

LA ENERGIA SOLAR EN EL FUTURO ENERGETICO

Resumen

Es probable, o por lo menos posible, que la sociedad humana se establece en una población de 15.000 a 20.000 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 20 a 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, aún 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 de la humanidad.

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 energía de un adulto, obtenido a través de su alimentación, es del orden de 2.500 kcal/día, de las cuales el 70% cubren su metabolismo basal¹. La energía primaria empleada en la actividad diaria es, pues, de 800 kcal/día, lo que corresponde a una potencia continua promedio (24 ho-

ras) de aproximadamente 39 W_t (watt térmicos o "primarios").

Cuando este valor se compara con el consumo mundial de energía primaria, que equivale a una potencia continua de 1,9 kW_t por habitante², se ve que el consumo promedio es más de 50 veces mayor que la capacidad fisiológica*. El cuadro de detalle muestra, además, que la distribución es muy desigual. Hay grupos humanos que emplean energía a niveles 300 veces superiores a su capacidad fisiológica y otros que están

¹ P. H. Mitchell, A Textbook of Biochemistry, Mc Graw-Hill, N. Y., 1950.

² United Nations Statistical Yearbook, N. Y., 1974.

* 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 a su rendimiento social, la energía térmica provista por fuentes no humanas se emplea con eficiencia mayor que la humana en la realización de trabajo socialmente útil.

