

Miguel S. Wionczek  
coordinador

---

---

**CAPACIDAD  
TECNOLOGICA  
INTERNA Y SECTOR  
ENERGETICO  
EN LOS PAISES  
EN DESARROLLO**

---

---

333.9

W796c

qj-3

COLEGIO DE MEXICO



**CAPACIDAD TECNOLOGICA  
INTERNA Y SECTOR ENERGETICO  
EN LOS PAISES EN DESARROLLO**

# **PROGRAMA DE ENERGETICOS**

**Miguel S. Wionczek**

(coordinador)

Nazli Choucri, Vinod Mubayi, Arnoldo K. Ventura, Charles Weiss,  
Jorge A. Sabato y Alberto Araoz, Kenneth G. Soderstrom y Juan A.  
Bonnet, Jr., Bijan Mossavar—Rahmani

# Capacidad tecnológica interna y sector energético en los países en desarrollo



El Colegio de México

**Primera edición (1000 ejemplares) 1982**

**D.R. © 1982 EL COLEGIO DE MEXICO**

**Camino al Ajusco, 20  
Pedregal de Sta. Teresa  
10740 – México, D.F.**

**Impreso y hecho en México – *Printed and made in Mexico***

**ISBN 968-12-0205-8**

## INDICE

Prefacio	<i>Miguel S. Wionczek</i>	7
Energía y desarrollo tecnológico en América Latina	<i>Nazli Choucri</i>	9
Planificación energética para el desarrollo. Necesidades y enfoques	<i>Vinod Mubayi</i>	35
Problemas del desarrollo de la capacidad tecnológica en el campo de la energía en los países en desarrollo	<i>Arnoldo K. Ventura</i>	47
Fortalecimiento de la investigación y las capacidades locales para la tecnología energética en los países en vía de desarrollo	<i>Charles Weiss</i>	61
Programa latinoamericano de tecnología energética (propuesta preli- minar)	<i>Jorge A. Sabato y Alberto Araoz</i>	93
Un desafío para la transferencia de tecnología y el desarrollo hacia fuentes alternativas de energía en la región del Caribe	<i>Kenneth G. Soderstrom y Juan A. Bonnet, Jr.</i>	101
Implantación de una industria nuclear en un país sin la capacidad tecnológica: El caso de Irán	<i>Bijan Mossavar-Rahmani</i>	111



## PREFACIO

La extrema dependencia de las fuentes externas de los recursos energéticos representa una preocupación legítima a fines del siglo XX de cualquier país en desarrollo que no produce petróleo. Por un lado, la demanda no satisfecha de los recursos energéticos en estos países subdesarrollados sigue creciendo y, por otro, las perspectivas de la oferta mundial de los energéticos parecen inciertas.

Mientras los países industriales están en condiciones de aumentar su independencia energética mediante la expansión y la diversificación de sus múltiples fuentes energéticas, de acuerdo con el crecimiento de su demanda global, la mayor parte de los países en desarrollo enfrenta una situación mucho más difícil. Sus dificultades se originan en gran parte en su debilidad tecnológica y en la escasez de los recursos financieros. Estos dos factores obstaculizan el aumento de la disponibilidad interna de las distintas fuentes energéticas frente a una gran demanda insatisfecha. En otras palabras, el consumo relativamente bajo de la energía en la mayoría de los países subdesarrollados no refleja por lo general la ausencia de los recursos energéticos potenciales propios sino el subdesarrollo científico y tecnológico en particular.

La problemática energética internacional es un tema relativamente nuevo en la literatura política y económica. La preocupación por el desorden energético mundial ha surgido apenas a mediados del decenio de los setenta como resultado del reajuste abrupto en los precios petroleros en 1973-74 y del subsecuente cambio de las relaciones del poder entre los países industriales y los exportadores del petróleo. Sin embargo, la literatura acerca de las relaciones entre la problemática energética y la tecnológica y las perspectivas de desarrollo de las sociedades subdesarrolladas, se limitó hasta fechas muy recientes sólo a los estudios relacionados con la necesidad de cooperación internacional en este campo.

En una gran parte de esta literatura la cooperación internacional se entiende como la apertura de los países en desarrollo a las actividades de las grandes empresas energéticas transnacionales, las que tienen la creciente capacidad tecnológica en el uso de todas las fuentes primarias de energía desde el petróleo y gas natural hasta las nuevas fuentes de energía alternativas. Se ha tomado relativamente poco en cuenta que la escasez de los energéticos en las regiones subdesarrolladas difícilmente podrá verse eliminada de esta manera, debido a que el mundo subdesarrollado está permeado por un extendido nacionalismo económico y pone

creciente énfasis en el control del acceso y del uso de sus recursos naturales, incluyendo los recursos energéticos. En estas nuevas condiciones sociopolíticas en el fomento de la capacidad científica y tecnológica nativa en el campo de los energéticos se vuelve de suma importancia para los países en desarrollo.

El cómo fomentar tal capacidad ha sido discutido en términos tanto generales como operativos en una reunión que formó parte del 5º Foro Internacional Científico sobre los Cambios en el Panorama Energético Mundial, celebrado bajo los auspicios de El Colegio de México en noviembre de 1981. El presente volumen contiene los trabajos presentados, en la reunión mencionada, por expertos académicos en problemas energéticos, procedentes tanto de los países industrializados como de los países en desarrollo.

Miguel S. Wionczek  
Programa de Energéticos

## ENERGIA Y DESARROLLO TECNOLOGICO EN AMERICA LATINA

*Nazli Choucri*

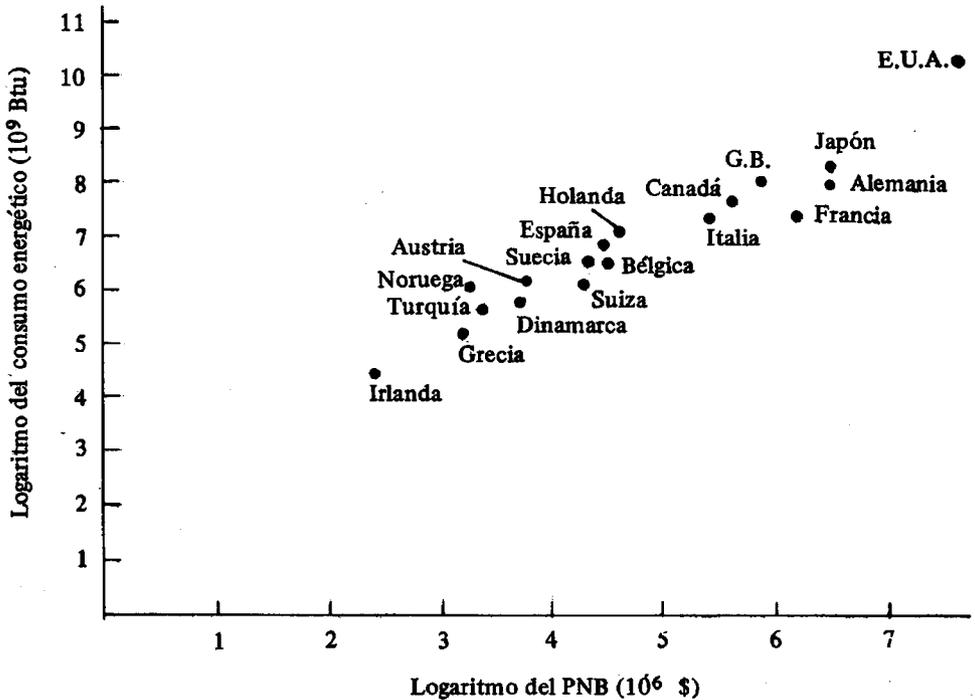
### Energía y desarrollo

En la actualidad, la relación entre consumo de energía y crecimiento económico le es familiar a todo el mundo: se trata de una correlación positiva casi perfecta que se presenta a lo largo del tiempo y en las comparaciones entre países. En la gráfica 1 se muestra la relación entre el consumo de energía y el PNB durante 1973 en países seleccionados con diferentes niveles de desarrollo. La firmeza de esa relación habrá de requerir ajustes macroeconómicos debido a los aumentos del precio del petróleo de 1973 y a los cambios subsiguientes en el mercado mundial del petróleo. Para su crecimiento, el mundo en desarrollo ya no podrá contar con los precios bajos del combustible, que permitieron las tasas de rápido crecimiento económico del Occidente industrial. Aunque todavía existe una ambigüedad considerable con respecto a la dirección de la causalidad (si va de la energía a la economía o viceversa), la fuerza de las interacciones entre energía y economía no está en discusión: el uso de la energía, insumo necesario para el crecimiento económico, es también una función del crecimiento. Los cambios tecnológicos en el área de la energía surgen a la vanguardia de las inquietudes políticas en todo el mundo. La gráfica 2 muestra la relación energía-PNB en Estados Unidos para un período de treinta años.

Esta minuciosa búsqueda revela con claridad que, para los países desarrollados, no existe una correlación entre una cuota constante de energía y el producto nacional bruto. La relación varía con el tiempo y de país a país. El ingreso per cápita no parece afectar a la relación energía-PNB. Suecia y Portugal, por ejemplo, que poseen niveles de PNB fundamentalmente diferentes, arrojan relaciones similares. Obsérvese que estas cifras indican únicamente la relación de la energía con el crecimiento económico, no la interacción de la energía y la actividad económica dentro de los distintos sectores de la economía.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> James M. Griffin. *Energy Conservation in the OECD: 1980-2000*. Cambridge, Mass., Ballinger Publishing Co., 1979, pp. 5-8.

Gráfica 1  
RELACION ENTRE CONSUMO DE ENERGIA Y PNB

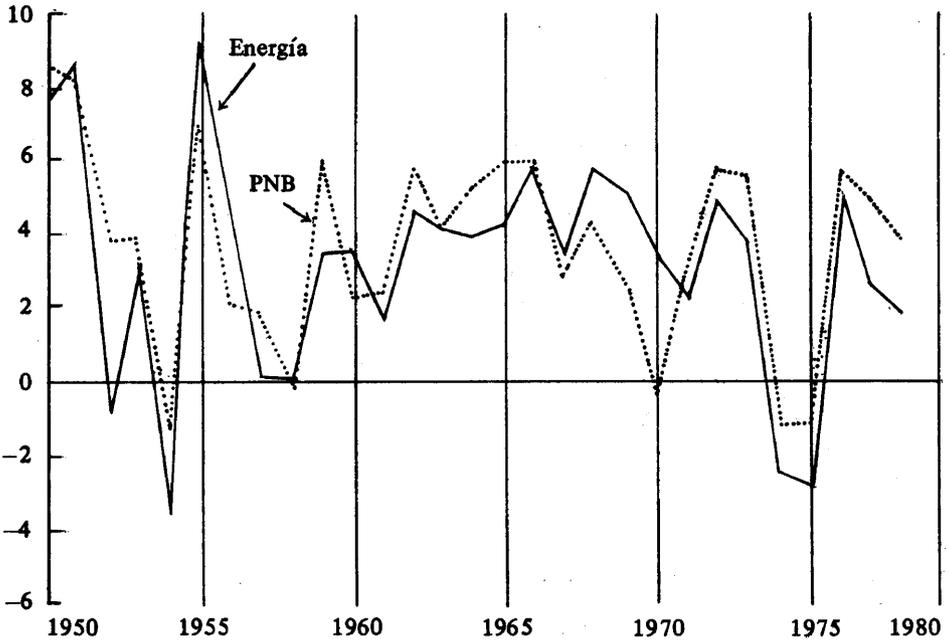


Fuentes: OCDE, *Statistics of Energy* (París: OCDE, 1974). ONU, *Statistical Yearbook* (Nueva York: ONU, 1974). Según aparece en James M. Griffin, *Energy Conservation in the OCDE: 1980-2000* (Cambridge, Mass., Ballinger Publishing Co., 1979) p.3.

El papel de los cambios tecnológicos ha confundido siempre toda afirmación simplista sobre los nexos entre la energía y la economía. Los aumentos en los precios de la energía y las restricciones potenciales en la disponibilidad de la oferta harán que los cambios tecnológicos parezcan cada vez más una panacea para el problema que se enfrenta. Históricamente, los adelantos tecnológicos que han permitido introducir y utilizar nuevas formas de energía han expandido los patrones de uso y las tasas de consumo, y el uso de nuevos combustibles ha incrementado la base global de recursos y la productividad de la mano de obra.<sup>2</sup> Empero, estos cambios relacionados ya no son predecibles en la actualidad. La experiencia del pasado nos proporciona únicamente la más burda de las medidas para el futuro.

<sup>2</sup>Op. cit., p. 13.

Gráfica 2  
CAMBIOS EN ENERGÍA PRIMARIA Y PNB, 1950-1978



Fuente: Los datos sobre los cambios de PNB provienen de *Economic Report of the President* (Washington, D.C., Government Printing Office, enero 1979). Los datos sobre energía provienen de la Oficina de Minería para 1950-1974 y del Departamento de Energía para 1974-1978. Presentados en Landsberg, Hans H. et al. (auspiciados por Resources for the Future) *Energy: The Next Twenty Years* (Cambridge, Mass. Ballinger Publishing Co., 1979) P. 78

En casi todos los países la tasa de crecimiento económico se ha visto afectada de manera adversa por los incrementos en el precio del petróleo de los últimos años. En el marco de una situación que empeora en el comercio internacional, la demanda de productos del petróleo se ha deprimido un tanto. Aunque después de cada ronda de incrementos de los precios ha habido una recuperación y una mejoría ligeras, los países en desarrollo se han visto agobiados por una mayor dependencia, que los debilita económicamente, de los recursos del extranjero para satisfacer sus necesidades internas de energía. Esta situación no puede cambiar de la noche a la mañana. Se espera que los balances de la energía se mantendrán sin cambio en el Occidente industrial y que el consumo seguirá aventajando a la producción hasta bien entrado el decenio de los noventa.

Si los precios del petróleo siguen aumentando, los países en desarrollo seguirán enfrentándose a una disminución de la disponibilidad de los recursos energé-

ticos convencionales para el desarrollo. No obstante, existen ciertas bases para mostrarse optimistas: cuanto más aumenten los precios del petróleo, será tanto más deseable políticamente y más plausible económicamente que los países en desarrollo exploten y desarrollen sus propios recursos internos, y América Latina se encuentra a la vanguardia de tales tendencias. La experimentación con combustibles no convencionales es promisoría. Los debates de políticas sobre alternativas del petróleo ya están tomando en cuenta las fuentes no convencionales, y los países latinoamericanos ejemplifican la voluntad de invertir para ampliar las opciones disponibles.

Sin embargo, parece evidente que los cambios tecnológicos desempeñan una función importante en la determinación de los patrones futuros del uso de la energía. Los avances en la tecnología (ya se trate de combinaciones más eficaces de los usos de la energía o de la sustitución entre sus fuentes, o de adaptaciones a cambios en los patrones de la demanda, o de la generación de energía a partir de fuentes no convencionales) son inherentes a cualquier estrategia viable para el desarrollo a largo plazo.

