, aun admitiendo que la información existente sobre nuestros recursos sea mucho más deficiente que la disponible a nivel mundial, y los errores de estimación correspondientes mucho mayores, son también la energía nuclear y la solar las únicas capaces de llegar a los niveles de operación requeridos.

En el camino hacia esa situación límite, la Argentina tiene un recorrido más largo que muchos otros países del mundo. Ello hace posible ir orientando el desarrollo de modo de ir cubriendo las diversas etapas en la forma más apropiada para las condiciones locales, que no tienen porqué ser las mismas que priven en los países desarrollados y, por lo tanto, en las tendencias mundiales. La

utilización de energía eólica en la Patagonia, por ejemplo, aparece en primer análisis como una contribución importante en el mediano plazo determinada por características regionales y no por el estado del mercado mundial de provisión de equipos energéticos. Lo mismo ocurre con la energía solar directa y aun con la geotérmica y la mareomotriz, a pesar de su poca significación en el largo plazo. Los desarrollos hidroeléctricos y nucleares están ya en marcha y serán con seguridad los factores que más contribuirán, en las próximas dos décadas, al desplazamiento de los combustibles fósiles en la generación de electricidad.

El éxito con que la Argentina recorra ese camino dependerá de la capacidad que mostremos los habitantes de la región para reconocer la verdadera dimensión de los problemas en cada una de las etapas y de la energía con que persigamos los objetivos concretos a través de programas realistas e integrados de investigación, desarrollo, demostración y producción energéticos.

En lo que respecta a la utilización directa de la energía solar, está claro que constituirá una de las dos fuentes más importantes, si no la principal, en el largo plazo. Su integración en las etapas previas a través de un esfuerzo acelerado de desarrollo es, por lo tanto, en alto grado deseable, en cuanto la experiencia adquirida en ellas permitirá una persecución más racional de las metas finales,

## REFERENCIAS

- (1) P.H. Mitchell, A Textbook of Biochemistry, N.Y. , (1950).
- (2) United Nations Statistical Yearbook, N.Y. , (1974).
- (3) W. Häfele, IAEA Bulletin 16, n° 1/2,3 (1974).
- (4) C. Starr, Scient.Amer., 225, n° 3, 37 (1971).
- (5) United Nations Statistical Yearbook, N.Y. (Varios años).
- (6) A.M. Weinberg y R.P. Hammond, 4th.Int.Conf.Peaceful Uses At.Energy, Paper 49/P/033, IAEA (1971).
- (7) Dirección Nacional de Defensa Civil, B.A. Comunicación personal.
- (8) M.K. Hubbert, IEEE Trans.Nucl.Sci., NS-18, n° 4, 18 (1971), y Scient.Amer., 225, n° 3, 61 (1971).
- (9) World Energy Conference, Survey of Energy Resources, N.Y. (1974).
- (10) V.E. McKelvey, Public Utilities Fortnightly, Sep.25, 1975.
- (11) G.B. Fettweiss, Energy Resource Conference; Laxenburg, Austria, 1975.
- (12) E.J. Cairns, P.A. Cafasso y V.A. Maroni, Proc.Symp. on the Role of Chemistry in the Development of Controlled Fusion, N.Y., 1972.
- (13) L.J.P. Muffler y D.E. White, Sci.Teacher, 39, n° 3, 40 (1972).
- (14) F. Alsina, Las Mareas y su Energía, Fundación Bariloche, 1975.
- (15) C. Zener, Bull.At.Scientists, 32, n° 1, 17 (1976).
- (16) Centro de Investigaciones Energéticas, Servicio Informativo n° 13, (1976).
- (17) Centro de Investigaciones Energéticas, Análisis de la Situación Energética Argentina y sus Perspectivas, Tomo II (1974).
- (18) L.P. Berlfein, Energía de las Mareas, Fundación Bariloche (1969).
- (19) Secretaría de Estado de Energía, Boletín Estadístico (1975/6).
- (20) Central Nuclear en Atucha, Memoria Anual 1975, CNEA, B.A. (1976).

TABLA 1

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA  
Potencia continua por habitante

País	W	Exceso sobre capacidad fisiológica
EE.UU.	10 900	296
Alemania Occ.	5 300	143
Rusia (c/Siberia)	4 500	121
Japón	3 300	89
Italia	2 500	68
<u>Promedio mundial</u>	<u>1 900</u>	<u>51</u>
Argentina	1 700	45
Portugal	820	22
Brasil	520	14
Egipto	270	7,3
India	170	4,6
Indonesia	130	3,5
Madagascar	70	1,9
Haití	30	0,81
Alto Volta	10	0,27

(Fuente: Ref. 2)

TABLA 2

SITUACION ENERGETICA EN ALGUNOS PAISES

(TWh/año)

País	Consumo	Producción	Producción
			Consumo
EE.UU.	20 132	16 418	0,82
Rusia (c/Sib.)	9 844	10 994	1,12
China	3 795	3 984	1,05
Japón	3 121	318	0,10
Alem. Occ.	2 872	1 410	0,49
Francia	1 832	384	0,21
Australia	626	775	1,24
España	556	146	0,26
Brasil	460	163	0,35
Argentina	371	302	0,81
Irán	272	3 269	12,0
Venezuela	231	1 965	8,5
Libia	99	1 202	12,1
Cuba	82	1,5	0,02
Arabia Saudita	71	8 443	118,9
Nigeria	32	1 066	33,3
Sudán	17	0,08	0,005
Nicaragua	7,4	0,32	0,04
Omán	1	150	150

(Fuente: Ref 2)

TABLA 3

CONTRIBUCION DE LAS DIVERSAS FUENTES  
AL CONSUMO MUNDIAL EN 1973 (1)

Petróleo	43,7
Combustibles sólidos	32,3
Gas	21,5
Otros	<u>2,5</u>
	100,0

(Total hidrocarburos: 65,2)

(Fuente: Ref 2)

TABLA 4

FUENTES ENERGETICAS POSIBLES

1. No renovables

Petróleo

Carbón

Gas natural

Otros combustibles fósiles

Energía nuclear de fisión

Energía nuclear de fusión

Energía geotérmica (?)