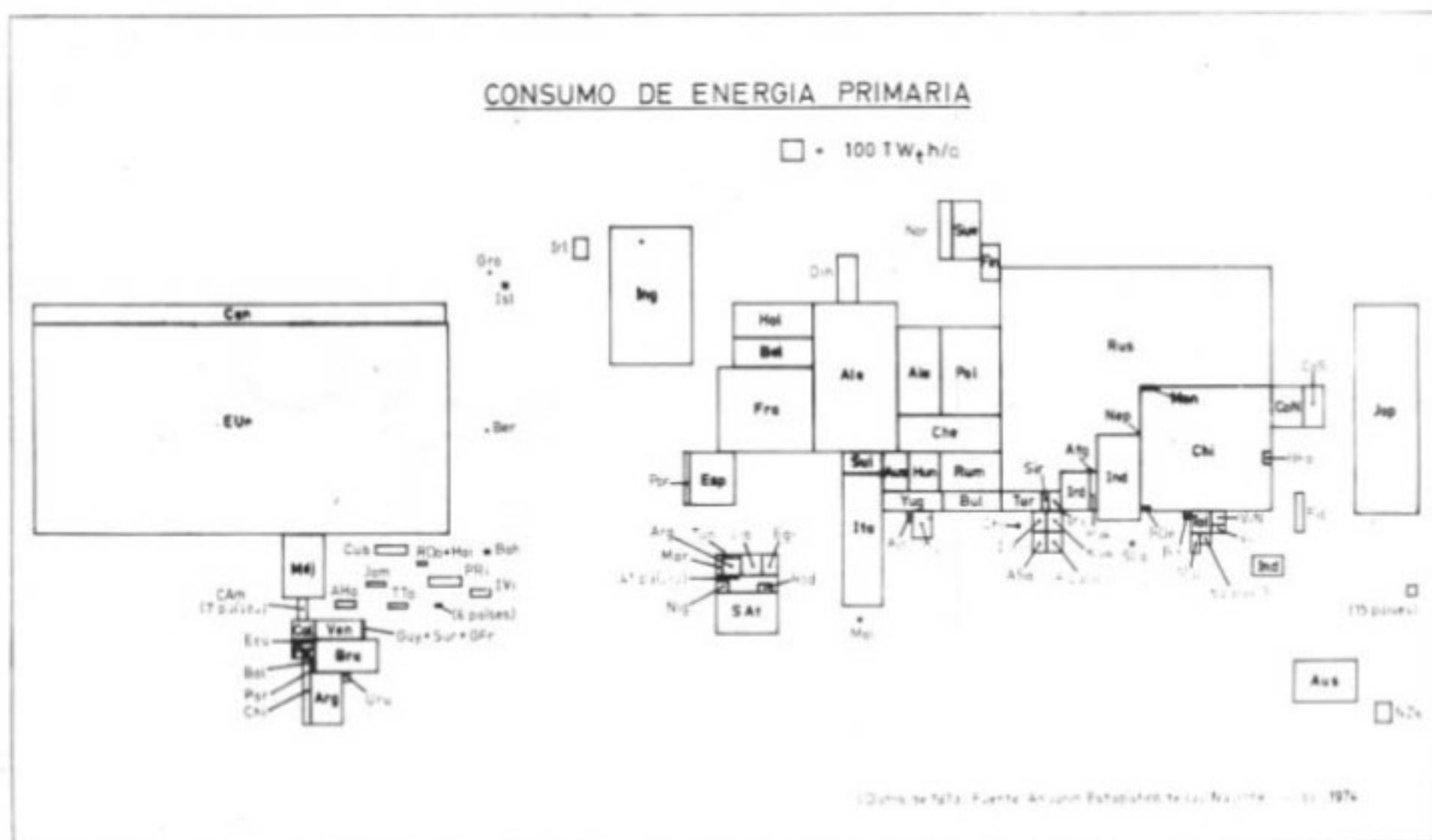


FIGURA I

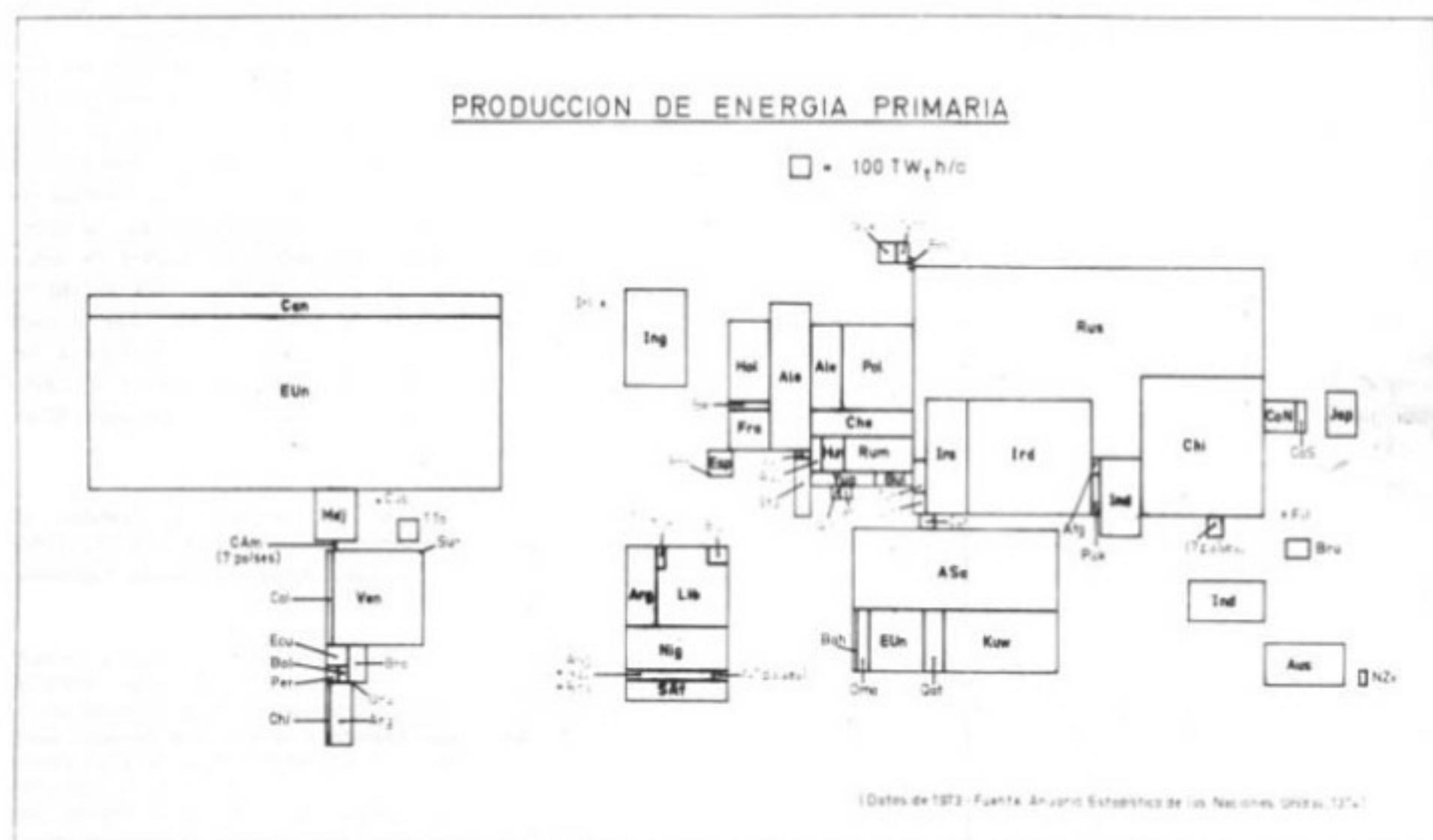


FIGURA II

TABLA 1

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA
Potencia continua por habitante (1973)

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
Promedio mundial	1.900	51
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

TABLA 2

SITUACION ENERGETICA EN ALGUNOS PAISES
(TW_{th}/año, 1973)

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

todavía al nivel mínimo de supervivencia y utilizan la energía provista por su alimentación casi exclusivamente para obtener una nueva cantidad equivalente que les permita subsistir.

La Tabla 1 ilustra algunos ejemplos de esta distribución³. Los datos se refieren al total de energía primaria, cuyo destino aproximado, para países por encima del promedio mundial, es de un 25% en transporte, un 25% en Industria, un 25% en usos domésticos y un 25% en generación de electricidad³.

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 XIX, 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

³ W. Hafele, IAEA Bulletin 16 n° 1/2, 1974.

consumidoras. El panorama está regido principalmente por la circulación de los hidrocarburos, que proveen 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 en el año 1973.

TABLA 3
CONTRIBUCIÓN
DE LAS DIVERSAS FUENTES
AL CONSUMO MUNDIAL EN 1973

	(%)
Petróleo	43,7
Combustibles sólidos	32,3
Gas	21,5
Otros	2,5
	100,0

(Total hidrocarburos: 65,2)

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 por cabeza, de los países⁴.

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 caput, como consecuencia del aumento general del estándar de vida. En la década 1960-70, el coeficiente de crecimiento

del consumo global fue del 7,11% anual promedio, el de la población del 2,17% y del consumo per caput de 3,75%⁵.

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 variado 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, solamente, 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