Los cambios tecnológicos deben influir en ambos aspectos del uso de la energía, la oferta y la demanda. Es patente que los cambios en los precios o en la disponibilidad de insumos energéticos para los procesos industriales ya han tenido efectos macroeconómicos muy claros en todos los países que son grandes consumidores de petróleo y que no tienen sustitutos de disposición inmediata o no pueden ajustar fácilmente la demanda en respuesta a cambios en los precios o en las cantidades.

Bien podría ser que todo el proceso del desarrollo se viese profundamente limitado por nuevas insuficiencias de energía (tanto en la economía global como en ciertos sectores) lo cual proporcionaría nuevos conjuntos de problemas a nivel mundial para los gobiernos y nuevos temas de preocupación para las políticas públicas.<sup>3</sup> El sector del transporte tiene en sus manos la clave más importante para los cambios futuros en los patrones de uso de la energía. Empero, los cambios tecnológicos en este sector se encuentran entre los más difíciles de visualizar. Por ende, los esfuerzos hechos en algunos países, más señaladamente en América Latina, para explorar las fronteras tecnológicas para el uso de fuentes renovables de energía representan una importante esperanza en el ámbito social, político e incluso económico.

### El papel del transporte en el desarrollo

El sector del transporte es crucial para toda economía por dos razones: primera, proporciona la infraestructura básica para la comunicación y la movilidad; segunda, a menudo es el mayor consumidor de energía. En ambos respectos, las

<sup>3</sup>Para una revisión de cuestiones internacionales y de desarrollo, véase Nazli Choucri. *International Politics of Energy Interdependence: The Case of Petroleum*. Lexington, Mass., D.C., Heath, 1976.

inversiones en la transportación y la disposición de medios de transporte definen y restringen las opciones de políticas futuras de un país para el desarrollo y el uso de la energía.<sup>4</sup>

Para los países en desarrollo, en particular, las inversiones en transporte son fundamentales para establecer una infraestructura básica industrial y de comunicaciones. El transporte se considera tanto como un mecanismo para la integración nacional (que enlaza regiones geográficas y comunidades a menudo diferentes) como un requisito para integrar las estructuras del mercado y las redes comerciales. Las inversiones en transporte vienen a ser en realidad inversiones para facilitar el comercio, el desplazamiento de personas y las comunicaciones entre regiones. En el mundo moderno, las redes de comunicaciones físicas definen los parámetros básicos del Estado-nación.

Modos, costos y precios y el número de unidades transportadas son las características esenciales de cualquier red de transporte. En los países en desarrollo, los métodos de que se dispone, más bien que los precios competitivos y los factores de costos, determinan la solidez de la red existente. La transportación es más un servicio social, con frecuencia subsidiado por políticas gubernamentales, que un medio eficiente de satisfacer las exigencias de movilidad de pasajeros materiales. Como en los países industrializados, el uso de la energía no fue un elemento crítico para determinar la naturaleza de las redes sino desde que se presentaron los incrementos en los precios del petróleo del decenio de los setenta.

### La energía en América Latina

En un examen de la situación de la energía en los países en desarrollo, en 1979 el Banco Mundial señaló los potenciales de energía y subrayó los principales problemas debidos al aumento de las importaciones de petróleo.<sup>5</sup> El Banco estableció una clasificación energética de esos países, basada en su situación con respecto a las importaciones de petróleo y a su monto relativo. En el cuadro 1 se consigna la clasificación para los países latinoamericanos y se indican las importaciones netas como porcentaje de la demanda comercial de energía. Los países exportadores están clasificados como miembros o no de la OPEP. Aunque dicha clasificación es esencialmente útil, oscurece el panorama global de América Latina, en la que han ocurrido en el transcurso de los últimos treinta años cambios sustanciales en la oferta y la demanda de energía y en la que las alternativas al

<sup>4</sup>Laboratorio Nacional de Brookhaven, Programa Energético de Países en Desarrollo. *Energy Needs, Uses, and Resources in Developing Countries*. Marzo 1978, p. 84.

<sup>5</sup>Existen pocos análisis globales de problemas energéticos en los países en desarrollo. El informe del Banco Mundial, *Energy in Developing Countries*, Washington, D.C., agosto 1980, constituye uno de los más informativos por su amplitud. Sin embargo, ninguno de estos temas se examina profundamente. Véase también *Latin America and Caribbean Oil Report*, publicado por *Petroleum Economist*. Londres, Nichols Publishing Company, 1979; y Peter R. Odell, "Energy Prospects in Latin America", *Bank of London & South America Review*. Vol. 14, núm. II/80 (mayo 1980), pp. 98-112.

Cuadro 1

## AMERICA LATINA Y EL CARIBE: CLASIFICACION ENERGETICA

Exportadores netos de petróleo		Importadores netos de petróleo clasificados por importaciones petroleras netas —en cifras de 1978— como porcentaje de la demanda comercial de energía			
OPEP	Fuera de la OPEP	0-25	26-50	51-75	76-100
Venezuela	México	Argentina	Chile	Brasil	Bahamas
Ecuador	Perú	Bolivia			Barbados
	Trinidad y Tobago	Colombia			Costa Rica
					El Salvador
					Grenada
					Guatemala
					Guyana
					Haití
					Honduras
					Nicaragua
					Panamá
					Paraguay
					República Dominicana
					Uruguay

Fuente: Banco Mundial, *Energy in Developing Countries*, agosto de 1980.

petróleo son crecientemente plausibles. La región es pionera en el área del cambio tecnológico. Varios países han logrado avances notables en la generación de fuentes nuevas de energía y en la modificación de los patrones de uso. Los aspectos de la experiencia latinoamericana serán pertinentes para otros países, desde los más hasta los menos industrializados.

Mientras que, en América Latina, la demanda de energía primaria se ha duplicado en los últimos diez años, de 1,460 millones de barriles de petróleo equivalentes en 1970 a 2,340 millones en 1979, la proporción de energía proveniente de otras fuentes no ha cambiado significativamente.<sup>6</sup> El petróleo, que representó

<sup>6</sup> Estas cifras se refieren únicamente a energía comercial, por lo cual se excluyen los combustibles vegetales que, como se explicará más adelante, contribuyen en forma sustancial a la balanza energética de los países de América Latina. En el caso de los combustibles comerciales, las cifras están basadas en la British Petroleum Company, *BP Statistical Review of the World Oil Industry*, 1979; Fondo Monetario Internacional, *International Financial Statistics*, 1981; Departamento de Asuntos Internacionales y Sociales, Naciones Unidas, Nueva York, 1981. El estudio más reciente, para la región en conjunto, en términos de países y fuentes energéticas, corresponde a 1975, y fue realizado por CEPAL, *Energy in Latin America: The Historical Record*. Santiago de Chile: The United Nations Press, 1978.

69.2% de toda la energía primaria consumida en 1970, descendió a 66.2% en 1979. El consumo de gas natural descendió de 15.1% a 13.7%, mientras que el de carbón aumentó marginalmente de 4.8% en 1970 a 5.1% en 1979. Se produjeron cambios notables en los patrones de consumo de hidroelectricidad, de 10.3% de la energía total consumida a 14.5%, y de energía nuclear, de una proporción insignificante en 1974 a una ligeramente mayor en 1979 (alrededor de 0.26%). Aunque esos cambios son marginales, sí indican una mayor diversificación de las proporciones de consumo primario de petróleo. En el cuadro 2 se ofrece una comparación de las participaciones de energía para toda América Latina. Aunque el descenso relativo en el consumo de petróleo es quizá demasiado pequeño para considerarlo como prueba de una tendencia definitiva, sí indica las posibilidades de sustitución. La relación entre consumo de energía y PNB, ya mencionada para los países industrializados (gráfica 1), se repite muy de cerca en América Latina confirmando el papel de la energía en el desarrollo (véase la gráfica 3).

Latinoamérica representó 7.4% del consumo mundial de petróleo en 1980, 9.4% de la producción mundial y 10.5% de las reservas conocidas.<sup>7</sup> Estas cifras, aparentemente pequeñas, oscurecen la importancia emergente de la región en el mercado mundial del petróleo, como un demandante creciente de recursos petroleros, y como fuente de producción con una reserva creciente. En 1970 la región tuvo la misma dependencia del petróleo que Japón. Reducciones subsiguientes del porcentaje de consumo de petróleo respecto al consumo total de energía hicieron variar la situación.

Los países latinoamericanos aumentaron sus exportaciones de petróleo (crudo y derivados) de 1969 a 1979, al igual que sus importaciones. Sin embargo, durante ese período las exportaciones de derivados del petróleo, por volumen, fueron considerablemente más altas que las exportaciones de crudo. Realmente, en comparación con otras regiones, América Latina revela una proporción bastante equilibrada de crudo y derivados en las exportaciones de petróleo, mientras que sólo importa crudo, salvo una pequeña importación directa de derivados.

Aunque la producción de petróleo permaneció prácticamente constante durante ese período, la productividad de los pozos es relativamente alta en comparación con otras regiones. Se encuentra aproximadamente al nivel de los pozos de los países socialistas (URSS, China, etc.) y es considerablemente más alta que en Canadá, Estados Unidos (como podía esperarse) y Europa Occidental.

Las revisiones recientes de las reservas latinoamericanas son notables cuando se les compara con estimaciones anteriores. Las reservas probadas de petróleo en la región aumentaron de 29,300 millones de barriles en 1974 a 69,500 millones en 1980. Casi todas las reservas nuevas se encuentran en México. La producción de petróleo de los países latinoamericanos en 1980 revela el predominio de Venezuela y México (con 793 y 788 millones de barriles, respectivamente). Otros productores importantes en 1980 fueron Argentina (179 millones de barriles),

<sup>7</sup> Oil and Energy Trends, *Statistical Review 1981*, Energy Economics Research Ltd., Berkshire.

Cuadro 2

**CONSUMO DE ENERGIA EN AMERICA LATINA**  
*(miles de millones de barriles de equivalente de petróleo)*

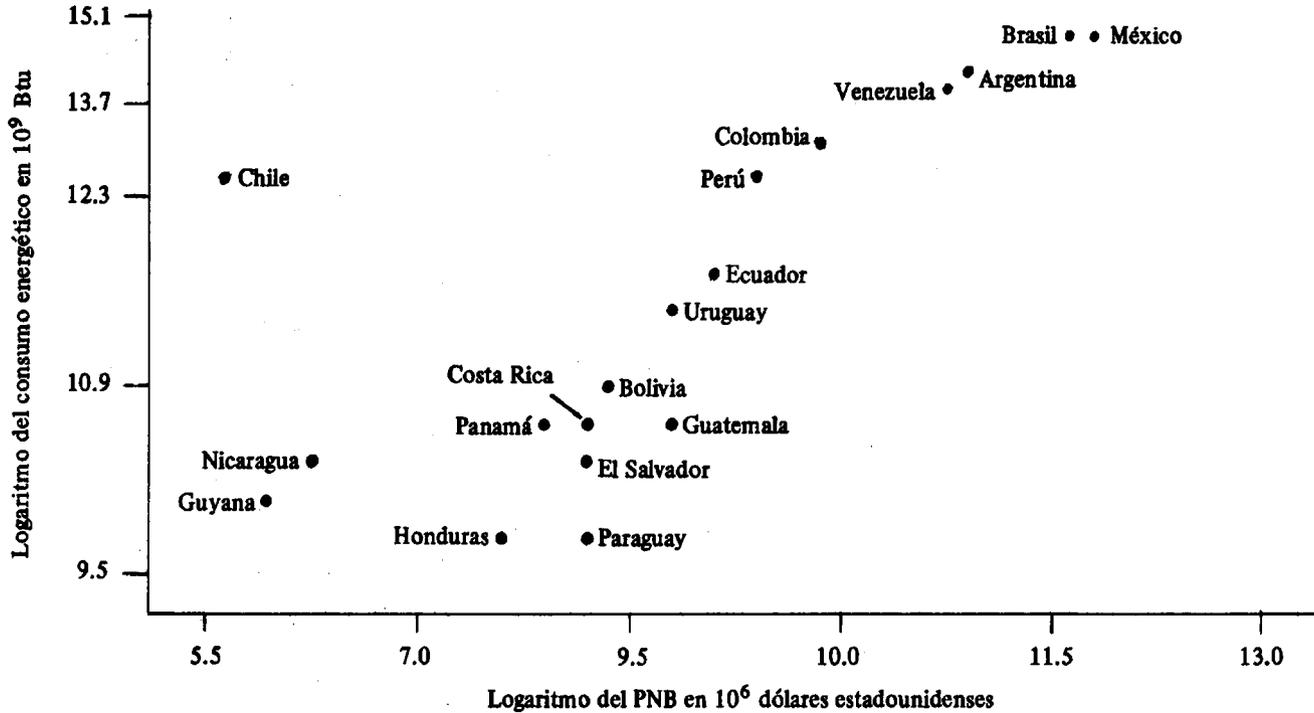
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Primaria	1.46	1.56	1.64	1.76	1.86	1.92	2.04	2.14	2.24	2.34
Petróleo	1.01	1.08	1.11	1.20	1.26	1.28	1.36	1.42	1.48	1.55
Porcentaje	69.2	69.2	67.7	68.2	67.7	66.7	66.7	66.4	66.1	66.2
Gas Natural	.22	.24	.27	.27	.28	.29	.30	.29	.31	.32
Porcentaje	15.1	15.4	16.5	15.3	15.1	15.1	14.7	13.6	13.8	13.7
Carbón	.07	.08	.08	.09	.10	.10	.11	.10	.11	.12
Porcentaje	4.8	5.1	4.9	5.1	5.4	5.2	5.4	4.7	4.9	5.1
Hidroelectricidad	.15	.16	.18	.21	.23	.25	.26	.32	.34	.34
Porcentaje	10.3	10.3	11.0	11.9	12.4	13.0	12.7	15.0	15.2	14.5
Nuclear	0	0	0	0	.001	.005	.005	.003	.005	.006
Porcentaje	0	0	0	0	.05	.26	.25	.14	.22	.26

NOTA: Las diferencias se deben al redondeo.

Fuente: *BP Statistical Review of the World Oil Industry, 1979.*

Gráfica 3

RELACION ENTRE PNB Y CONSUMO DE ENERGIA EN AMERICA LATINA (1979)



Fuentes: Naciones Unidas, 1979 *Yearbook of World Energy Statistics*. Fondo Monetario Internacional, *International Financial Statistics*, agosto de 1981.

Ecuador (82 millones) y Trinidad y Tobago (79 millones). En conjunto, América Latina produjo en 1980, 2,133 millones de barriles de petróleo crudo.<sup>8</sup> Su capacidad de refinación de petróleo ha crecido firmemente durante el período, aunque todavía va a la zaga de otras regiones importantes (con la excepción de Japón, cuya capacidad de refinamiento se estabilizó alrededor de 1975 e incluso ha disminuido gradualmente).