2. Renovables

Energía hidroeléctrica

Energía solar directa

Energía eólica

Energía mareomotriz

Energía vegetal y de residuos

Gradiente térmico de los océanos

TABLA 5

RECURSOS ENERGETICOS MUNDIALES

Fuente	Consumo actual (Q/año)	Reservas	Recursos
<b>Combustibles fósiles</b>			
Sólidos	0,073	16,5 Q	250-400 Q(?)
Petróleo	0,099	3,3 Q	8-80 Q
Gas natural	0,048	2,3 Q	3-30 Q
Rocas bituminosas			110-120 Q
<b>Energía nuclear</b>			
Fisión térmica (U < 40 U\$S/kg)	0,0015	1,4 Q	3,2 Q
Fisión reproductora (U y Th < 40 U\$S/kg)	~ 0	142 Q	326 Q
Fisión reproductora (1% U y Th de rocas y océanos)			2 x 10 <sup>7</sup> Q
Fusión D-T (Li de yacimientos)			2000 Q
Fusión D-T (1% Li de océanos)			5 x 10 <sup>4</sup> Q
Fusión D-D (1% D)			10 <sup>8</sup> Q
<b>Energía geotérmica</b>			
Tecnología actual	0,0002	0,4 Q	0,4 Q
Nuevas tecnolog. (1%)			10 <sup>4</sup> Q
Energía hidroeléctrica*	0,0044	0,04 Q/a	0,04 Q/a
Energía solar (10%)	~ 0		70 Q/a
Energía eólica	~ 0		0,25 Q/a
Energía mareomotriz	0,00001		0,003 Q/a
En. veg. y de res.	?		0,24 Q/a(?)
Gradiente térm. de océanos			2,6-6 Q/a

\* Energía eléctrica producida suponiendo factor de utilización .50%

TABLA 6

PROYECCION DEL CONSUMO ANUAL ARGENTINO

Fuente	1974		2000	
	TWh	%	TWh	%
Petróleo	294	66,6	539	33
Gas natural	93	21,1	340	21
Comb. vegetales	25,6	5,8	37	2
Carbón	12,2	2,8	132	8
Hidroelectricidad*	14	3,1	353	22
Nuclear	2,9	0,6	223	14
Total	441,7	100	1 624	100

(Fuente: CIE)

\* Sustitución térmica con eficiencia 0,35.

TABLA 7 ~

RECURSOS ENERGETICOS ARGENTINOS

Fuente	Consumo actual (Q/año)	Reservas	Recursos
<b>Combustibles fósiles</b>			
Sólidos	0,000042	0,003 Q	0,0076 Q
Petróleo	0,00100	0,014 Q(*)	0,064 Q
Gas	0,00032	0,006 Q	0,05 Q
Rocas bituminosas			0,002 Q
<b>Energía nuclear</b>			
Fisión térmica (U <sup>235</sup> U\$S/kg)	0,00001	0,025 Q	0,06 Q
Fisión reproductora (U <sup>235</sup> U\$S/kg)		1,5 Q	3,6 Q
Fisión reproductora (1% U y Th de rocas y océanos)			4 x 10 <sup>5</sup> Q(?)
<b>Energía geotérmica</b>			
Tecnología actual			0,00003 Q
Nuevas tecnol. (1%)			200 Q
En. hidroeléctrica**	0,00005.	0,0007 Q/a	0,0007 Q/a
Energía solar (10%)			1,2 Q/a
Energía eólica			0,01 Q/a(?)
Energía mareomotriz			0,00005 Q/a
En. veg. y de res.	0,00009		0,001 Q/a(?)

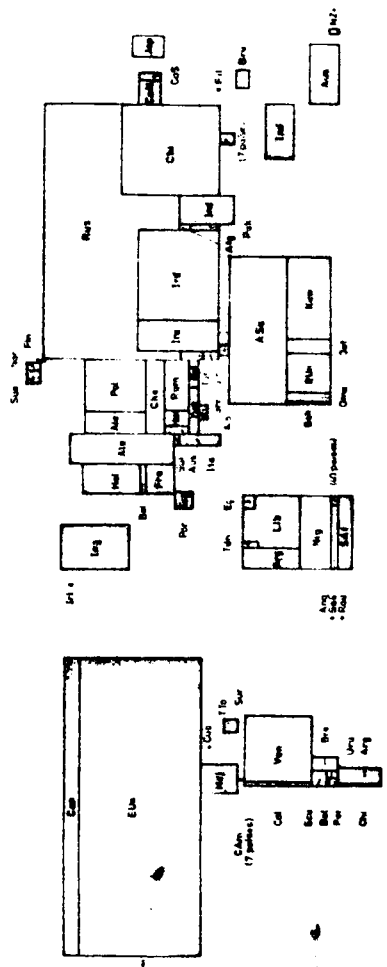
\* Incluye plataforma submarina.