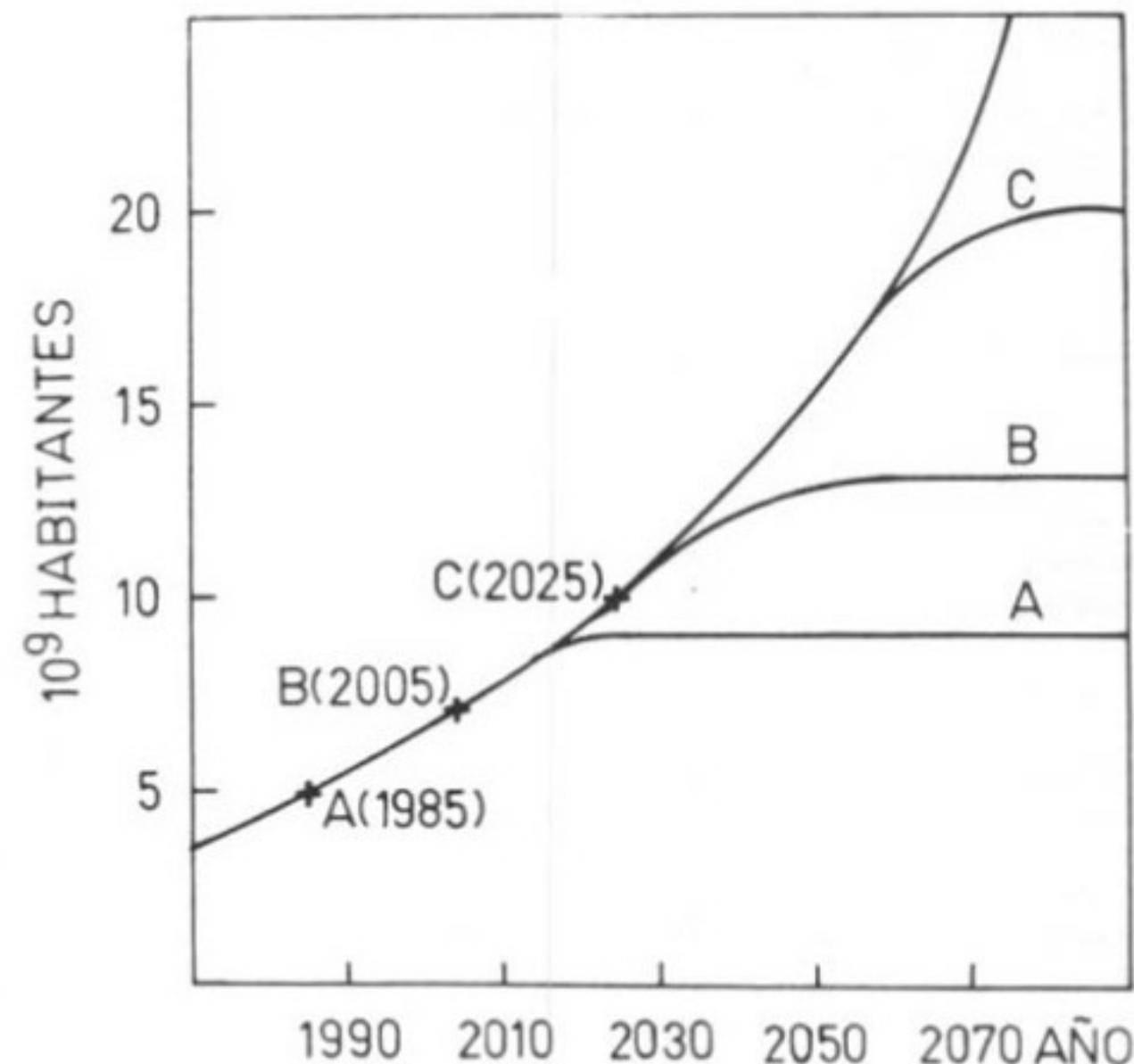
se elegirá el camino correcto, y se sortearán de alguna manera los obstáculos sociales, económicos, culturales, religiosos y políticos que aparezcan en él, para llegar finalmente a una sociedad estabilizada, caracterizada por una población fluctuante en la vecindad de un valor constante y energéticamente 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.

Veamos, en primer término, qué número probable de habitantes tendrá esa sociedad estabilizada. La figura 3 da varias proyecciones de la población mundial caracterizadas por

* C. Starr, *Scient. Amer.* 225, n° 3, 37, 1971.

⁵ United Nations Statistical Yearbook, N. Y. (Varios años).

FIGURA III



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 pareja⁶. 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 15.000 millones de habitantes, y aun de 20.000 millones, no es imposible para el siglo venidero. Es de notar que estas cifras no suponen crecimiento exponencial a partir del ritmo actual (ver curva de referencia en la misma figura) 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 15.000 millones de habitantes, de 111 habitantes/km². El valor actual de Alemania Occidental es de 157, y el de toda Europa Occidental de 151 y el del Japón de 290⁷. La densidad de población del Gran Buenos Aires es del orden de 1000 hab/km²⁸, de modo que esa población ocuparía poco más del 10% de la superficie de los continentes a esa densidad. En ciudades más sofisticadas, a 15.000 hab/km², algo menor que la densidad actual del Principado de Mónaco⁹, bastaría con 10⁶ km², o sea el 0,75 % de dicha superficie.

Se ha estimado¹⁰ que una sociedad de esas dimensiones podría tener un consumo promedio por habitante del orden de 20 kW_t continuos, es decir, unas 10 veces el presente. Ese nivel de consumo se alcanza suponiendo un estándar de vida similar al norteamericano actual, de 10 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 inten-

siva, el control de la eliminación de desechos, la obtención de intermediarios energéticos sustitutivos 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 tomando como hipótesis de trabajo una población de 16.000 millones de habitantes, 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.