Los productores de gas natural son principalmente México, Venezuela y Argentina, cada uno de los cuales muestra un incremento en la producción durante los últimos diez años. Para la región en conjunto, la producción total de gas natural dio un salto de 1.095 billones de pies cúbicos en 1970 a 2.599 en 1980. La producción de gas natural es mayor que el consumo interno únicamente en dos países de la región: Bolivia y Chile. En todos los demás, el consumo interno iguala o excede a la producción.

La situación del carbón es todavía más precaria. Sólo en Colombia es mayor la producción interna que el consumo, aunque marginalmente. No obstante, el carbón representa el 24% del total de energía consumida en el país, lo cual hace que ese balance positivo sea más significativo de lo que podría parecer.

El predominio de América Latina en energía hidroeléctrica contrasta con la situación de otras regiones. Sigue siendo uno de los más grandes consumidores de hidroelectricidad en el mundo. Durante 1979, el último año para el cual se tienen datos disponibles, la participación de la hidroelectricidad, de 14.7% del consumo de energía de la región, fue notablemente más alta que en cualquier otra región o área. Este porcentaje es más del doble del promedio mundial. Existen algunas posibilidades patentes para la expansión de los usos de la hidroelectricidad. En la gráfica 4 se muestra una comparación entre la generación de electricidad y el consumo de energía per cápita en América Latina.

### El uso de la energía y la actividad económica

La resolución de los problemas de energía y desarrollo de América Latina reside en la propia capacidad de la región para adaptarse y ajustarse a las restricciones económicas y políticas. La relación entre consumo de energía per cápita y PNB per cápita se consigna en la gráfica 5 para todos los países de la región. Esta tendencia no es distinta a la de las economías industriales.

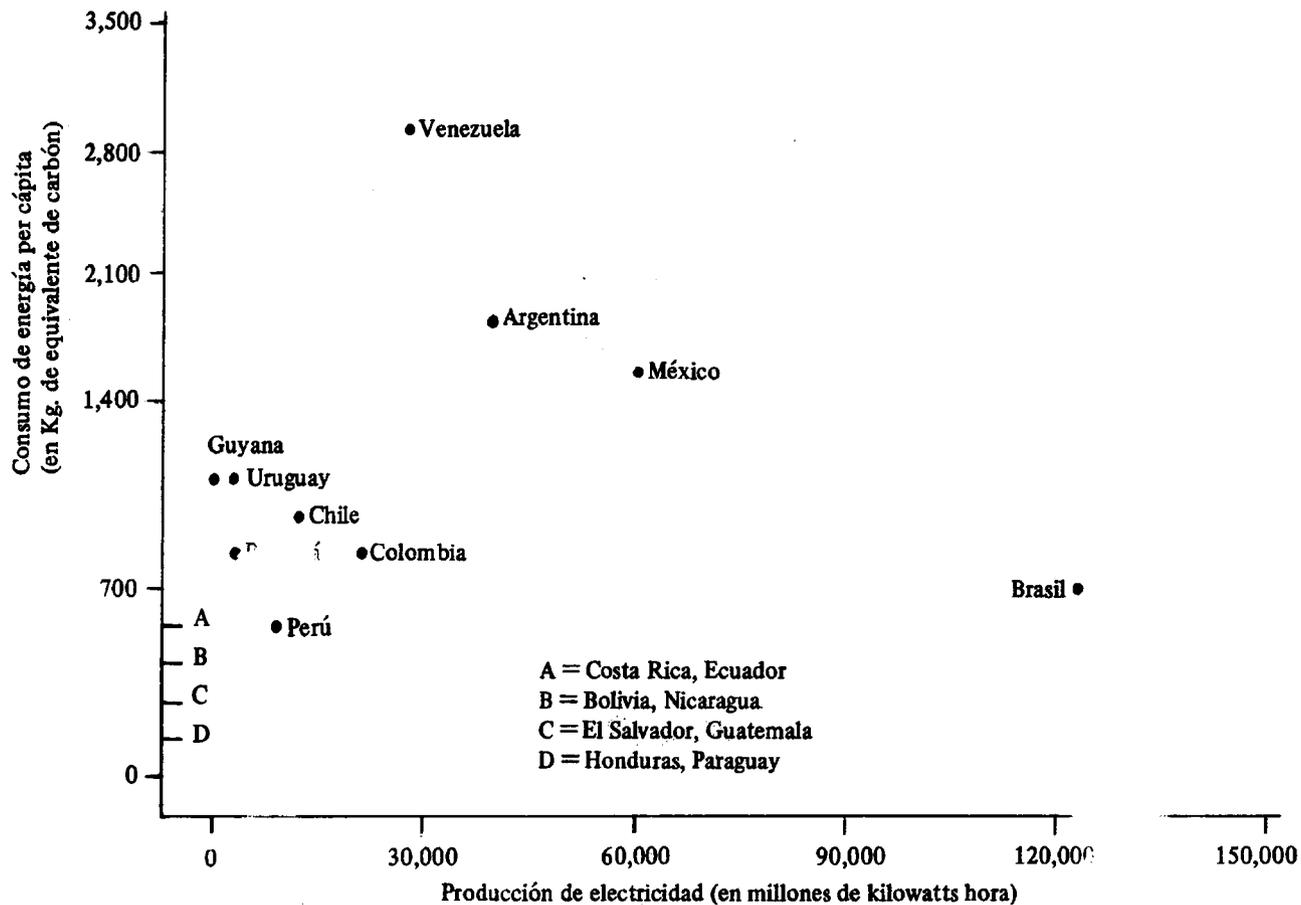
Se cree que, para la región en conjunto, la industria representa 40% del uso de combustibles fósiles; el transporte, 35%; la generación de electricidad, 15% y el consumo doméstico, 10%.<sup>9</sup> Frente a esta información, en el cuadro 3 se consigna la distribución porcentual de la energía consumida en cada sector de la economía para los cinco países grandes de la región, desde el punto de vista de la

<sup>8</sup> Ibid.

<sup>9</sup> Basado en informes de la Agencia Internacional de Energía, *Energy Workshop on Developing Countries, December 1979*, París, 1979.

Gráfica 4

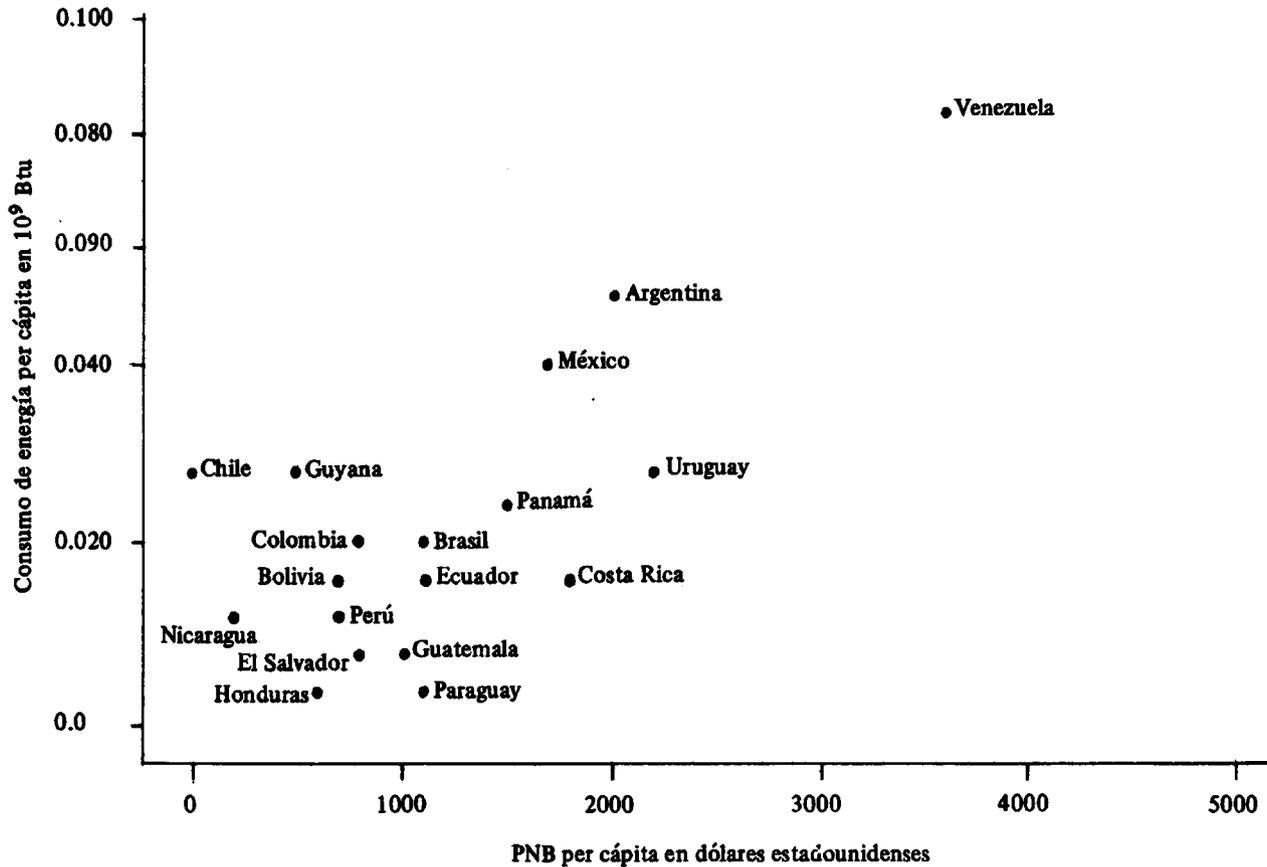
## CONSUMO DE ENERGIA PER CAPITA EN RELACION CON LA PRODUCCION ENERGETICA (1979)



Fuente: Naciones Unidas 1979 Yearbook of World Energy Statistics.

Gráfica 5

RELACION ENTRE PNB Y CONSUMO DE ENERGIA PER CAPITA (1979)



Fuente: Naciones Unidas, 1979 Yearbook for World Energy Statistics. Fondo Monetario Internacional, *International Financial Statistics*, agosto de 1981.

**Cuadro 3**  
**PORCENTAJE DE CONSUMO DE ENERGIA POR SECTOR**

	<i>Industria</i>	<i>Transporte</i>	<i>Agricultura</i>	<i>Comercial</i>	<i>Servicios públicos</i>	<i>Residencial</i>
<i>Argentina</i>						
1967	27.54	37.52	0.03	n.a.	n.a.	9.60
1977	33.84	35.86	n.a.	1.64	1.56	17.19
<i>Brasil</i>						
1967	22.04	19.84	0.11	1.20	n.a.	1.51
1977	28.77	25.10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Colombia</i>						
1967	2.07	14.91	n.a.	n.a.	n.a.	3.82
1977	6.34	20.30	n.a.	n.a.	0.13	6.66
<i>México</i>						
1967	42.69	22.99	0.89	n.a.	n.a.	7.90
1977	52.68	23.71	0.35	0.60	0.41	4.27
<i>Venezuela</i>						
1967	39.90	29.94	0.06	0.28	n.a.	4.60
1977	38.50	35.54	0.03	0.19	n.a.	2.26

Notas: Los porcentajes no suman 100% debido al uso no energético de productos petroleros.

Datos de 1976

FUENTE: Agencia Internacional de Energía. Seminario sobre datos energéticos para países en desarrollo. Diciembre de 1973. Volumen II. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. París, 1979.

energía, en un intervalo de diez años. El predominio del uso en la industria y en los transportes es evidente. Solamente en Argentina ha habido un descenso en el uso de la energía en los transportes, como porcentaje de la utilización total de energía, entre 1967 y 1977. México aumentó ligeramente y Colombia, Brasil y Venezuela tuvieron el crecimiento más rápido. Las diferencias son más sobresalientes en Colombia, donde el transporte representó 14.9% de la utilización de energía en 1967 y aumentó a 20.3% en 1977. Esta tendencia se ve igualada por el crecimiento de la participación del sector industrial en el consumo total de energía. Juntos reflejan las tendencias globales hacia la industrialización en Colombia durante ese período de diez años. Brasil y México muestran tendencias similares, aunque con incrementos menores del consumo de energía en el transporte.

Desafortunadamente no se dispone de información más detallada sobre la energía en la región. El cuadro de insumo-producto en 1970 para México proporciona algunas pistas sobre la proporción de uso de petróleo en los diferentes sectores de la economía, así como sobre la distribución de los costos de refinación para cada sector. El cuadro más reciente (para 1978) no era aún accesible cuando se elaboró este trabajo. El cuadro 4 reproduce, con algunos ajustes de

Cuadro 4

## CONSUMO DE PETROLEO POR SECTORES

<i>Sector</i>	<i>Porcentaje del consumo total</i>
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	7.6
Extracción de petróleo y gas	.9
Productos alimenticios	4.4
Textiles y papel	1.0
Refinación de petróleo	5.3
Producción química	1.6
Cemento y construcción	7.5
Industria manufacturera y otros productos	1.9
Hoteles y servicios	3.9
Transporte	20.2
Total interindustrial	71.0
Consumo privado	22.5
Consumo gubernamental	2.7
Modificaciones de inventarios	.7
Exportaciones	3.2

Fuente: Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, *Matriz de Insumo-Producto de México*, año 1970, tomo 2, "Industria Manufacturera".

clasificación, el renglón clave del cuadro correspondiente a 1970 para indicar los usos de productos refinados.

Según esa información, en 1970 México exportó 3.2% de sus productos refinados y consumió 22.5% en el sector privado y 2.7% en el sector gubernamental. Los usos interindustriales totales representaron 71%. El uso sectorial mayor correspondió al transporte, y no hubo ningún otro sector que siquiera se aproximase a ese nivel.<sup>10</sup> El cuadro 4, que indica la proporción comprada de productos refinados por diversos sectores económicos, sólo puede compararse en parte con el cuadro 3, debido a las diferencias en años, categorías y nivel de agregación.

La de México es la información disponible más detallada. En Centroamérica, por ejemplo, sólo sabemos que en El Salvador el sector del transporte representa 57% de todo el consumo de petróleo; la industria, 25.4%, y los sectores residencial y comercial, 11.4% de toda la energía consumida.<sup>11</sup> Empero, en el mejor de los casos, esas cifras son sólo aproximaciones.

Algunas observaciones respecto a los usos de energía no comercial, señaladamente el bagazo, que incluyen combustibles vegetales, leña y carbón de leña, proporcionan comprensión adicional de los órdenes de magnitud. Un panorama más completo incluiría estiércol, turba, brea, residuos de madera, vegetales, de pulpas y desechos municipales. Las siguientes estimaciones se hicieron en términos de miles de toneladas de petróleo equivalente (mtpé), tomando como base los datos iniciales que incluyen todas las otras fuentes formales de energía, lo cual agrega incertidumbres adicionales. Se aconseja cierta precaución para interpretar las cifras que se consignan; representan la mejor aproximación posible, no hechos irrefutables.