\*\* Energía eléctrica producida suponiendo factor de utilización 50%



PRODUCCION DE ENERGIA PRIMARIA

☐ = 100 TWh/a



(Datos de 1973 - Fuente: Anuario Estadístico de los Recursos Uruguayos)

Figura 2

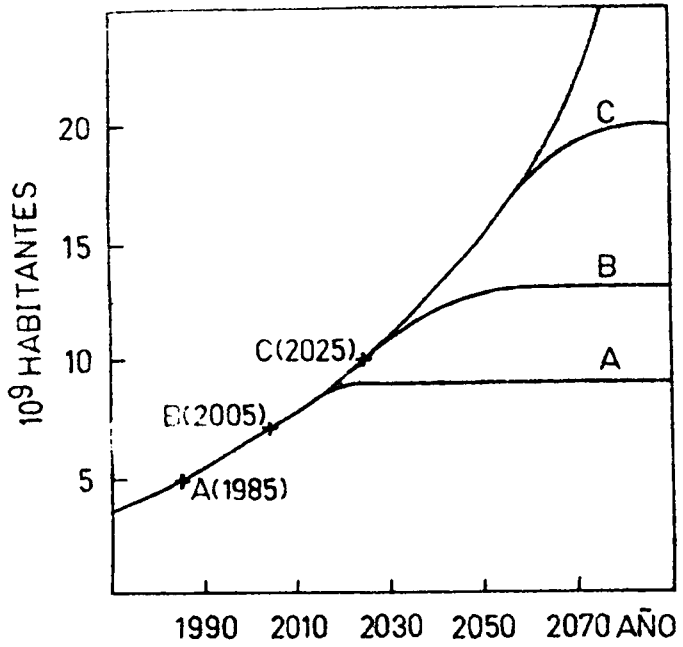
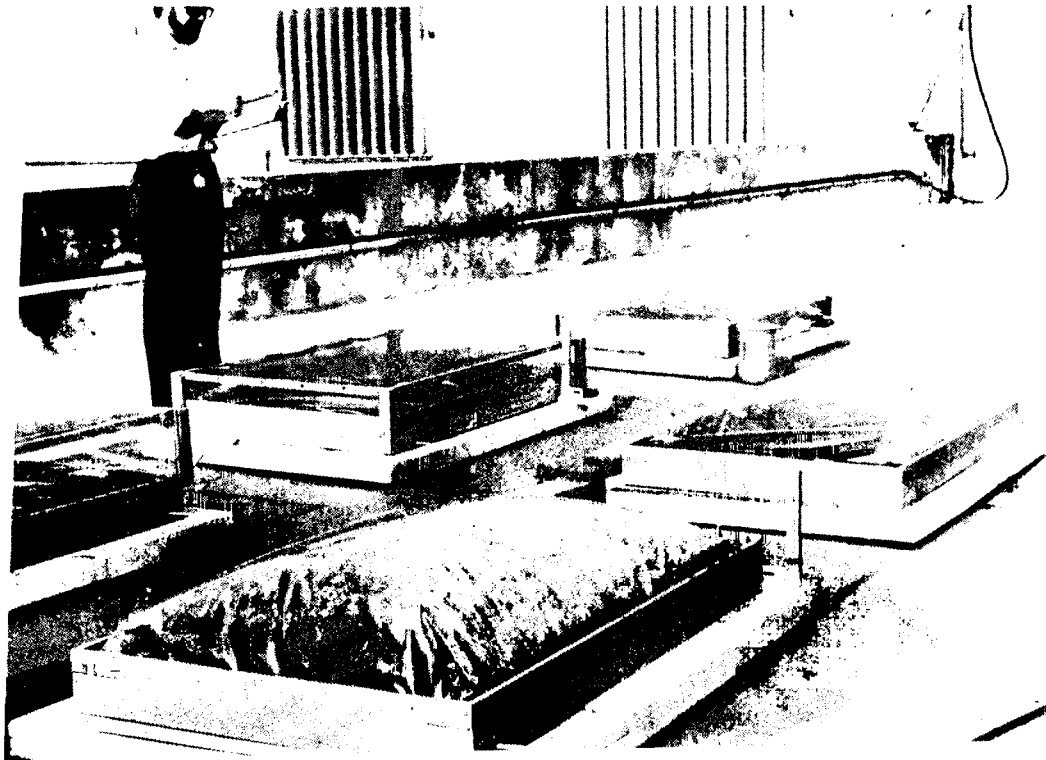