Aun cuando esta previsión sea exagerada y resulte posible, por ejemplo, reducir la demanda a la mitad mediante una racionalización adecuada en las utilizaciones o por estabilizarse antes la población, el consumo total sería 20 veces mayor que el actual. Dada la magnitud de estos valores, en lo que sigue usaremos principalmente la unidad de energía Q, definida como 10^{18} Btu o sea $1,055 \times 10^{21} \text{ Joule}$. El consumo mundial total actual es de casi 0,25 Q/a y el asintótico recién discutido de 5 a 10 Q/a.

Vamos a examinar, en este contexto, las posibilidades de las fuentes energéticas renovables y no renovables consideradas usualmente como significativas. Por su propio carácter, los valores pueden estar afectados de errores grandes, pero de cualquier modo dan un marco de referencia aproximado para la discusión general sobre su significación relativa. Incluirímos 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. En esta clasificación, que es muy primaria pero basta para nuestros propósitos, los recursos aumentan las reservas cuando cambian las condiciones económicas o progresan 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 energéticas 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 involucrada¹¹.

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 23 Q⁹, de los cuales el 79% corresponden a carbón, el 11% 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 clasificar parte de los recursos como reservas.

En cuanto a recursos, los valores dados usualmente para el carbón están en el rango 250-400 Q^{9,10}, aunque según algunas opiniones¹¹ la realidad económica está en un orden de magnitud por debajo. La estimación más reciente de la Conferencia

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, y World Energy Resources 1985-2020, IPC Science and Technology Press, N. Y., 1978.

¹⁰ V. E. McKelvey, Public Utilities Fortnightly, Sep. 25, 1975.

¹¹ G. B. Fettweiss, Energy Resources Conference; Laxenburg, Austria, 1975.

Mundial de la Energía⁹ es 280 Q para carbón, 13 Q para petróleo y 10 Q para gas natural. La cifra del petróleo está calculada sobre la base de que será posible llegar a recuperar el 40% (actualmente se recupera un 25%, en promedio, del petróleo "in situ") de los 31 Q que se considera existen en la Tierra, incluido el mar profundo y la Antártida, y de los cuales las dos terceras partes están todavía por descubrir. La misma fuente da, como estimación de la cantidad de hidrocarburos pesados contenidos en rocas portadoras (principalmente esquistos y areniscas), 30 Q.

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 materia fisponible ("breeding"). Aún en el primer caso, el costo de producción de la energía es relativamente poco sensible a variaciones en el costo del combustible, dada la alta energía específica de éste ($1,6 \times 10^8$ kcal/kg para uranio natural). Esto hace que el límite entre reservas y recursos sea muy difuso, por lo que se acostumbra a definir las primeras en base a un costo de obtención aceptable para determinadas condiciones de mercado.

Con la salvedad de que el conocimiento de este recurso es todavía muy incipiente, para un valor de 130 U\$S/kg y con la tecnología actual (uso en reactores térmicos sin reciclado de combustible), las reservas son 0,7 Q y los recursos 1,4 Q.⁹ Este panorama cambia totalmente al considerar los reactores reproductores, de los cuales ya existen centrales prototípicas en funcionamiento

en el mundo y cuya inserción comercial en el mercado eléctrico se prevé para antes de fin de siglo. Utilizadas en ellos, las reservas actuales a 130 U\$S/kg son 142 Q, de las cuales 84 Q corresponden al uranio y 58 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, y probablemente hasta 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 mayor que 10⁷ Q por km de profundidad de corteza terrestre, suponiendo que se utiliza sólo el 1% del contenido 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 sólo 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, aún cuando hay opiniones más optimistas.