En conjunto, los cinco países grandes (Argentina, Brasil, Colombia, México y Venezuela) utilizaron un porcentaje *descendente* de energía no comercial en su consumo final total, de 29% en 1967 a 20% en 1977. Este descenso es resultado de la caída más rápida del consumo de energía no comercial en otros sectores (66% a 51% en 1977), lo cual más que compensa el pequeño aumento global de 26% a 28% para las cinco naciones durante la misma década. Sin embargo, la gama de los porcentajes de cada país es tan amplia que impide obtener conclusiones de carácter general. Por ejemplo, no todos los países experimentaron un descenso relativo en la cantidad de energía proveniente de formas no comerciales, y el aumento relativo de la proporción de la industria en el consumo final total en realidad se compone de dos aumentos importantes, una disminución importante y dos disminuciones menores, por lo que no existe una tendencia general.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General del Sistema Nacional de Información: *Matriz de insumo - producto de México, Año 1970*, Tomo 2, Industria Manufacturera (1970 : PNUD).

<sup>11</sup> Superintendente de Energía, "Energy Analysis of the Transportation Sector in El Salvador" preparado para el Seminario "Impacto del costo de la Energía en el Sector Transporte", 1-3 de diciembre, 1980, Bogotá, Colombia. Traducido en el M.I.T.

<sup>12</sup> *Energy Workshops on Developing Countries, 1979.*

Argentina, con la segunda proporción global más baja de energía no comercial en el consumo final durante 1967 (11%), fue la única excepción, al aumentar ésta a 20% en 1977. Esto se debió principalmente al gran aumento de bagazo empleado por la industria (de 1,070 mtpe en 1967 a 4,970 en 1977). Ese bagazo no se utilizó en las industrias del hierro y el acero ni en la química y petroquímica. El uso de leña y carbón de leña disminuyó en realidad en términos absolutos, de 1,040 mtpe a 980 mtpe durante el mismo período; y todo fue consumido para uso residencial. Por tanto, el uso de la energía no comercial global casi se triplicó, de 2,110 mtpe a 5,950, una tasa de crecimiento más rápida que la de la energía comercial o de la energía total.<sup>13</sup>

Brasil experimentó un descenso de la proporción de su consumo de energía satisfecho por el sector no comercial durante el período; aun así, tuvo el nivel global más alto de energía no comercial entre las cinco naciones, 23,719 mtpe en 1967 y un ligero crecimiento a 28,088 mtpe en 1977. El crecimiento de Brasil en el uso industrial de energía no comercial (de 28 a 58%) es porcentualmente similar al de Argentina (20 a 48%), pero no hay información accesible con respecto a las industrias específicas que usaron el bagazo. El uso de leña y carbón de leña en otros sectores aumentó ligeramente, de 86 a 88%. Sin embargo, esas dos áreas de crecimiento fueron todavía menores que el crecimiento global del consumo de energía en la economía, por lo que su proporción descendió de 51% del total en 1967 a 32% en 1977. La expansión del uso de la gasolina de alcohol puede aumentar la participación de los desechos vegetales, pero las estadísticas a partir de 1977 no son suficientemente detalladas.<sup>14</sup>

### Avances tecnológicos en la energía

A pesar de las afirmaciones de que América Latina seguirá siendo dependiente del petróleo durante el resto del siglo,<sup>15</sup> tanto la Organización Latinoamericana para el Desarrollo de la Energía (OLADE) como un informe reciente de la Fundación Bariloche de Argentina expresan su optimismo en el sentido de que la energía no convencional desempeñará una función importante en la región.

El estudio de la OLADE sobre fuentes de energía no convencional en América Latina, realizado en asociación con las Naciones Unidas, ha elaborado un plan de desarrollo energético para la región.<sup>16</sup> En ese estudio se afirma que, mediante la ejecución del plan, el continente podría ahorrar tres mil millones de barriles de petróleo en 1995. Para entonces, 11% de la energía de la región provendría de fuentes no convencionales. Los beneficios ecológicos serían

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> Ibid.

<sup>15</sup> *New York Times*, enero 1, 1980, pp. 31-32; *Petroleum Economist*, Vol. 46, núm. 7 (julio 1979), pp. 283-286.

<sup>16</sup> Ibid., para una descripción; véase también el *New York Times*, 1 de febrero de 1980, pp. 9-10.

importantes: disminuiría 24% la deforestación y aumentaría la oferta de energía para las poblaciones de bajos recursos y sectores rurales. Además, el estudio predice que para 1995 la adopción de estrategias relacionadas con la energía no convencional incrementaría los suministros totales de energía entre 5 y 15% sin aumentar el uso de fuentes convencionales.<sup>17</sup> En el informe de Bariloche se afirma que para 1985 las fuentes de energía no convencionales proporcionarán más de 10% de las necesidades de energía de América Latina.<sup>18</sup> Desde hace mucho tiempo la energía hidroeléctrica ha sido una fuente crucial de energía y se espera que su importancia aumente. Muchos observadores concuerdan en que la cuestión clave consiste en cómo explotar mejor las fuentes nativas que existen virtualmente en todos los países.

### Combustibles vegetales

En Brasil se asigna gran prioridad al desarrollo de fuentes alternas de energía. La Comisión Nacional de Energía, integrada por los principales ministros, gobernadores y empresas industriales, está dirigiendo un rápido programa energético para incrementar la producción de alcohol y el uso del carbón, del petróleo pesado procedente de los esquistos bituminosos y de los recursos hidroeléctricos. Uno de los programas más importantes es la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar.<sup>19</sup> En el cuadro 5 se ofrecen las proporciones de la producción y consumo de combustible vegetal para la región.

El proyecto de la gasolina de alcohol (gasohol) de Brasil es una prueba de las nuevas tecnologías para la generación de energía. El proyecto tiene como meta aportar hasta 49% de las necesidades de combustible de los automóviles brasileños en 1985-1986. La vulnerabilidad de los suministros externos de petróleo de Brasil ha estimulado tanto una oleada de ventas de automóviles a alcohol como acciones del gobierno para detener las exportaciones de azúcar y proporcionar así recursos para producir alcohol. Actualmente el precio de un litro de alcohol es menos de la mitad que el de petróleo. No obstante, la competencia de las ventas de azúcar para exportación sugiere que los precios del alcohol tendrán que cuadruplicarse para poder competir con ese uso. En 1979 Brasil firmó el primer contrato internacional para su programa nacional de alcohol, un préstamo de 1,200 millones de dólares concedido en Londres por un consorcio de 51 bancos encabezados por el Morgan Guarantee Trust.<sup>20</sup> Se calcula que la producción de alcohol será de 6,000 millones de litros en 1981, suficientes para dar energía a 1,400,000 automóviles. Para 1985 se estableció una meta de 10,700 millones de litros. Esto equivaldría tan sólo a 160,000 barriles de petróleo por día, del

<sup>17</sup> Ibid.

<sup>18</sup> Ibid.

<sup>19</sup> *Petroleum Economist*, Vol. 46, núm. 9 (septiembre de 1979), pp. 383-384.

<sup>20</sup> *Petroleum Economist*, Vol. 47, núm. 10 (octubre de 1980), pp. 450-451.

Cuadro 5  
COMBUSTIBLES VEGETALES, 1975

	% del consumo del país	% de la producción del país	% de la producción-consumo de la región
<i>América del Sur</i>			
Argentina	05.31	04.93	04.03
Bolivia	43.40	13.41	02.07
Brasil	20.18	31.39	37.40
Chile	06.79	05.26	01.37
Colombia	17.30	14.75	06.65
Ecuador	38.46	14.54	03.37
México	09.81	07.54	13.67
Nicaragua	34.25	77.21	00.99
Panamá	13.70	86.19	00.44
Paraguay	54.00	74.34	00.11
Perú	17.86	20.07	04.17
Uruguay	04.97	23.13	00.25
Venezuela	03.42	00.48	01.85
<i>Centroamérica y el Caribe</i>			
Bahamas	00.71	100.00	00.01
Barbados	27.59	100.00	00.15
Costa Rica	23.52	43.87	00.72
Cuba	34.87	93.96	09.21
El Salvador	42.39	81.98	01.32
Grenada	42.86	100.00	00.04
Guatemala	51.68	92.65	02.56
Guyana	32.83	100.00	00.74
Haití	90.38	96.38	02.77
Honduras	47.96	79.68	01.19
Jamaica	16.49	90.69	00.92
República Dominicana	43.81	97.61	02.66
Trinidad y Tobago	05.63	01.01	00.36

Fuente: CEPAL, *Energy in Latin America: The Historical Record*, 1978.

millón de barriles diarios que Brasil consume en la actualidad. Se espera que a largo plazo el alcohol llegue a representar el 40% del consumo y el petróleo 60%.

Para alcanzar las metas de 1985, habrá que destinar entre 2 y 3 millones de hectáreas adicionales al cultivo de la caña de azúcar, un aumento aproximado de 75% (anual hasta 1985). No obstante, el desarrollo tecnológico no deja de implicar costos sociales. Es probable que se produzcan conflictos por el uso de la tierra para producir alcohol o alimentos. Por ejemplo, en el Estado de Sao Paulo, donde se ha establecido recientemente la mayoría de las nuevas plantaciones de caña de azúcar, se siente ya una presión considerable sobre los pequeños productores dedicados a cultivos de subsistencia, como maíz y frijol.<sup>21</sup> El Banco Mundial ofreció recientemente a Brasil 1,000 millones de dólares para el programa del alcohol con la condición de que el suministro del equipo se abra a la competencia internacional.<sup>22</sup>

Asimismo, las autoridades brasileñas están buscando nuevos tipos de combustible, ya que, ahora, los planes exigen producir entre 2,000 y 2,500 millones de litros adicionales de aceite vegetal para sustituir 16% del consumo de diesel. Entre los cultivos que se utilizarán se encuentran la soya (a pesar de sus rendimientos relativamente bajos, de 350-400 Kg. por hectárea) y otros de mayor rendimiento, como el bagazo de la uva, el girasol, el cacahuete y el aceite de palma donde, quizá el de mayor rendimiento de aceite por hectárea. Se ha propuesto establecer en la región amazónica una nueva plantación de palma (50,000 hectáreas por año).<sup>23</sup> Uno de los temores con que genera la excesiva concentración en los vegetales como fuentes de combustible es la eventual escasez de cultivos de alimentos, lo cual exigiría importarlos. Además, algunas de las cosechas que se cultivan de conformidad con el programa de energía, en especial la caña de azúcar, agotan rápidamente el suelo. En julio de 1981 el Banco Mundial acordó un préstamo de 250 millones de dólares a Brasil para asegurar el cumplimiento de los objetivos de producción de caña de azúcar. La Comisión Nacional del Alcohol de Brasil ofreció ayudar a la industria del alcohol combustible con 244 millones de dólares adicionales para 1981. Los planificadores de la energía se muestran escépticos con respecto a las perspectivas de alcanzar las metas fijadas.<sup>24</sup>

Colombia también está investigando el uso de alcohol etílico, como lo indican los estudios hechos por la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol) y la Federación Nacional de Cafeteros, y según lo informa la revista colombiana *Estrategia*. Los estudios han calculado el costo de la producción de alcohol a partir de una variedad de materias que incluyen yuca, caña de azúcar, papa, maíz y arroz. Estiman una producción mínima de 15,000 barriles al día, que podrían

<sup>21</sup> *Latin America Weekly Report* (10 de octubre de 1980), p. 10.

<sup>22</sup> *Ibid.*

<sup>23</sup> Para revisar el programa de Brasil véase R. F. Colson, "Brazil: the Proalcool Programme - A Response to the Energy Crisis." *Bank of London & South America Review*. Vol. 15, núm. II (*BOLSA*) 81 (mayo de 1981), pp. 60-70.

<sup>24</sup> *World Business Weekly* (6 de julio de 1981), p. 16.

combinarse fácilmente con el combustible normal. Además de reducir la dependencia del petróleo, el proyecto se ha considerado como una buena oportunidad para proporcionar un mercado estable para el aumento de la producción agrícola. Para producir cantidades suficientes de alcohol sería necesario plantar 220,000 hectáreas de caña de azúcar o 140,000 hectáreas de yuca, con una inversión de 11,000 millones de pesos colombianos.<sup>25</sup>

Esos programas son dignos de mencionar, pero sólo serán útiles en países con grandes áreas sin cultivar (lo cual no es, evidentemente, el caso del Caribe, Chile y El Salvador). No obstante, la dotación de desechos vegetales de la región como gran fuente de combustible la coloca en una situación particular; aunque hay ciertos rumores respecto a la expansión de la producción local de metano, eso no podrá hacerse en el plazo corto. Las rápidas tasas de urbanización ponen en duda las posibilidades de un cambio en gran escala hacia el aprovechamiento de los desechos vegetales.

### Biogás

La OLADE ha establecido en Ecuador un proyecto piloto para la producción de metano en pequeña escala. Basada en un sistema muy extendido en China, la tecnología consiste en alimentar un tanque digestor con excremento humano y animal y desperdicios vegetales para generar metano. Esta se considera como una alternativa potencial importante de la madera para cocinar y calentar agua, ya que la deforestación está convirtiéndose en un grave problema en muchas áreas rurales. Es particularmente apropiada para climas cálidos, en los que las cosechas generan grandes cantidades de desecho vegetal como subproducto. Se espera que el programa del metano de la OLADE se extenderá a las áreas rurales de Guyana, Honduras y Jamaica.

### Energía nuclear

La energía nuclear, fuente marginal de energía en América Latina, sólo representa una opción para Argentina, Brasil, Cuba y México, los únicos países aparentemente dispuestos a generar electricidad de esa manera. Debido a la importancia que se otorga a la autonomía nacional, tan dominante en la región, preocupa mucho la perspectiva de una dependencia tecnológica originada por las decisiones para expandir la capacidad de producción de energía nuclear. La decisión de Argentina de controlar su propio ciclo de combustible mediante la utilización de uranio natural es un ejemplo: los factores de costo son básicos. En el caso de Brasil, la tercera planta de energía nuclear del país costará 2,800 dólares por kilovatio instalado, en comparación con la estimación inicial de 2,000 dólares, que se consideraba plausible.<sup>26</sup> El gobierno ha propuesto la terminación del

<sup>25</sup> *Latin America Weekly Report* (14 de marzo de 1980), pp. 8-9.