Fig. 3.- Proyecciones posibles de la población mundial

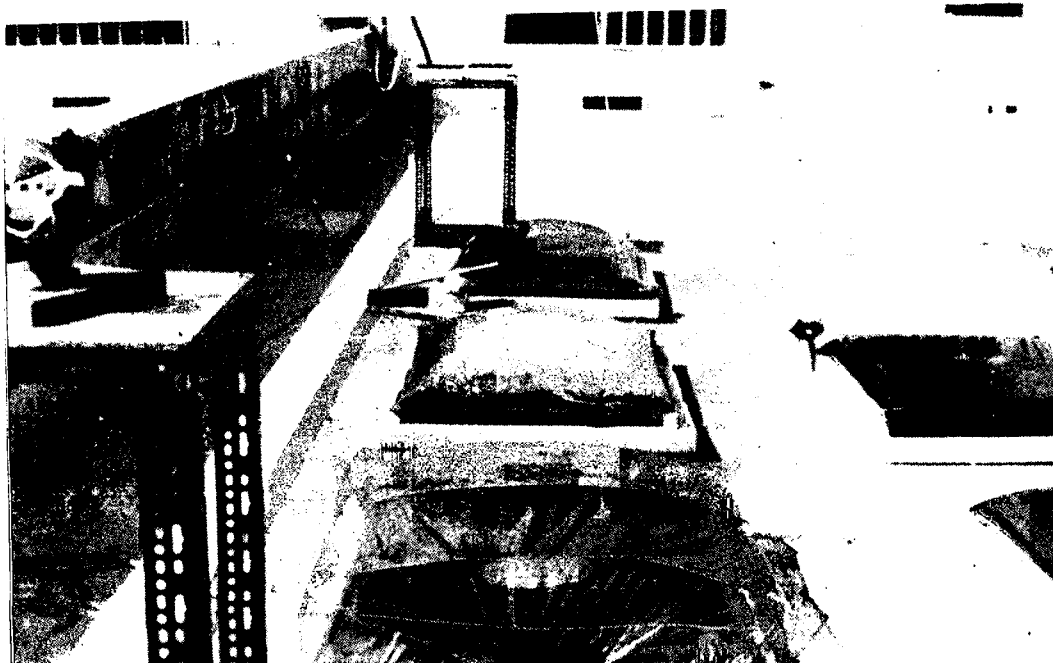


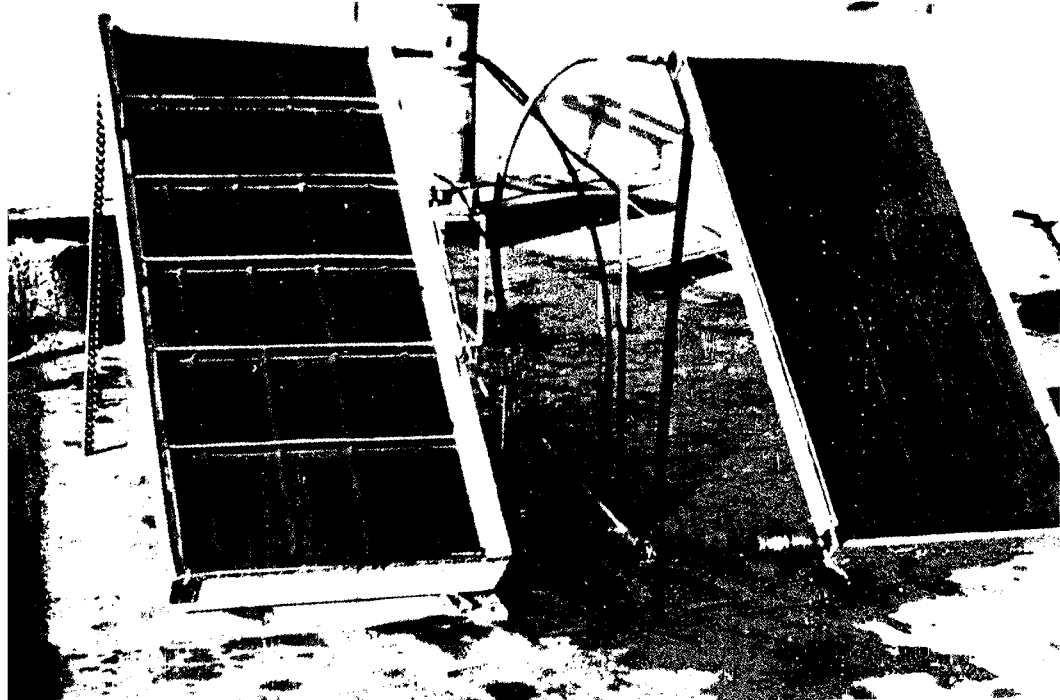
Acto inaugural. Presiden el acto: (der.) Dr. J. Moragues, presidente de ASADES; Est. H. M. Rodríguez, Director del Dpto. de Ciencias Exactas; Cap. E. A. Casal, Rector Interventor de la UNSa.; Ing. B. de F. Blosser, Subsecretario de Geología y Minería; Sr. D. Klappembach, Director de Planeamiento de la CNECH y Dr. Luis Saravia, Presidente del Comité Organizador.





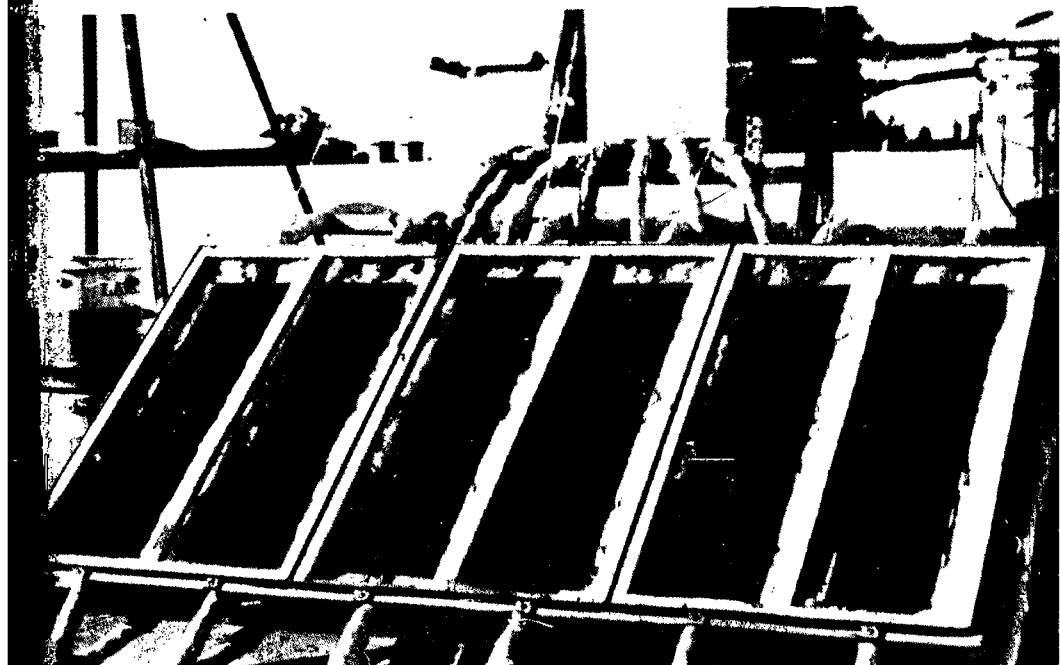
(1. 2) Modelos de estanques solares playos construidos con fines de ensayo de diferentes geometrías y materiales.