El valor del recurso para el ciclo D-D, suponiendo que se utiliza solamente el 1% del deuterio contenido en el agua de mar (5×10^{13} Ton), es de unos 10⁸ 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,¹² lo que corresponde a un recurso energético de 2.000 Q. Este se eleva a 5×10^4 Q, valor infinito a los fines prácticos, si se supone aprovechable el 1% del li-

tio 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 7.000 MW_T para calefacción y generación eléctrica (aproximadamente 1.000 MW_E) y están en proyecto o construcción centrales que duplican esa potencia.

Los recursos utilizables con la tecnología actual se estiman en 0,4 Q hasta 10 km de profundidad¹³; esto corresponde al 1% del vapor y el agua caliente almacenados y podrían considerarse, a menos de consideraciones económicas, como "reservas potenciales".

En cuanto a los recursos, las estimaciones varían mucho en cuanto dependen del eventual empleo de tecnologías de extracción del calor de las rocas que aún no han sido demostradas. En términos mundiales, el recursos de base estaría en un rango de 2.000 a 4.000 Q para estas posibilidades⁹.

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

3.5. Energía hidroeléctrica

La fracción máxima de la energía de circulación de la hidrosfera que puede canalizarse hacia aprovechamientos hidroeléctricos se estima en 0,033 Q/a de energía eléctrica producida, que corresponde a un factor de utilización del 50% para el techo de potencia instalable (2.200 GW_E)⁹. El valor equivalente de energía térmica primaria sustituida es 0,1 Q/a.

¹² E. J. Cairns, F. 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, nº 3, 40, 1972.

3.6. Energía solar directa

La energía solar que llega a toda la superficie terrestre es de aproximadamente 2440 Q/a,⁸ de las cuales el 30% (730 Q) cae sobre los continentes. Se considera³ que el 10% del recurso es utilizable sin interferir con los ciclos energéticos solares normales, lo que da un potencial bruto del orden de 70 Q/a (el 10% de la superficie continental).

El factor limitante de la explotación en tierra será la disponibilidad de superficie para algunos países, aunque no lo será para la humanidad en su conjunto, dada la posibilidad de utilizar los grandes desiertos. En el caso de satélites captadores, para los cuales el recurso se duplica a igualdad de superficie de captación, la limitación dependerá del valor aceptable para la densidad energética transmitida a la Tierra.

3.7. Energía eólica

La energía máxima obtenible a partir de este recurso es sólo una pequeña fracción de la energía total en juego en la circulación atmosférica, ya que sólo son utilizables los vientos superficiales hasta cierta altura. El potencial se estima en el orden de 1 Q/a.⁹

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^{8,9}. Se considera que estos difícilmente sean más de 15 a 20 para todo el mundo¹⁴, 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_e 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 ha estimado⁴ que, empleando sistemáticamente "plantaciones de energía", podrían obtenerse 0,20 Q/a que se elevarían a 0,24 Q/a utilizando además los resi-

duos orgánicos. Esta cifra parece elevada si se tiene en cuenta que toda la energía involucrada en la fotosíntesis es del orden de 1,5 Q/a. Estimaciones más recientes fijan el potencial del recurso en 0,15 Q/a.⁹ El consumo actual (principalmente leña) es 0,03 Q/a.

3.10. Gradiente térmico de los océanos

Las estimaciones realistas sobre este recurso oscilan entre 2,6¹⁵ y 5⁹ Q/a. Un factor limitativo de la explotación en gran escala puede ser el eventual efecto climático del enfriamiento producido en la superficie marina.

3.11. Energía de las olas

El recurso se ha estimado en 0,08 Q/a a nivel mundial⁹, del orden del hidroeléctrico. Las posibilidades de aprovechamiento son probablemente mucho menores, ya que se requieren instalaciones a lo largo de 1000 km de costa para sustituir 0,002 Q/a de energía térmica⁹.

4. La satisfacción de las necesidades

La Tabla 4 resume los resultados del examen de posibilidades que acabamos de realizar. Con fines comparativos se ha incluido también en ella el consumo actual, que es de aproximadamente 0,25 Q/a.

Resulta evidente de la Tabla que la mayoría de las fuentes son inadecuadas para proveer las necesidades asintóticas de la humanidad previstas más arriba (5-10 Q/a). 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 los supuestos.