<sup>26</sup> "Latin America: After the Oil Crisis", *BOLSA*, Vol. 13, núm. 12 (diciembre de 1979), pp. 708-709.

programa de energía nuclear de 1995 al año 2000. Se esperaba que la primera planta de energía nuclear, Angra I, entrara en operación en abril de 1981.<sup>27</sup>

Durante 1980, Argentina tenía la única planta en operación comercial de la región en la que producía 335 megavatios netos, y dos plantas en construcción con un total de 3,116 megavatios netos, y México estaba construyendo dos plantas con un total de 1,308 megavatios netos. No pudieron hallarse estimaciones precisas para Cuba.<sup>28</sup>

La cooperación internacional ha impulsado los avances tecnológicos en la energía. Por ejemplo, Argentina y Brasil están avanzando con planes para el desarrollo nuclear, tanto individuales como conjuntos. Los dos países han estado discutiendo también la formación de un ente regional para el desarrollo nuclear parecido a Euratom. Ambos países han recibido asistencia tecnológica de Alemania Federal, pero a Argentina le gustaría formar un frente unido con Brasil para evitar problemas de dependencia tecnológica. También están interesados en intercambiar sus propios recursos tecnológicos, como la experiencia Argentina en el procesamiento de uranio y en ingeniería nuclear a cambio de la experiencia brasileña en la prospección de depósitos de uranio. La colaboración tecnológica abarcaría también las áreas de radioisótopos, aceleración de partículas, manejo de reactores, plasma nuclear e instalaciones conjuntas para la capacitación de científicos y técnicos.<sup>29</sup>

A pesar de su pobre historial en la producción de energía nuclear (por ejemplo, el proyecto de Laguna Verde, en el Estado de Veracruz, está atrasado seis años), el gobierno mexicano ha puesto un gran énfasis en el desarrollo de este recurso, ya que confía en que el país posee las reservas necesarias para convertirse en uno de los más grandes productores de uranio del mundo. El personal de la empresa estatal del uranio, Uramex, ha pasado de 900 a 2,000 en un período de 18 meses, y se espera que aumente 1,000 más durante el próximo año, lo cual podría ser un indicio de la importancia asignada a la energía nuclear. México ha conseguido la asistencia tecnológica, en forma de estudios de viabilidad, de Canadá, Suecia y Francia. En un esfuerzo por evitar la dependencia tecnológica, se piensa que México hará uso de una amplia gama de experiencias de los países industrializados. Los programas de energía prevén la construcción de 15 a 20 plantas nucleares durante los próximos 10 a 20 años, con el objeto de lograr la producción de 20,000 megavatios para finales del siglo.<sup>30</sup>

## Carbón

Respecto al carbón natural, Colombia sobresale como un país con importantes perspectivas a largo plazo. En el presente no obstante, el carbón se exporta

<sup>27</sup> *Latin America Weekly Report* (1 de febrero de 1980), p. 4.

<sup>28</sup> Op. cit. (25 de enero de 1980), pp. 3-4.

<sup>29</sup> Op. cit. (16 de mayo de 1980), p. 6.

<sup>30</sup> Op. cit. (21 de noviembre de 1980), p. 7.

de América Latina a regiones que ya cuentan con la capacidad instalada para su uso eficaz. La corporación estatal del carbón de Colombia, Carboacol, firmó un contrato con la Exxon en el que se establece una inversión de 3,000 millones de dólares para explotar los depósitos de carbón de El Cerrejón, en la península de La Guajira, estimados en 1,600 millones de toneladas de carbón vapórico de buena calidad. El convenio establece que la producción deberá iniciarse en 1986, con la expectativa de alcanzar 15 millones de toneladas al año. La compañía operadora será una subsidiaria de la Exxon, Intercor. Carboacol será propietaria de 10 por ciento de las acciones. Parte del proyecto incluye la construcción de una vía de ferrocarril de 145 km. hasta la costa del Caribe, y ya comenzó la expansión de las instalaciones portuarias de la Exxon. El convenio estipula que ésta pagará regalías a razón de 15% sobre la mitad de la producción e impuestos basados en una escala progresiva de utilidades.<sup>31</sup>

En cuanto a Brasil, el plan de energía del gobierno consiste en remplazar 30% del consumo actual de aceite combustible por leña, carbón de leña y carbón natural. Sin embargo, tendrán que plantarse cada año 1.4 millones de hectáreas adicionales para obtener la madera y el carbón de leña necesarios. Como en el caso de los aceites vegetales y el azúcar, el programa se ve limitado por la disponibilidad de tierras. Se ha establecido que se requerirían 230 hectáreas de tierra de la meseta central de Brasil para producir el equivalente de 1,000 toneladas de petróleo.

### Gas natural

La evolución reciente del mercado internacional de la energía ha tenido un efecto profundo en las perspectivas para el gas natural en la región. El descubrimiento de reservas de gas natural en América Latina suele ser un subproducto de la explotación en busca de petróleo, ya que a menudo se encuentran juntos. Pocos proyectos se han emprendido en la región en busca de gas natural, porque la cantidad de reservas probadas ha sido generalmente mucho más alta que la requerida para satisfacer la demanda. En el pasado los gobiernos han preferido invertir su limitado capital en la búsqueda y desarrollo de depósitos de petróleo, antes que en los costosos sistemas de conducción y distribución de gas que se necesitarían para consumirlo.

El interés de América Latina por la producción de gas natural ha aumentado en los años recientes y puede esperarse que siga creciendo, dado el deseo de hallar alternativas al petróleo.<sup>32</sup> Planes de desarrollo recientes relacionados con el gas natural dan apoyo a esta afirmación. Está en planeación un importante proyecto de gasoducto de los campos productores de Bolivia hasta el centro industrial de São Paulo, en Brasil, una distancia de 1,900 km. El costo de este proyecto se esti-

<sup>31</sup> *Petroleum Economist*, Vol. 47, núm. 10 (octubre de 1980), pp. 450-451.

<sup>32</sup> *Latin America Weekly Report* (12 de septiembre de 1980), pp. 8-9.

mó en 3,000 millones de dólares en 1975. México ha hecho planes para construir gasoductos, y en Chile se ha demostrado interés por embarcar gas de sus depósitos sureños hacia los puntos centrales y septentrionales de consumo de energía del país para sustituir al petróleo importado, del que esas regiones dependen mucho en la actualidad. En general, el alto precio del petróleo en los mercados mundiales promete una revisión de largo alcance de las posibilidades de explotar el gas natural de América Latina, a medida que la región busca disminuir su dependencia del petróleo importado.

### **Hidroelectricidad**

La hidroelectricidad es, sin duda alguna, la fuente alternativa de energía más esencial para América Latina. Aunque los costos de operación son bajos, crecerán con el tiempo, reflejando los mayores costos de construcción de presas nuevas y de la instalación de turbinas. Brasil ostenta el uso más extendido de energía hidroeléctrica; el aprovechamiento de los ríos se ha llevado a cabo en muchas regiones del país. El Amazonas proporciona posibilidades importantes, aunque plagadas de dificultades técnicas y ecológicas. Argentina tiene más ríos sin aprovechar que Brasil, pero de la misma manera, su localización, lejos de los centros de población, acentúa las dificultades de su explotación. Se espera que se asignarán cerca de 12,000 millones de dólares para expandir la energía hidroeléctrica a 38% del total generado en 1985 y a 75% en 1995.<sup>33</sup> Algunos países, como Colombia, poseen un potencial enorme, pero sólo se explota marginalmente.<sup>34</sup>

### **Energía geotérmica**

Los manantiales de agua caliente a todo lo largo de la cadena andina son fuentes potenciales de energía térmica. No obstante, sólo México y El Salvador operan en realidad estaciones de energía geotérmica. México tiene dos unidades de 37.5 megavatios cada una, que suministran 6.6% de la electricidad del país.<sup>35</sup>

### **Conclusión: cooperación para el desarrollo tecnológico en la energía**

Evidentemente, el desarrollo tecnológico en la energía tiene un potencial enorme en América Latina. Empero, tres problemas específicos interactúan para reforzar las dificultades de expandir las fuentes alternativas de energía de la región. Ellos son: la magnitud del capital requerido, el acceso a la tecnología y la resolución de problemas ecológicos potencialmente críticos. En el pasado, las compañías transnacionales funcionaron como la fuente más importante de capital y tecnología. Volver a aceptar la dominación de las grandes empresas energéticas

<sup>33</sup> *Petroleum Economist*, Vol. 46, núm. 4 (abril de 1979), pp. 166-167.

<sup>34</sup> *Latin America Weekly Report* (12 de septiembre de 1980), pp. 8-9.

<sup>35</sup> *Op. cit.* (14 de marzo de 1980), pp. 8-9.

extranjeras en la región significaría un cambio en las políticas nacionales para casi todos los países. Existen sentimientos muy fuertes contra la presión de las grandes corporaciones; un ejemplo concreto de ellos son las recientes protestas de México y Venezuela contra la proposición argentina en el sentido de que el Banco Interamericano de Desarrollo garantizara inversiones transnacionales en el sector de la energía.

En este sector se han desarrollado nuevos patrones de cooperación, que comprenden no sólo flujos financieros sino también el intercambio de conocimientos por bienes, así como la concesión de ayuda técnica y financiera de las potencias emergentes de América Latina a los países más pobres de la región. Esos nuevos patrones apuntan hacia una fuerza económica y política recientemente descubierta de países que antes no habían disfrutado tales posiciones.

En 1976 los miembros del Acuerdo de Integración Subregional Andina (Acuerdo de Cartagena) acordaron, en principio, establecer un fondo de 400 millones de dólares para ayudar a financiar sus déficit de balanza de pagos. Se trata de un paso importante hacia la integración regional, partiendo de una cooperación previa que se había limitado al financiamiento de proyectos por parte de la Corporación Andina de Fomento.

Más aún, el establecimiento de la OLADE refleja perspectivas nuevas para la integración regional. La misión de la OLADE es crear una producción y consumo de petróleo más "equilibrado" para los países de la región, en el sentido de ayudarlos a producir energía. Por ejemplo, Venezuela anunció, durante la reunión de ocho ministros de energía en Caracas, en septiembre pasado, que estaba incrementando sus ventas a Brasil (el mayor importador de la región) a 60,000 barriles diarios con un objetivo final de 100,000 barriles al día. México acaba de aumentar sus exportaciones a Brasil de 20,000 a 50,000 barriles diarios.<sup>36</sup> De igual manera, en una sesión de tres semanas, el Sistema Económico Latinoamericano (SELA) resolvió evaluar el progreso de las Sesiones Especiales sobre Desarrollo de las Naciones Unidas; una de las primeras prioridades que surgieron fue una expansión del plan de energía mexicano-venezolano para Centroamérica y el Caribe.<sup>37</sup> El liderazgo de los dos países, implícito en otros contextos, está surgiendo con claridad en el área de la energía.

Este sector ha proporcionado bases específicas para formas nuevas de cooperación internacional más amplia. Por ejemplo, Japón ha destacado muy prominentemente en las nuevas relaciones comerciales con América Latina. Comités económicos conjuntos mexicano-japoneses han discutido el intercambio de petróleo mexicano por inversiones y asistencia técnica japonesas en los sectores de automotores, siderúrgico y petroquímico. Un ejemplo específico es importante: Japón propuso la expansión del complejo siderúrgico Las Truchas en un paquete con el establecimiento de refinerías de petróleo japonesas.<sup>38</sup>

<sup>36</sup> Op. cit. (26 de septiembre de 1980), p. 3.

<sup>37</sup> Op. cit., pp. 9-10.

<sup>38</sup> Op. cit. (16 de noviembre de 1979), pp. 29-10. También véase R. F. Colson, op. cit., para una revisión más amplia de la actual postura energética de Brasil.

Brasil ha tratado de reducir su propia brecha en lo que a energía se refiere mediante la firma de contratos con Irán e Irak para la prospección petrolera a través de su subsidiaria en el extranjero Braspetro.<sup>39</sup> Este caso es característico porque se refiere a un país no exportador de petróleo que hace contratos para la prospección petrolera fuera de sus propias fronteras. Desde la guerra iranio-iraquí, la posición de Brasil como receptor de petróleo de Irak se ha visto un tanto favorecida por su papel como suministrador de blindados ligeros y otras armas.<sup>40</sup> Entre paréntesis, no obstante, ya que Brasil obtiene la mitad de sus importaciones de Irak, la guerra ha tenido un efecto muy claro; Brasil sólo está recibiendo una fracción de la cantidad convenida.

México surge como una nación particularmente fuerte en este contexto. La principal estrategia general actual ha sido la diversificación de las exportaciones, reduciendo de esa manera su dependencia del mercado estadounidense, el cual representa en la actualidad 80% de todas las exportaciones mexicanas. Francia, Alemania Federal, Suecia, Canadá y Japón, todos buscan el petróleo mexicano. Estos países piensan en suministrar tecnología nuclear y productos agrícolas a cambio de petróleo.<sup>41</sup> México ha adoptado una actitud particularmente independiente con respecto a Japón, el cual busca un compromiso para incrementar el desarrollo petrolero de México. No obstante, la preocupación de México por frenar la inflación ejerce ciertas restricciones para satisfacer las exigencias japonesas. Se ha argumentado que el aumento de las exportaciones de petróleo sólo sería posible si fuese replicado por mayores inversiones japonesas.<sup>42</sup> México y Portugal firmaron un convenio por el cual el primero suministrará petróleo a Portugal y éste proporcionará a México conocimientos técnicos en industria pesada, petroquímicos y turismo.<sup>43</sup>

Argentina sugirió a Bolivia establecer estrategias comunes de precios y comercialización para los depósitos de gas natural. En conjunto son los mayores proveedores de gas de la región, y Brasil, Uruguay, Paraguay, Chile y Perú son compradores potenciales en una estrategia a largo plazo. Esta sugerencia se ha interpretado como un paso hacia una mayor integración regional y económica.<sup>44</sup>

Brasil y Venezuela iniciaron discusiones no sólo para incrementar las ventas de petróleo venezolano sino para intercambiar tecnología sobre petróleo pesado, conservación de la energía y tecnología petroquímica. Mientras que a Brasil le interesa el petróleo de Venezuela, a ésta le interesa adquirir la tecnología de Brasil para desarrollar el combustible basado en el alcohol.<sup>45</sup>

Las empresas petroleras estatales de Brasil y Chile están examinando las posibilidades de la prospección petrolera conjunta. Uno de los aspectos de este pro-

<sup>39</sup> *Latin America Weekly Report* (16 de noviembre de 1979), pp. 29-30.

<sup>40</sup> Op. cit. (21 de marzo de 1980).

<sup>41</sup> Op. cit. (25 de enero de 1980), pp. 3-4.

<sup>42</sup> Op. cit. (15 de febrero de 1980), pp. 5-6.

<sup>43</sup> Op. cit. (19 de septiembre de 1980), p. 3.

<sup>44</sup> Op. cit. (16 de mayo de 1980), p. 6.