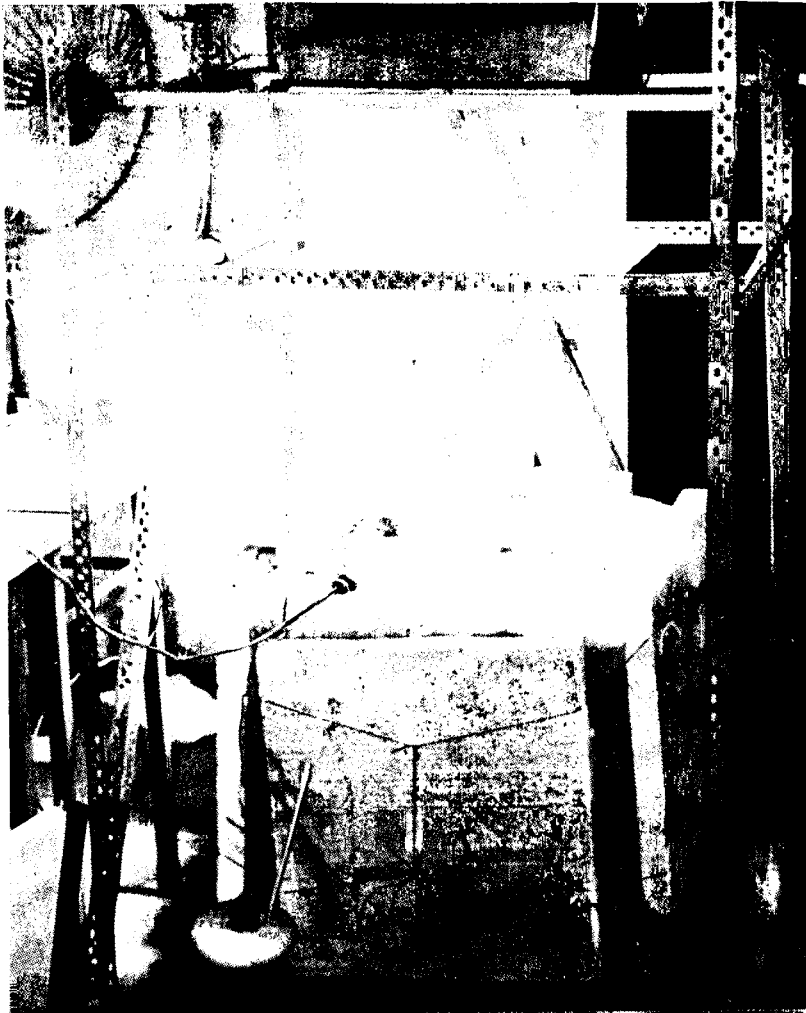


4) Colectores calentadores de agua para estudio de pérdidas por convección.

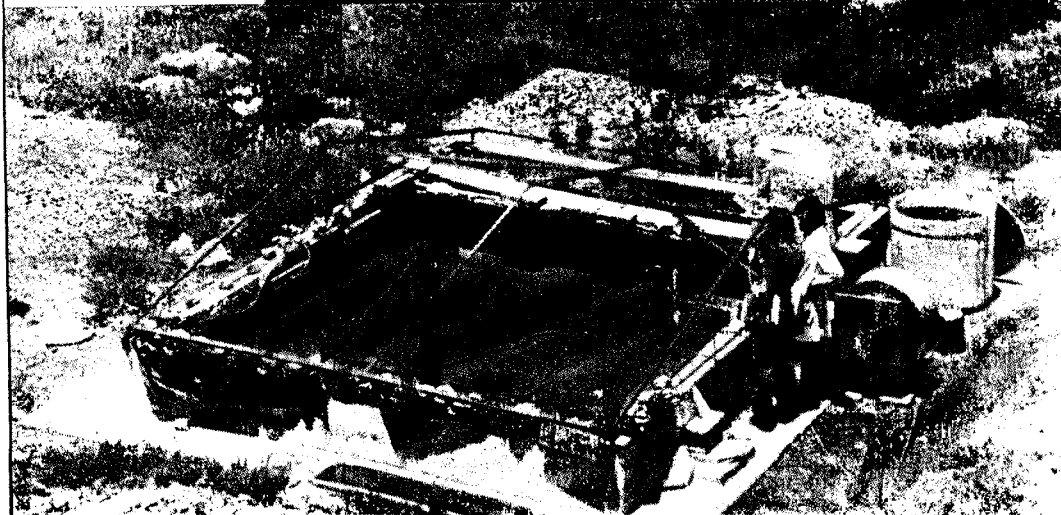
3) Calentadores de agua contruídos con distintos materiales y método de sujección caño-chapa.



2) Modelo de labora-  
o de una poza solar.