Los únicos recursos de dimensiones no críticas lo constituyen 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 duda sobre la factibilidad técnica, y su ingreso económico paulatino en el mercado energético dependerá de la urgencia con que se prosiga su desarrollo en esa dirección.

Parece lógico, por lo tanto, aceptar que el consumo a largo plazo de la humanidad se satisfará principalmente con estas dos fuentes. Ello no quiere decir que las demás no se usarán, ya que pueden y deben desempeñar papeles importantes y tal vez decisivos en situaciones locales y particulares. No debe perderse de vista a este respecto que, a los niveles de operación que se alcanzarán, la cuestión energética deberá encararse cada vez más como un sistema complejo cuya inserción en el conjunto global de la sociedad debe tener en cuenta la armonización integral de muchos factores (económicos, ecológicos, de seguridad, etc.) interactuando entre sí y con el medio a un mismo nivel de importancia.

5. La situación argentina

El consumo 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 al promedio mundial (87% 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.

¹⁴ F. Alsina, *Las Mareas y su Energía*, Fundación Bariloche, 1975.

¹⁵ C. Zener, Bull. At. Scientists, 32, n° 1, 17, 1976.

TABLA 4

RECURSOS ENERGETICOS MUNDIALES

Fuente	Consumo actual (Q/año)	Reservas	Recursos
Combustibles fósiles			
Carbón	0,073	18 Q	280 Q
Petróleo	0,100	2,6 Q	13 Q
Gas natural	0,050	2,4 Q	10 Q
Rocas portadoras			30 Q
Energía nuclear			
Fisión térmica (U<130 U\$S/kg)	0,001	0,7 Q	1,4 Q
Fisión reproductora (U y Th<130 U\$S/kg)	~0	142 Q	284 Q
Fisión reproductora (1% U y Th de rocas y océanos)			10^7 Q
Fusión D-T (Li de yacimientos)			2.000 Q
Fusión D-T (1% Li de océanos)			5×10^4 Q
Fusión D-D (1% D)			10^8 Q
Energía hidroeléctrica (*)	0,017		0,1 Q/a
Energía geotérmica	<0,001	0,4 Q?	$2 \cdot 40 \times 10^3$ Q
Energía solar directa (**)	~0		70 Q/a
Energía eólica (*)	~0		1 Q/a
Energía mareomotriz (*)	~0		0,006 Q/a
Energía vegetal y de residuos	0,030		0,15 Q/a
Gradiente térmico de los océanos			2,6 - 5 Q/a
Energía de olas (*)			0,08 Q/a

(*) Equivalentes térmicos (**) 10% superficie continentales.

En la hipótesis de una sociedad mundial estabilizada de 16.000 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 0,1-0,2 Q. Esto supone una población uniformemente distribuida en todo el globo, lo que seguramente no ocurrirá. Por el con-

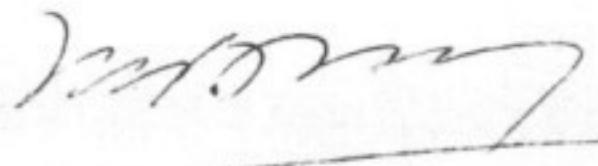
trario, es probable que la situación asintótica de la población en esta parte del mundo corresponda a una proporción mayor, dadas las condiciones climáticas particularmente favorables de la mayor parte del territorio. Aun en la condición de distribución uniforme, la energía necesaria es 80 a 120 veces la actual, incremento muy superior al mundial, que es de 20 a 40 veces, debido principalmente a la relativamente escasa población actual.

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 cubrir las diversas etapas en la forma más apropiada para las condiciones locales, que no tienen por qué ser las mismas que primen 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 an-

lisis 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 ■



Dr. M. B. A. Crespi

M. B. A. Crespi dirige el departamento de Prospectiva y Estudios Especiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina, en la que actúa profesionalmente desde 1952 y de la cual fue Director de Investigaciones en 1963-73. Ha sido también profesor en universidades argentinas y extranjeras, funcionario, experto y consultor del Organismo Internacional de Energía Atómica y asesor del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Desde 1955 forma parte de la Comisión Nuclear de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, la que presidió en 1971-75.