<sup>45</sup> Op. cit. (2 de mayo de 1980), p. 5.

yecto es el compromiso de que Brasil compre 10% de la producción total de cobre de Chile.<sup>46</sup>

Las tendencias de la cooperación regional, indicadas por la OLADE, también influyen en los programas de desarrollo internos de cada uno de los países. Por ejemplo, en la reunión de Caracas, de septiembre de 1980, los ministros de energía de ocho países (Brasil, Colombia, República Dominicana, Costa Rica, Ecuador, México, Nicaragua y Venezuela) acordaron establecer un plan energético regional para la reunión de la OLADE en Bogotá, en noviembre de ese año. El plan fue elaborado para lograr flujos de producción y consumo más equilibrados. Se hizo notar que, mientras la producción regional de crudo es de 5.52 millones de barriles diarios (según estimaciones de 1979) y el consumo de la región es de sólo 4.4 millones de barriles diarios, México y Venezuela exportan la mayor parte de su producción fuera de la región. Por tanto, los países con déficit tienen que importar petróleo extra-regional. Los puntos principales del plan propuesto son: 1) el desarrollo de las fuentes de energía locales con el objeto de lograr la autosuficiencia de la región; 2) la racionalización de la producción, comercialización y consumo de energía, destinada a reducir la dependencia de los hidrocarburos; 3) la obtención de mayores recursos financieros de instituciones internacionales y países industrializados, y la creación de fuentes adicionales de ingresos para los de desarrollo energético.<sup>47</sup> Una suposición implícita que subyace en los esfuerzos de la OLADE consiste en que la diversidad de los recursos energéticos, del nivel de desarrollo económico, de la distribución de experiencias y tecnología y de la estructura demográfica permita ahora a los países de América Latina consolidar bases nuevas para la cooperación tecnológica y la integración regional.

<sup>46</sup> Op. cit. (9 y 16 de mayo de 1980), p. 6.

<sup>47</sup> *Petroleum Intelligence Weekly* (27 de julio de 1981), p. 11.

## PLANIFICACION ENERGETICA PARA EL DESARROLLO. NECESIDADES Y ENFOQUES

*Vinod Mubayi*

Durante el último decenio ha cobrado importancia y se ha vuelto más urgente la necesidad de los países en desarrollo de aumentar su capacidad tecnológica en el ámbito de la energía. Aunque el alza de los precios del petróleo y la estabilidad de su oferta motivaron en gran medida, sobre todo en los países industrializados, el reconocimiento público de la "crisis energética", es necesario aclarar que los problemas energéticos de los países en desarrollo son mucho más antiguos. Como señaló Carlos Suárez, del Instituto de Economía Energética de Bariloche, Argentina, la gran mayoría de la población de casi todos los países en desarrollo sufría ya una aguda "crisis energética" mucho antes de 1973. La manifestación específica de esta crisis —un nivel extremadamente reducido de consumo de energía y una sobredependencia de los llamados combustibles no comerciales— era sólo un reflejo de la profundidad de la crisis del desarrollo económico en general, y de estructuras socioeconómicas atrasadas, reforzadas en muchos casos por siglos de coloniaje que sentaron las bases históricas para su continuación.

Salvo algunas excepciones, en la mayoría de los países en desarrollo los productos petroleros han desempeñado un papel muy importante en el grado de industrialización o "modernización" que cada uno de ellos ha alcanzado. Hoy en día se reconoce y admite en general que, como en algunos países las importaciones de petróleo representan más de 50 por ciento de los ingresos por concepto de exportaciones, la ruta hacia la "modernización" del mundo en vías de desarrollo importador de petróleo se encuentra en peligro. Aun en el caso de los países en desarrollo que exportan petróleo, el grado de autonomía y sagacidad de cada uno en las decisiones relacionadas con este recurso agotable repercute de manera muy significativa en su capacidad para lograr los objetivos económicos y sociales que se ha propuesto. En este sentido, resulta evidente que la crisis petrolera ha provocado un rápido cambio en la situación general de la energía y el desarrollo. Se ha vuelto más urgente la necesidad de que los países en desarrollo produzcan una capacidad autónoma y confiable para afrontar sus problemas energéticos. De hecho, actualmente se considera que la energía constituye una de las necesi-

dades básicas del hombre, y se le ha colocado en el mismo nivel que otras necesidades básicas, como la alimentación, la vivienda y la salud.

En nuestro estudio examinaremos en detalle la adquisición de una mayor capacidad en uno de los campos más importantes de la energía: la de llevar a cabo una planificación energética global en escala nacional. Podría decirse que esto equivale a adquirir capacidad tecnológica en el aspecto *software* de la energía, en contraste con el aspecto *hardware* que abarca desde la investigación y el desarrollo experimental de la tecnología hasta la construcción, operación y mantenimiento de equipo productor o consumidor de energía. Todo el mundo reconoce en la actualidad, que la planificación energética nacional es un insumo esencial para la creación e implantación de programas y políticas relacionados con el desarrollo económico. Para que los planes energéticos nacionales se lleven a cabo con éxito es necesario contar con los siguientes elementos:

- 1) La construcción y ensamblaje de herramientas analíticas adecuadas que sirvan de base metodológica a la planificación energética;
- 2) la disponibilidad de personal debidamente capacitado, así como de programas de capacitación para impartir los conocimientos requeridos;
- 3) un marco institucional adecuado para que la planificación resulte eficaz y
- 4) los controles políticos y económicos necesarios para poner en práctica el proyecto.

En este estudio nos ocuparemos de los dos primeros elementos: los métodos analíticos útiles para la planificación energética en los países en desarrollo, y las necesidades de capacitación para la planificación energética.

### **Planificación energética nacional. Enfoques analíticos**

El surgimiento de la planificación energética nacional como una actividad perfectamente definida es un fenómeno muy reciente en los países en desarrollo. Antes, en casi todos los países los responsables de las políticas y las decisiones tendían a ver la energía desde la perspectiva de los diversos tipos de combustible como el carbón, el petróleo y la electricidad, e ignoraban parcial o totalmente los nexos que los unen. Cuando se tomaban en consideración los problemas de la planificación energética —si acaso se tenía conciencia de que tales problemas existían— sólo se pensaba en ellos en términos de la oferta de diversos combustibles, o se les reducía exclusivamente al sector eléctrico. Por supuesto, esta opinión aún persiste en muchos lugares.

Sin embargo, la crisis de la oferta de petróleo, y los consiguientes aumentos generalizados de los precios de la energía, así como las repercusiones inmediatas de estos últimos en grandes sectores de la economía, ha propiciado que se perciba la naturaleza integral del sistema energético. Comprender el problema energé-

tico permitió entender también que, para analizar apropiadamente el sistema energético, debe evitarse su división en elementos separados como electricidad, petróleo y carbón. Con el objeto de establecer políticas energéticas nacionales que señalen los posibles equilibrios y sustituciones es necesario examinar en forma conjunta todos los sectores de oferta y demanda de energía.

Estos factores propiciaron que los gobiernos de todos los países, desarrollados y en desarrollo, reconocieran la urgencia y la importancia de la planificación energética nacional, en el contexto de toda la planificación económica. Se está formulando una serie de métodos analíticos con el fin de enfocar sistemática y cuantitativamente los sistemas de energía, y así poder proporcionar una base mejor informada para la elaboración de políticas energéticas y económicas.

Los métodos o "modelos" analíticos que se formulan para analizar el sistema energético tienen que tomar en consideración el contexto específico en el que se construyen, con el objeto de que señalen temas de interés para los planificadores del desarrollo. A continuación se presentan ejemplos de algunos de estos temas:

#### *Explotación de recursos e investigación y desarrollo experimental de tecnologías*

El propósito inmediato de un proyecto nacional de planificación energética consiste en tomar decisiones sensatas en cuanto a la inversión en fuentes alternativas de energía y su explotación, y en lo que se refiere a la selección de tecnologías para la conversión y el uso final de recursos. En muchos casos, el análisis aislado de costo-beneficio de un recurso o proyecto particular resulta inadecuado porque no toma en consideración los efectos encadenados que originan los nexos del sistema energético con el resto de la economía. Es necesario que la planificación energética nacional proporcione un marco en el que puedan evaluarse conjuntamente los efectos y las ventajas de los cambios tecnológicos alternativos en el largo plazo, para que quienes formulan las políticas y toman las decisiones cuenten con una base para resolver acerca de la investigación y el desarrollo experimental en diversas áreas tecnológicas.

#### *Consideraciones sobre equidad*

Un objetivo importante de la planificación del desarrollo es el suministro adecuado de energía a los sectores más pobres de la población, para satisfacer necesidades básicas como la cocción de alimentos, el transporte, la salud y el agua potable. La planificación energética nacional puede ayudar a evaluar las implicaciones energéticas específicas de las metas más amplias del desarrollo que se han fijado para los diversos segmentos de la población y, por otra parte, a aprovechar la combinación apropiada de recursos y tecnologías necesarios para alcanzar los objetivos propuestos según condiciones climáticas, sociales y culturales del medio.

### *Política de precios*

La política de precios de la energía constituye un área de gran interés para los planificadores. Por razones de índole social, en el pasado muchos países subsidiaban los precios de la energía. A medida que aumentaban los costos se volvía más difícil continuar sosteniendo esa política que, por otra parte, con frecuencia fue la causa de controversias entre los gobiernos nacionales y las instituciones de préstamo. De cualquier manera, es necesario establecer los costos y beneficios económicos y sociales que implican las distintas políticas de precios. En el terreno de la energía, aun las modificaciones más sencillas de una política pueden desencadenar una serie de efectos muy diversos. Por ejemplo, el aumento del precio del queroseno en zonas rurales puede provocar que se recurra más a la leña y al estiércol animal para cocinar. Esto, a su vez, puede tener complejas repercusiones ecológicas —debido a la deforestación— y en la producción agrícola. Los precios representan sólo uno de los diversos instrumentos con que cuenta un país para influir en la oferta y demanda de energía.

### *Consideraciones sobre la balanza de pagos*

El problema energético más evidente que afrontan los países en desarrollo importadores de petróleo es el pago de las importaciones petroleras, que en algunos países asciende a 75 por ciento de sus ingresos por exportaciones.<sup>1</sup> Una de las metas a corto plazo de la planificación energética consiste en determinar un nivel óptimo de las importaciones petroleras que concuerde con los objetivos del crecimiento económico y las exportaciones nacionales.

Desde el punto de vista histórico, el enfoque analítico de la planificación energética consistía en realizar un balance energético —por lo común, en niveles muy agregados— que incluía producción, importaciones, exportaciones (si era éste el caso), conversión, distribución y uso final de energía en un año base. Después se hacía una proyección del balance energético para un año de referencia en el futuro, proyección basada en un conjunto de demandas energéticas, integrado en forma exógena y recopilado en general, por organismos independientes como empresas generadoras o petroleras, o apoyada en los proyectos de expansión sectorial de ministerios de industria, transporte, agricultura, etc. Aun este tipo de enfoque es poco frecuente; sólo unos cuantos países en desarrollo, en los que se ha institucionalizado cierta forma de planificación energética —generalmente en un organismo nacional de planificación—, lo han adoptado durante algún tiempo. En la mayoría de los países, la única forma disponible de plani-

<sup>1</sup> Según estimaciones del Banco Mundial, el costo de las importaciones netas de petróleo, en dólares constantes, casi se ha multiplicado por diez en el último decenio, y que ese monto se habrá multiplicado todavía más de dos en 1990, a menos que se lleven a cabo enormes esfuerzos para reducir el consumo de petróleo. *Energy in Developing Countries*, Banco Mundial, Washington, D. C., agosto de 1980.

ficación energética consiste en la proyección de demandas de combustible basada en una simple extrapolación de tendencias o, en casos contados, en la estimación econométrica de ingresos de combustible y elasticidad de precios. Con muy pocas excepciones, es común que las actividades de planificación energética excluyan al sector energético "no comercial", que abarca combustibles como leña, residuos agrícolas y desechos animales o potencia animal de tiro en zonas rurales. El problema principal que obstaculiza la incorporación de este sector es la frecuente falta de datos, o incluso la carencia de un organismo encargado de obtenerlos o calcularlos. Esta carencia refleja en forma más general la negligencia relativa de los gobiernos en cuanto a los sectores más desorganizados y atrasados de la economía, especialmente de las zonas rurales.

El enfoque analítico de diversas evaluaciones energéticas realizadas en países en desarrollo, con las que el autor de este estudio se encuentra familiarizado, consistió básicamente en la proyección de balances energéticos, en forma sectorial mucho más desagregada en términos del Sistema Energético de Referencia (SER). En su forma diagramática, el SER es una imagen gráfica muy conveniente del cuadro sinóptico sobre la balanza energética; subraya el concepto de los flujos de energía que circulan a través de la economía y presenta un recuento de pérdidas de energía en cada etapa de su conversión, distribución y uso final. En un trabajo en que participó el autor se describen más detalladamente la construcción de un SER y la metodología utilizada para su proyección, así como el análisis de las opciones de Perú.<sup>2</sup> Sin embargo, las experiencias de Egipto<sup>3</sup> y Perú con esta metodología pusieron de manifiesto sus deficiencias como herramienta analítica para planificar la energía en escala nacional. Se concluyó que el marco del SER, además de incorporar una gran cantidad de detalles técnicos y de procedimientos del sistema energético, debía establecer nexos con la economía nacional para satisfacer los objetivos mencionados de la planificación energética integral. Por tanto, resultó necesario ampliar el análisis en por lo menos cuatro grandes áreas: 1) asegurar que las tasas de crecimiento económico que impulsan el sistema energético, los niveles de actividad y las proyecciones de demanda energética sectorial sean congruentes en un nivel sectorial; 2) evaluar las implicaciones económicas de los requisitos energéticos futuros, en términos de sus efectos en el conjunto de la economía nacional, sobre todo en lo que se refiere a la balanza de pagos y la inversión; 3) evaluar las opciones en cuanto a fuentes y tecnologías del sistema energético, tomando como base criterios más explícitos, y no simplemente juicios u opiniones personales y 4) desarrollar una metodología adecuada para incorporar el sector de "combustibles no comerciales" al análisis integral.

<sup>2</sup> V. Mubayi, P. F. Palmedo, y A. B. Doernberg, *A Framework for Energy Policy and Technology Assessment in Developing Countries: A Case Study of Peru*, presentado en la Conferencia Internacional sobre Energía y Medio Ambiente, Bangalore, India, enero 1979. (Energy Res. Abstr. 5, Núm. 15, 8/15/80, NTIS.)

<sup>3</sup> *Joint Egypt/U. S. Report on Egypt/U. S. Cooperative Energy Assessment*, DOE/IA-002/01, Departamento de Energía de E. U., Washington, D. C., abril de 1979.

Varias de las investigaciones metodológicas llevadas a cabo en el Laboratorio Nacional de Brookhaven muestran los progresos que se han logrado en la aplicación de los tres primeros aspectos.<sup>4 15</sup> Las referencias 4 y 5 proporcionan más detalles acerca de este enfoque de un modelo integral de energía-economía para países en desarrollo. En pocas palabras, el enfoque integral consiste en un modelo de insumo-producto en términos energéticos, cuya característica principal estriba en que de él resultan demandas energéticas sectoriales congruentes; dicho modelo se anexa al SER, que se considera un problema de optimización lineal de la red. La fuerza motriz del modelo integral es el vector de demanda final del marco de insumo-producto que, a su vez, puede obtenerse de un macromodelo de la economía —si se dispone de una versión adecuada— o a partir de organismos encargados de la planificación económica nacional. El modelo se diseña de tal manera que puedan elegirse varias funciones objetivas para el programa lineal. Como ejemplos, pueden citarse: el costo total del sistema energético, los requisitos de capital, los requisitos totales de divisas, la cuenta de importaciones de combustible, etc.