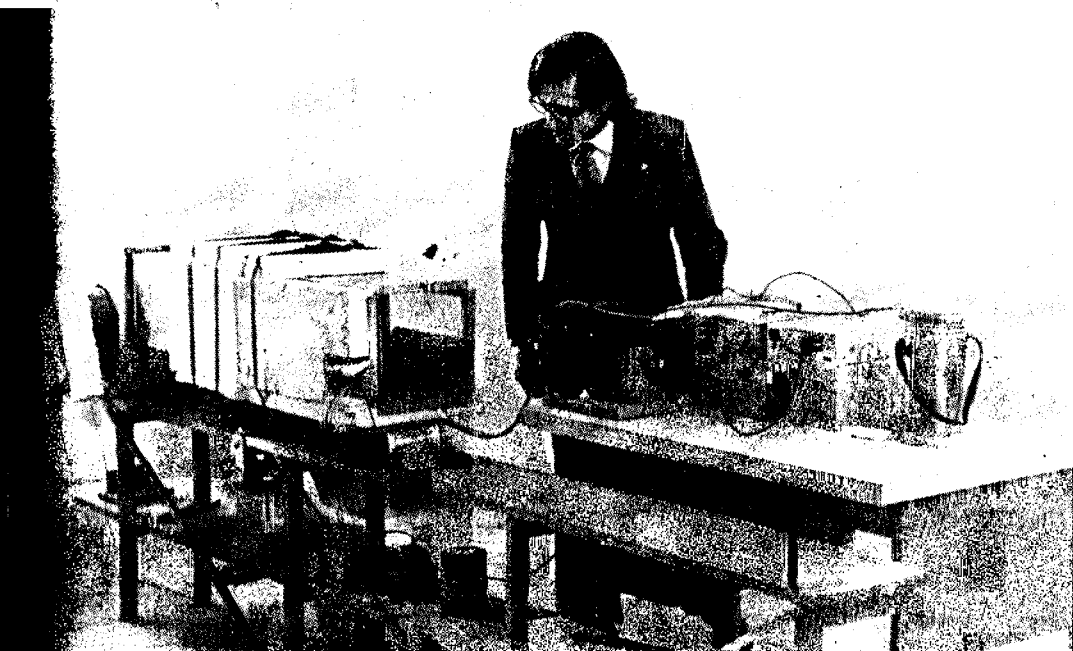
5) Poza solar experi-  
mental con solución de  
nuro de sodio.

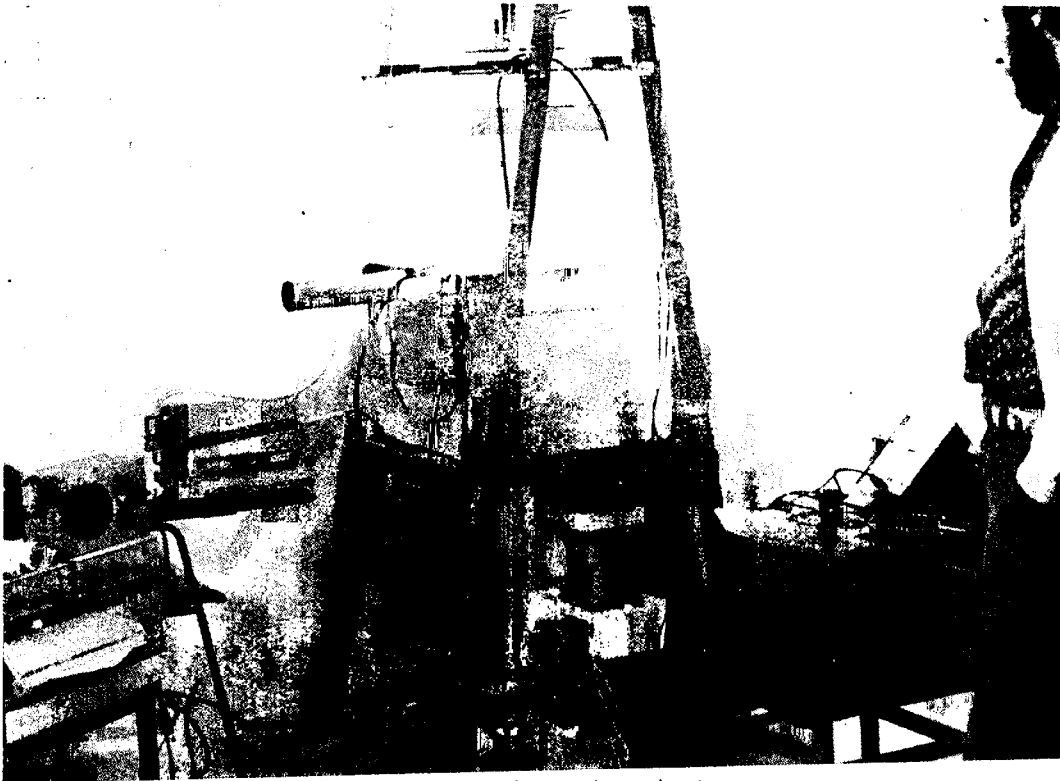




(III. 3) Parte superior de un acondicionador de aire.