En Portugal y Corea se han aplicado versiones modificadas de este enfoque.<sup>6 17</sup> La característica principal de estas aplicaciones consistía en estimar futuros déficit de la balanza de pagos, debidos a las grandes importaciones petroleras de estos países, y en investigar posibles estrategias energéticas para reducirlos.

Para abordar el problema del sector energético “no comercial”, es necesario trabajar más, sobre todo en el estudio de casos específicos. Los datos con que hasta ahora se cuenta simplemente resultan insuficientes para apoyar generalizaciones analíticas sobre los determinantes del consumo energético no comercial y de la transición a formas de energía comercial, especialmente en los sectores doméstico y agrícola. Por esta razón, para desarrollar cualquier tipo de marco para una planificación analítica es necesario mejorar la cantidad y calidad de la información sobre el sector energético “no comercial”, mediante un esfuerzo internacional sistemático.

Es preciso subrayar que no existe una fórmula analítica universal con posibilidades de éxito en todos los países en desarrollo: la diversidad misma de condiciones económicas, sociales y energéticas lo impide. Y, evidentemente, la natura-

<sup>4</sup> V. Mubayi y P. M. Meier, *Energy Models for Developing Countries: A Comparative Assessment*. Estudio presentado a la Asamblea del Grupo de Energía Técnica sobre Modelos y Proyecciones Energéticas, 4-6 de junio de 1981 (en el próximo Informe del LNB, LNB 51446).

<sup>5</sup> P. M. Meier y V. Mubayi, *Modelling Energy-Economic Interactions in Developing Countries: A Linear Programming Approach*, LNB 29747, Laboratorio Nacional de Brookhaven, julio de 1981.

<sup>6</sup> S. Rogers, S. Kyle, G. McGranahan y V. Mubayi, *Application of the Brookhaven Energy-Economic Assessment Model in the Portugal-U. S. Cooperative Assessment*, LNB 51424, Laboratorio Nacional de Brookhaven, junio 1981.

<sup>7</sup> J. Lee, M. K. Lee, V. Mubayi y P.M. Meier, *Energy-Economy Interactions in Korea* (en un Informe próximo del LNB).

leza de los problemas de energía, así como el conjunto de estrategias con posibilidades de éxito, varían de un lugar a otro, lo cual implica, a su vez, que se requieren modelos diferentes para estudiar con más detalle los problemas individuales. Sin embargo, esto no defiere de la situación que prevalece en el desarrollo económico general, donde todo tipo de modelos de programación econométrica, de simulación y matemática contribuyen al análisis de ciertos aspectos del desarrollo.

Claro está que cada día resulta más obvio que la forma en que los modelos macroeconómicos tradicionales abordan la energía resulta bastante deficiente; por ejemplo, la experiencia de Corea, donde se trabajó con lo que la mayoría de los economistas considerarían un modelo macroeconómico muy moderno, muestra que los esquemas tradicionales de desagregación sectorial (agricultura, manufactura, servicios), con inversiones en el sector de energía asignadas en forma un tanto arbitraria y sin una distinción clara entre los diversos combustibles, son terriblemente inadecuados aun en condiciones normales debido a la explosión de los costos del petróleo importado. En parte, el problema estriba en que hace apenas algunos años empezaron a cobrar importancia dichos gastos y, por ende, no son muy significativos en el período típico de 15 a 25 años que sirve de base para la estimación econométrica de las relaciones económicas. Y, debido precisamente a la imposibilidad de establecer los precios de todos los combustibles con base en el costo marginal (por razones sociales y de equidad), dejar la solución de los problemas energéticos simplemente en manos de las fuerzas del mercado no constituye una solución viable para la mayoría de los países. Ante esta situación, es necesario intensificar el diálogo entre los economistas encargados del desarrollo, los planificadores de la energía y los ingenieros para mejorar el diseño de futuros modelos, tanto macroeconómicos como energéticos.

### Planificación energética nacional.

#### Necesidades y mecanismos de adiestramiento

Como ya hemos mencionado, actualmente se reconocen, nacional e internacionalmente, la importancia y la necesidad de que los países en desarrollo fundamenten sus decisiones sobre política energética en la planificación nacional de la energía. Los organismos de planificación, las empresas de servicios públicos, los ministerios encargados del petróleo, electricidad y finanzas nacionales, así como las instituciones financieras internacionales interesadas en las incidencias del sector energético en el crecimiento y desarrollo económicos a largo plazo, como el Banco Mundial, concuerdan en que la planificación energética sistemática y completa constituye un elemento esencial de la planificación económica general de una nación. En cuanto se comprendió la necesidad de llevar a cabo una planificación energética, se reconoció que los países en desarrollo carecían de suficientes planificadores capacitados para abordar en forma adecuada las tareas que ello implicaba. En años recientes se ha intentado, tanto en escala nacional como

internacional, remediar la insuficiencia de la oferta de planificadores energéticos en los países menos desarrollados. Diversos organismos del sistema estadounidense, así como los programas de ayuda bilateral de los países industrializados, han contribuido a que se lleven a cabo recursos cortos de adiestramiento en planificación y evaluación energéticas para personal de países en desarrollo. Además, varios países en desarrollo han empezado a crear programas de capacitación en algunos de sus institutos de investigación y en sus universidades.

Sin embargo, en todas partes se admite que el alcance de las actividades de capacitación que usualmente se llevan a cabo resulta insuficiente para llenar los requisitos indispensables. Es necesario enriquecer y aumentar la cantidad, magnitud y profundidad de los programas de capacitación para satisfacer la demanda de personal debidamente capacitado. Más aún, es urgente coordinar los programas y actividades existentes para evitar la duplicación y optimizar el aprovechamiento de recursos escasos, sobre todo los recursos humanos calificados para impartir la capacitación necesaria.

Bajo los auspicios de la División de Proyectos Globales del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, se realizó un estudio de factibilidad para investigar la posibilidad de crear una red cooperativa internacional de centros de investigación y capacitación sobre planificación energética; dichos centros se localizarían sobre todo —aunque no exclusivamente— en los países en desarrollo. Las funciones de dichos centros consistirían en:

- ofrecer seminarios regulares, cursos cortos y programas de licenciatura sobre materias relacionadas con política y planificación energéticas;
- conducir la investigación encaminada a elaborar el material de enseñanza, en especial las monografías y el estudio de casos particulares, en el terreno de la planificación energética nacional;
- fungir como centros de intercambio de datos sobre oferta y demanda tecno-económica de energía, información esencial para las actividades de planificación energética;
- fortalecer la capacidad de los organismos de planificación gubernamental nacional y regional para realizar evaluaciones energéticas y preparar proyectos sobre energía.

El estudio de factibilidad fue llevado a cabo por un comité directivo integrado por dos expertos en planificación energética de cada una de las siguientes regiones: Asia, América Latina y Medio Oriente; un experto de Africa, y uno de la UNESCO que se encargó de los países europeos en desarrollo.

Entre otros temas, el estudio incluyó la naturaleza y magnitud de las necesidades de capacitación en planificación energética a nivel nacional y regional, y las capacidades, interés y disponibilidad de las instituciones educativas y de investigación existentes que podían servir de centros de capacitación. Asimismo, se estudiaron las posibles funciones de la red cooperativa llamada INTEP (red internacional para la capacitación en planificación energética) y su actuación

como: a) apoyo de actividades en cada centro de capacitación, y b) nexo entre diversos centros.

Nuestro análisis sobre las necesidades de capacitación de los países en desarrollo está basado en el anteproyecto del informe que el Comité Directivo dirigió al Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo.

La metodología que se adoptó para realizar el análisis consistió en enviar cuestionarios a diversas instituciones e individuos de aproximadamente 40 países localizados en Asia, Centro y Sudamérica, Medio Oriente, Africa y Europa. Las respuestas a dichos cuestionarios proporcionaban información acerca de: i) las capacidades de las instituciones existentes y los cursos que estaban impartiendo o pensaban impartir sobre planificación energética, y ii) las necesidades del país en lo referente a la capacitación en varios niveles. Mediante visitas a cada uno de los países se recopiló más información específica.

En general, se identificaron necesidades de capacitación en tres o cuatro niveles, con algunas variantes que obedecían a las características particulares de las instituciones energéticas de cada país. A grandes rasgos, dichas necesidades pueden clasificarse de la manera siguiente:

- i) Nivel 1. Funcionarios de alta jerarquía responsables de la elaboración de políticas energéticas y la toma de decisiones sobre energía.
- ii) Nivel 2. Personal de alta jerarquía responsable de la planificación y la gestión energéticas globales.
- iii) Nivel 3. Personal subalterno en el nivel sectorial o subsectorial de la planificación, que aspira a licenciaturas o posgrados en ese campo.
- iv) Nivel 4. Personal profesional de empresas energéticas o relacionadas con la administración de la energía, que requiera capacitación especializada en áreas como la de conservación energética industrial.

Además, el informe sugiere que tal vez la necesidad de capacitación más urgente se encuentra en el área de "capacitación para quienes capacitan"; en otras palabras, es indispensable que, antes de impartir cursos sobre planificación energética, los maestros reciban el adiestramiento adecuado en dicha materia. Ya que en los países en desarrollo la planificación energética es una disciplina aún joven, el número de personas calificadas para impartir cursos sobre este tema es extremadamente reducido. De aquí que en un principio los programas de capacitación necesariamente tengan que centrarse en la formación del cuerpo docente y la programación de los cursos.

El cuadro 1 muestra las estimaciones del informe en cuanto al número de personas que deberá capacitarse a diversos niveles durante el próximo período de tres a cinco años, en distintas regiones.

Resulta obvio que la magnitud de las necesidades de capacitación es enorme, aun cuando las cifras del cuadro 1 son simplemente indicativas. Sin duda, para satisfacer estas necesidades es preciso realizar un esfuerzo prolongado para establecer programas en instituciones adecuadas de los países en desarrollo, con ayuda exterior cada vez que ésta sea factible y necesaria.

Cuadro 1

**MAGNITUD DE LAS NECESIDADES DE CAPACITACION POR REGION**  
*(durante los próximos 3-5 años)*

	Asia	América Latina	Medio Oriente	Africa	Europa	Total
1. Funcionarios políticos de alta jerarquía	300	400	30	200	50	980
2. Planificadores de alta jerarquía	1 100	500	100	600	75	2 375
3. Planificadores subalternos	900	500	30	1 000	600	3 030
4. Personal empresarial	3 200	1 000	300	2 000	-	6 500
5. Cuerpo docente	100	100	50	200	75	525

Fuente: Comité Directivo de la red INTEP, *Feasibility Study on an International Network for Training in Energy Planning*, anteproyecto del informe, noviembre de 1981.

Uno de los resultados principales del informe del comité es haber comprobado que los programas de capacitación actuales, tanto los nacionales como los internacionales, están muy por debajo, tanto en cantidad como en calidad, de las necesidades de capacitación descritas anteriormente.

Por otra parte, hay una amplia variedad de potencialidades y capacidades en las instituciones educativas y en los institutos de investigación de las diversas regiones en desarrollo, variedad que puede aprovecharse en los centros de capacitación sobre planificación energética. Aunque algunas instituciones, como el IDEE de Bariloche, Argentina, han acumulado una experiencia considerable en ese campo, todas ellas --aun las más fuertes-- pueden ampliar el alcance y el nivel de la capacitación que ofrece. Por lo que se refiere a la magnitud de las necesidades de capacitación que se mencionaron, es preciso reforzar en forma considerable los programas e instituciones existentes y establecer nuevos centros, en especial en Africa y Medio Oriente.

El objetivo del Proyecto INTEP es contribuir al desarrollo de centros de capacitación y planificación energética que, independientemente de sus capacidades originales, evolucionen hasta cumplir con una o más de las siguientes actividades programáticas fundamentales:

- a) Empezar programas docentes en varios niveles:
- + programas de postgrado;
  - + programas de licenciatura;
  - + cursos cortos de capacitación, con objetivos definidos, para diversos grupos (por ejemplo, cursos de repaso de seis semanas para profesionales que han llegado a la mitad de su carrera, con el fin de afinar habilidades; o se-

minarios para políticos de alto nivel sobre cuestiones problemáticas críticas);

- + capacitación técnica para personal egresado del nivel de secundaria.
- b) Proporcionar adiestramiento práctico, en el lugar de trabajo, en determinadas áreas, mediante la cooperación con organismos públicos y privados.
- c) Adquirir capacidad para elaborar material pertinente de estudio, como análisis de casos particulares, que pueda incluirse en los programas de ese mismo centro y de otros.
- d) Empezar actividades de investigación aplicada y desarrollar capacidades metodológicas para resolver problemas de la planificación energética (procedimientos de recolección de datos, construcción de modelos, diseño de sistemas de información, etc.)
- e) Verificar activamente la evolución de las necesidades, a medida que éstas surjan y se multipliquen en toda la gama de instituciones y organismos de la región; y, para satisfacer estas necesidades, proporcionar un enlace entre las instituciones académicas y de investigación.
- f) Desarrollar esquemas regionales eficaces de reclutamiento estudiantil, para garantizar la continuidad de los programas docentes establecidos.
- g) Comunicar, compartir y sintetizar la experiencia adquirida en otras regiones del mundo sobre capacitación e investigación en el terreno de la planificación energética.

Tanto el informe como otras experiencias muestran claramente que la llamada colaboración sur-sur tendrá que desempeñar un papel mucho más amplio en la planificación y capacitación energéticas, que el que ha desempeñado hasta ahora. El establecimiento de la red INTEP se propone cumplir con este objetivo y asegurar que el conjunto de sus programas responda a las necesidades de capacitación energética de todos los países en desarrollo.



## **PROBLEMAS DEL DESARROLLO DE LA CAPACIDAD TECNOLOGICA EN EL CAMPO DE LA ENERGIA EN LOS PAISES EN DESARROLLO**

*Arnoldo K. Ventura*

Es un hecho bien conocido que la disparidad socioeconómica entre los países en desarrollo y los desarrollados se debe en gran parte a la debilidad tecnológica de los primeros. Y esto es así aun cuando los países en desarrollo poseen importantes dotaciones de recursos, tales como grandes áreas de cultivo, poblaciones numerosas, recursos minerales abundantes y una energía potencial sin explotar, comparable con la de naciones desarrolladas o industrializadas y a menudo mayor que la de éstas. La incapacidad para aprovechar esos recursos ha reducido la producción agrícola e industrial de los países en desarrollo a fracciones de esas mismas actividades en los estados desarrollados. A pesar de sus pobres recursos naturales, algunos países desarrollados han podido alcanzar altos patrones de vida y comercio mediante la importación de materias primas que son convertidas eficazmente en productos competitivos mediante la aplicación experta del conocimiento científico y tecnológico. Por el contrario, los países en desarrollo, con abundantes recursos naturales, permanecen pobres debido a su atraso tecnológico.