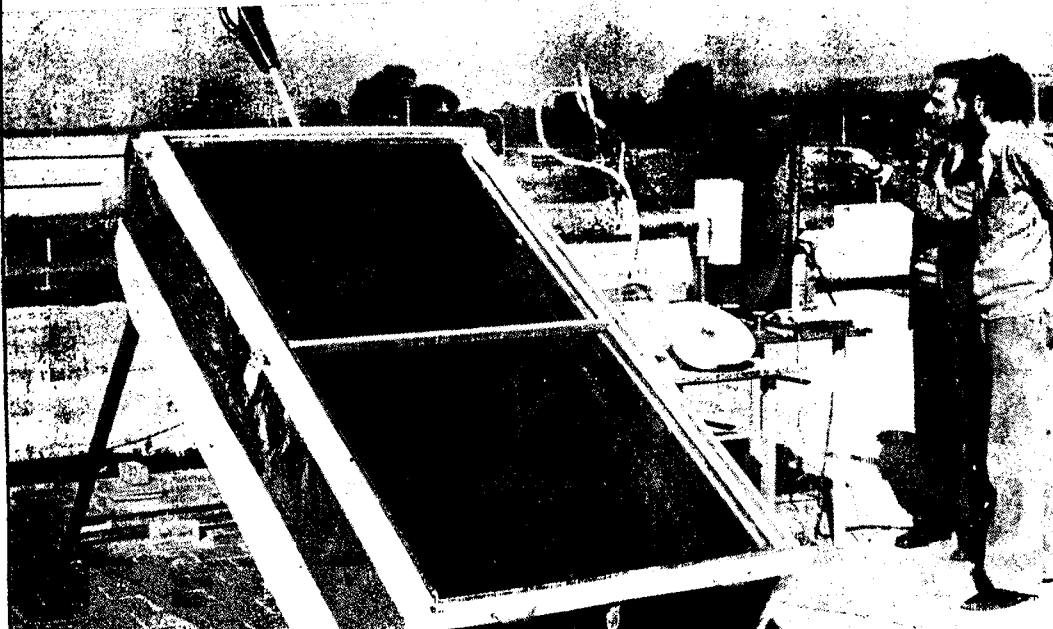
(III. 5) Tunnel de viento en construcción, para el ensayo de elementos de acumulación por cambio de fase de sales hidratadas.

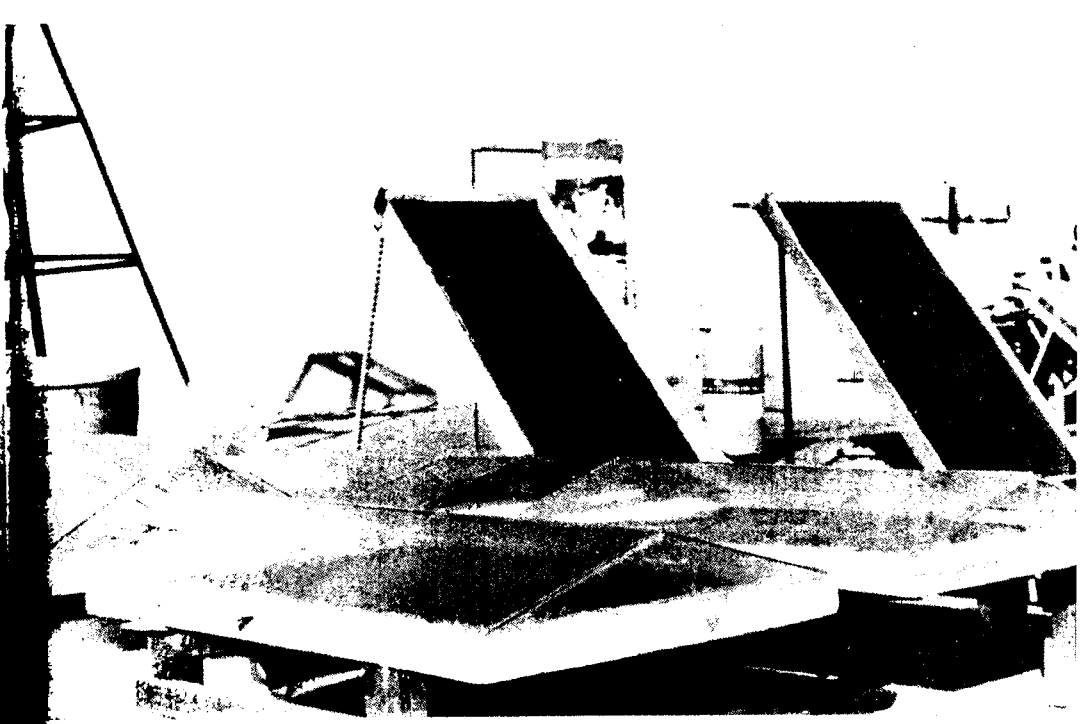




(IV. 2) Ensayo de matrices porosas para calentadores solares de aire.

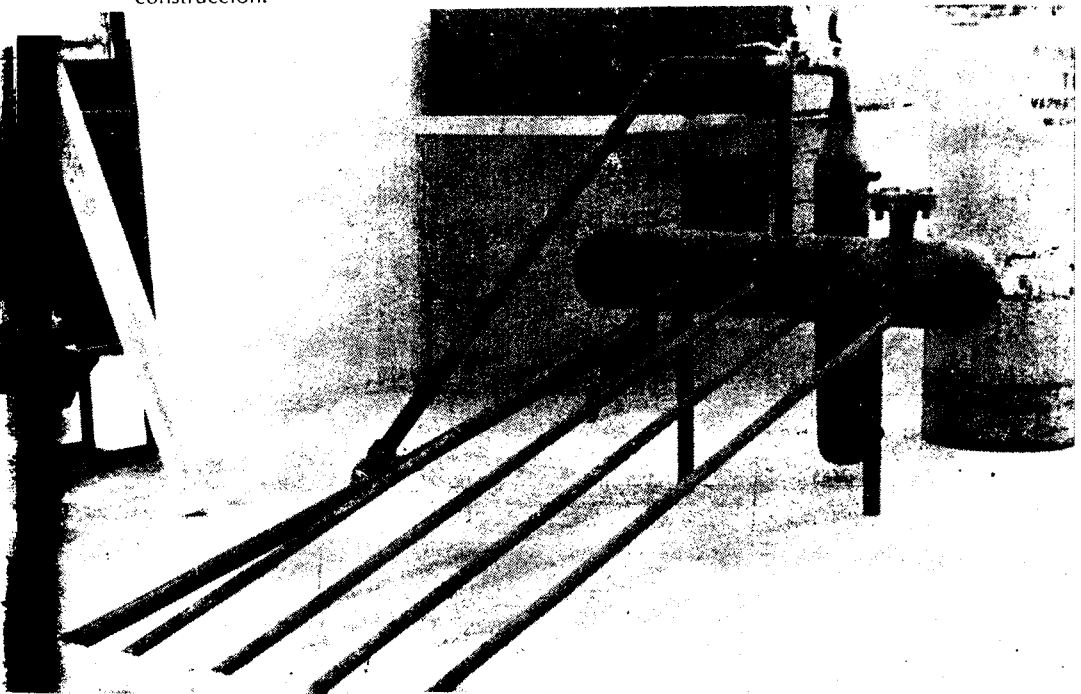
Calentador solar de aire con matriz porosa en proceso de ensayo.

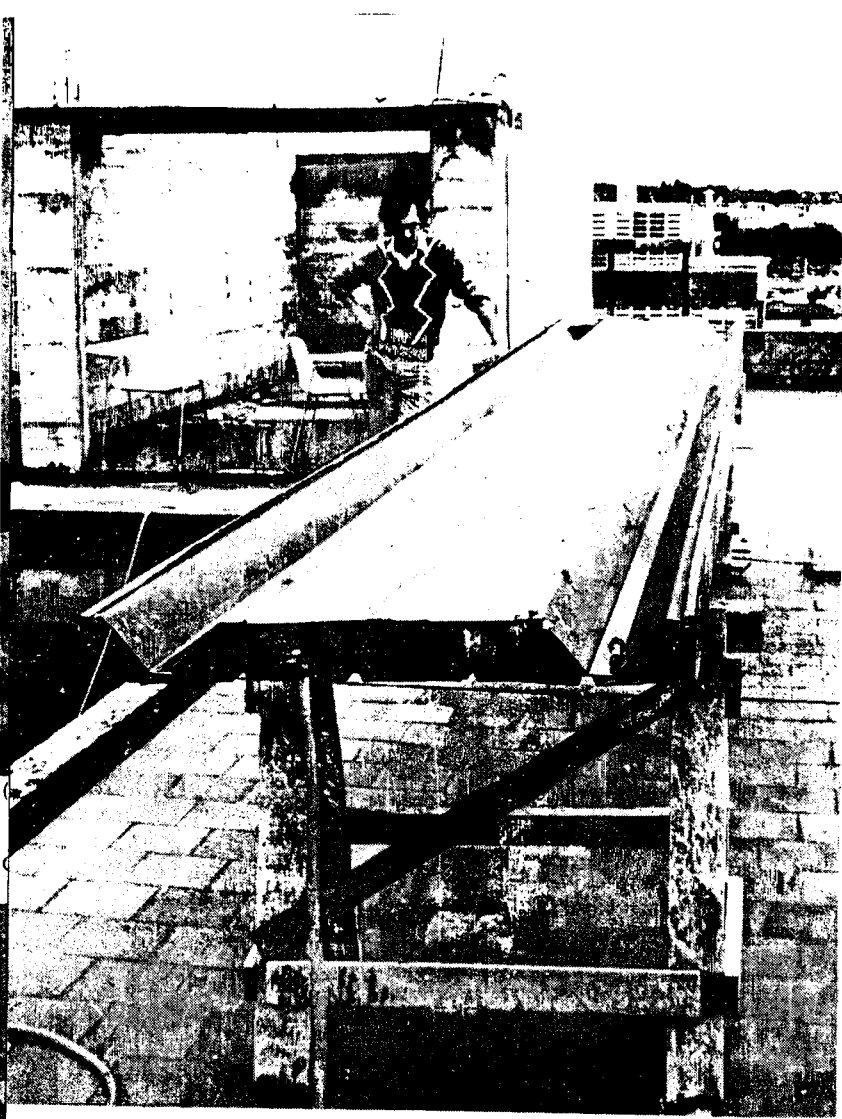




(V. 3) Prototipos de destiladores solares tipo invernadero.

(V. 4) Refrigerador solar intermitente de tipo tiocianato de sodio-amoniaco en una etapa de su construcción.





(IV. 4) Calentador de agua construido sobre techos prefabricados.

GENERACION DE ELECTRICIDAD PARA USO TERRESTRE POR CONVERSION  
FOTOVOLTAICA DE LA ENERGIA SOLAR : ANALISIS DEL ESTADO AC- /  
TUAL DE LA TECNOLOGIA Y LAS ESTIMACIONES DE COSTOS.

W. Scheuer

J. A. Moragues \*

Comisión Nacional de Energía Atómica  
Avenida del Libertador 8250  
BUENOS AIRES

RESUMEN

Se analizó el estado actual de la tecnología mundial para la generación masiva de electricidad por conversión fotovoltaica de la energía solar, como también las más importantes líneas de desarrollo en este campo.

Se discuten aspectos técnicos y económicos de la producción de células de Si y de CdS/Cu<sub>2</sub>S (con breve referencia a otros tipos) y de centrales/solares fotovoltaicas.

Se comparan costos de kWh producido por sistemas fotovoltaicos, fototérmicos y convencionales.

NOTA: Dada la extensión de este trabajo no es posible su publicación en las / presentes Actas. Por lo tanto, rogamos a los interesados recurrir directamente a los autores.

\* Miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.