Antes de la crisis del petróleo de 1973, los combustibles fósiles eran baratos, abundantes y, se suponía, inagotables; en consecuencia, la disponibilidad de la energía como factor político, económico y técnico se dio por sentada y, por ende, atrajo muy poca atención desde el punto de vista tecnológico. Los sistemas agrícolas e industriales se diseñaron para emplear petróleo barato con la casi total exclusión de otras formas de energía, por lo que los repentinos aumentos en los costos del petróleo crearon graves trastornos económicos en los países pobres en desarrollo. Aunque la mayoría de los estados sufrieron a causa de la espiral de los costos del petróleo, las sociedades pobres se vieron afectadas más severamente debido a su enorme incapacidad para hacer los ajustes tecnológicos necesarios para aliviar su difícil situación. El alto costo del combustible significó para ellos más pobreza y más hambre. En consecuencia, para la mayoría de los países en desarrollo, en especial para los que carecen de yacimientos naturales de combustible fósil, resulta urgente y vital encontrar los medios para remplazar los combustibles importados.

Por desgracia, los intentos de buscar nuevas fuentes de energía se ven entorpecidos por el nivel de los conocimientos propios y por la débil capacidad tecnológica de muchos países en desarrollo. En este trabajo esbozaremos brevemente las razones principales de esas deficiencias, y mencionaremos algunas sugerencias para remediarlas.

Para efectos de este trabajo, se supondrá que el enorme conjunto de capacidades tecnológicas y científicas, junto con las enormes inversiones de capital que se requieren tanto para localizar y comercializar los recursos de combustibles fósiles, como para instalar plantas nucleares o construir plantas hidroeléctricas gigantes, se encuentran fuera del alcance inmediato de la mayoría de los países en desarrollo. No obstante, lo anterior no tiene la intención de atenuar el hecho de que los países en desarrollo tienen una necesidad extrema de contar con los suministros de energía más adecuados y eficaces. Con este hecho en mente, en este trabajo examinaremos las nuevas tecnologías para energéticos renovables, como las que se relacionan con la energía solar, la eólica, la minihidroeléctrica, la geotérmica y la biomasa, que parecen estar al alcance tecnológico inmediato de los países en desarrollo. Asimismo, estamos conscientes de que unos cuantos de estos países, en virtud de descubrimientos de petróleo o de avances significativos hacia la industrialización, han atraído a subsidiarias de grandes corporaciones interesadas en la energía fotovoltaica. Sin embargo, es obvio que el establecimiento de estas empresas tecnológicas en dichos países parece obedecer más a la perspectiva de grandes mercados o al flujo de petrodólares, que al deseo de transferir conocimiento tecnológico a dichos países.

### **El problema de la energía de los países en desarrollo**

La cuadruplicación del precio del petróleo crudo posterior a la guerra árabe-israelí de 1973 provocó una revolución en la manera de pensar del hombre con respecto al suministro de energía. Dejó de pensarse que dichos suministros fueran baratos, derrochables y prácticamente inagotables. Se comprendió que eran en verdad costosos, valiosos, finitos y, sobre todo, que se encontraban en rápida disminución. En la actualidad, el incremento de los precios del petróleo a 15 veces sobre los niveles de 1970 verdaderamente ha eliminado todas las esperanzas en la eventual desaparición o la disminución significativa de la pobreza en muchos países en desarrollo, ya que las tambaleantes economías de éstos han zozobrado literalmente, provocando descensos dramáticos de los patrones de vida y aumentos concomitantes del desempleo, la desnutrición y el déficit comercial.

La dependencia del petróleo fue abrumadora en las sociedades en desarrollo, debido a que la industrialización acelerada y otros intensos esfuerzos de desarrollo de esos países pobres se iniciaron después del cambio global del carbón al petróleo, durante los primeros años de la década de 1960. La estrecha dependencia tecnológica respecto de los países desarrollados, basada en el petróleo barato, contribuyó a establecer una cultura de consumo energético dispendioso en los

países pobres, similar a la de los países industrializados. Por lógica, los aumentos de los precios del petróleo, en el decenio de los setenta, obligaron a muchos gobiernos a pensar en dirigir la planificación nacional hacia la conservación y el uso más eficaz de la energía, así como a intensificar los esfuerzos para identificar y aprovechar las fuentes internas de energía. Esto resultaba absolutamente necesario porque la magnitud de los aumentos en el precio del petróleo estaba provocando graves escaseces de combustible que ya habían empezado a sofocar las actividades industriales y a reducir los servicios esenciales. Además, los nuevos precios del petróleo han dado lugar a otros aumentos, entre ellos el de los fertilizantes para la agricultura y, por ende, de los alimentos; el de los combustibles para calderas y, por tanto, de la electricidad; y el de la gasolina y, en consecuencia, del transporte. En la actualidad, el queroseno, el combustible comercial tradicionalmente al alcance de los pobres tanto rurales como urbanos, está sirviendo a los ricos, cada vez más, para compensar los precios más altos de la electricidad. Ahora no sólo resulta mucho más caro para los pobres, sino que se encuentra prácticamente fuera de su alcance. En consecuencia, en las regiones pobres se está despertando hoy el interés en la madera y en el carbón de leña como combustible.

El aumento de los precios del petróleo no sólo ha reducido la productividad en los países en desarrollo, sino que también ha provocado un crecimiento espectacular de los precios de todos los bienes importados, con lo cual dichos países tienen que sufrir mayores desventajas comerciales. La mayoría de los que no producen petróleo ha experimentado un descenso de más de 50% en el PNB, debido a que emplean en adquirir petróleo porcentajes cada vez mayores de sus divisas, penosamente ganadas.

Día a día se reconoce más la necesidad de dedicar la investigación y el desarrollo experimental (IDE) a buscar sustitutos del petróleo; pero, desafortunadamente, las economías de la mayoría de los países en desarrollo no productores de petróleo se encuentran en tal estado, que este tipo de empresa se ha relegado, por necesidad, a niveles inferiores de la prioridad nacional. No obstante, el estancamiento económico actual de muchos países en desarrollo y las deprimentes perspectivas de un petróleo todavía más caro y más difícil de obtener, frente a las crecientes demandas nacionales de energía para alcanzar metas de desarrollo mínimas, han hecho evidente que la capacidad tecnológica en el terreno de la energía es una necesidad imperiosa para la supervivencia. Resulta obvio que sin suficiente energía a precios accesibles, todos los esfuerzos de estos países en torno a la productividad se verán obstruidos.

### **Obstáculos y vías de acceso a la capacidad tecnológica**

#### *Dependencia*

Los obstáculos para que los países en desarrollo logren una mayor capacidad tecnológica tienen sus raíces en la explotación crónica, la ignorancia, la inelasti-

cidad cultural, la debilitación social, las exigencias económicas y políticas y la negligencia internacional. El principal de todos esos obstáculos es la dependencia, que consiste en un estado mental derrotista, tanto en el sector público como en el privado, reforzado por la insularidad y el carácter tendencioso nacionales.

En este letargo de impotencia, los problemas se sufren pero no se comprenden cabalmente, y se espera que el diseño de las soluciones, así como su puesta en práctica, provengan del exterior. En la mayoría de los casos, las pocas personas tratan de comprender su medio y de buscar vías para resolver los problemas internos encuentran, cuando mucho, tolerancia y, con mayor frecuencia, indiferencia. Por tanto, la capacidad tecnológica ha permanecido inactiva y, sobre todo, ha tenido muy poca importancia para el desarrollo interno de muchos países en desarrollo.

La adquisición de capacidad tecnológica requiere una firmeza de propósitos que conceda una gran importancia a la creatividad e innovación individuales, así como a la mayor eficacia productiva y a la habilidad técnica. Para que la aptitud tecnológica se convierta en una característica nacional, tiene que haber un fuerte deseo nacional de dominar y mejorar todas las actividades esenciales de la sociedad. Antes de que se haga realidad algo parecido a una independencia tecnológica, tiene que fijarse en la estructura social una profunda voluntad para generar conocimientos científicos, y emplearlos en la satisfacción de las necesidades y carencias de la sociedad. En consecuencia, antes de que puedan tomar el control de sus destinos tecnológicos, muchos países en desarrollo tienen un largo camino que recorrer.

Muchos países en desarrollo lograron su independencia política hace apenas algunos años y dejaron de ser colonias proveedoras de materias primas para potencias industriales. Como colonias, no contaban con estímulos para participar íntimamente en la secuencia de avances científicos internacionales; y sus necesidades tecnológicas se concebían sólo en términos de los mercados de materias primas existentes. Sus requerimientos tecnológicos se satisfacían, sobre todo, desde el exterior. Por ende, estos países, al conseguir su independencia política, persistieron en la dependencia tecnológica y adoptaron una actitud servil en cuanto al desarrollo.

En el decenio actual muchos países en desarrollo aún siguen pasando apuros para establecer las infraestructuras científicas y tecnológicas que se ganen el respeto y la confianza de sus sectores productivos. Alcanzar ese nivel de independencia tecnológica requiere una fuerte voluntad política, el sacrificio tanto de los consumidores como de los productores, el deseo de correr riesgos y el valor y la astucia para desligarse selectivamente del poderío tecnológico de los países ricos. Por desgracia, para la mayoría de los países en desarrollo resulta difícil adoptar, si no todas, al menos alguna de estas actitudes.

La manera agresiva en que las corporaciones transnacionales están adueñándose de la investigación y el desarrollo experimental (IDE) de la tecnología en el campo de las energías nuevas y renovables, indica que en los países en desarrollo continuará la dependencia tecnológica con respecto a la energía. Desde

un punto de vista realista, puede apreciarse que los países en desarrollo carecen de recursos financieros, de mano de obra especializada y de tradición científica para generar la tecnología energética que con tanta urgencia necesitan. Sin embargo, si no adquiere el conocimiento suficiente en lo que se refiere a sus necesidades particulares y su potencial de recursos, así como en lo referente a la tecnología disponible para satisfacer sus necesidades, simple y sencillamente perpetuarán el problema de emplear recursos escasos para obtener tecnologías inadecuadas, o para adquirir las adecuadas a un gran costo, tecnologías que no pueden obtener, aplicar, reparar o mantener sin ayuda exterior, lo cual implica un gasto enorme.

### *Restricciones económicas*

Aunque los países en desarrollo evitaren la dependencia excesiva, antes de que logran alcanzar un nivel razonable de capacidad tecnológica necesitarían realizar grandes inversiones en investigación y desarrollo experimental, en adiestramiento y aplicaciones comerciales. La investigación es una empresa muy costosa, pero todavía es más costoso el desarrollo experimental y todas las actividades afines, como la selección de materiales, la adecuación de la escala, el diseño, y las actividades de demostración e instalación, necesarias para la comercialización en el campo de la energía. En esencia, muchas de las tecnologías energéticas son intensivas en capital.

En la mayoría de los países en desarrollo que luchan por lograr la capacidad tecnológica se lleva a cabo, por lo general, alguna forma de investigación, pero es muy raro que a ésta le sigan la comercialización o la aplicación de sus resultados, debido sobre todo a los costos que esto último implica. La mayoría de los países en desarrollo ha aceptado, más o menos, que en el campo de la energía es mejor dejar que las instituciones científicas bien capacitadas lleven a cabo la investigación y el desarrollo tan complejos que se requieren para perfeccionar las tecnologías para fuentes alternativas de energía, tales como la investigación sobre energía fotovoltaica y sobre baterías. Su razonamiento consiste en que las instituciones locales pueden resultar más eficaces en la adaptación, construcción, demostración e instalación de prototipos para aplicaciones locales, que en la empresa de llevar a cabo por sí mismas una investigación para la que, por lo general, están deficientemente equipadas. Por desgracia, ni siquiera estas actividades tecnológicas finales se ejecutan en forma adecuada debido a la escasez de fondos, de habilidad y de conocimiento tecnológico. Generalmente, los programas de asistencia tecnológica diseñados con la intención de desarrollar estas capacidades finales terminan siendo artimañas de ventas para colocar paquetes tecnológicos ya hechos. Los investigadores y tecnólogos nacionales no participan lo suficiente en ninguna de las etapas del desarrollo tecnológico y, por ende, su adquisición de capacidad o conocimientos nuevos en este campo es muy pobre.

Debería reconocerse que, aunque las fuentes de energía pueden describirse como renovables, los equipos para aprovecharlas no lo son. A menudo, la falta de divisas impide adquirir equipo, materiales y otros insumos que, aunque costosos, son vitales. Incluso cuando se hacen sacrificios para comprar el equipo indispensable, no se cuenta con una disponibilidad inmediata de las divisas necesarias para comprar repuestos y servicios de mantenimiento. Esto provoca que las instituciones nacionales de investigación y desarrollo adquieran una mala reputación en cuanto a confiabilidad; y, por ende, la demanda de sus servicios es muy reducida. Un ejemplo de ello es la construcción de digestores de biogás para producir electricidad. Ya que por lo general los digestores pueden fabricarse con materiales locales, esta etapa se logra fácilmente. Sin embargo, debido a que los países en desarrollo se ven obligados a importar motores pequeños para emplear el metano producido, con frecuencia dichos proyectos se estancan en esta etapa por la falta de divisas.

Los mercados para las tecnologías de energía renovable tienen literalmente que crearse para permitir que las economías de escala pongan al alcance de la mayoría de los ciudadanos los equipos individuales. Por desgracia, los empresarios nacionales vacilan en ingresar al proceso de fabricación, a menos que encuentren incentivos razonables y ayuda competente y confiable de las instituciones nacionales de investigación y desarrollo experimental. Para muchos países es difícil disponer del capital para asegurar incentivos atractivos, y las instituciones tecnológicas no cuentan con los medios para abordar de manera expedita los problemas prácticos del mercado. En realidad, esto significa que generalmente existe una demanda local insuficiente para garantizar inversiones considerables en las iniciativas energéticas nacionales; así, los obreros nacionales no tienen suficientes oportunidades para experimentar, construir y aprender. Puede que ciertas personas de espíritu aventurero ideen o prueben algunos prototipos; pero la aceptación general en escala nacional de nuevas tecnologías energéticas parece estar todavía muy lejos. Sin la aceptación de los consumidores, las tecnologías de energía renovable seguirán siendo rarezas del extranjero, con perspectivas limitadas para realizar buenos negocios nacionales.

Para los pequeños países en desarrollo es difícil adquirir los materiales especiales necesarios para adaptar los equipos a esas tecnologías. Por tanto, terminan comprando unos cuantos prototipos que, finalmente, resultan demasiado caros, no competitivos e inadecuados para los usuarios nacionales. Estas transacciones proporcionan muy poca capacidad tecnológica. Generalmente, en estas circunstancias, la desilusión se apodera de los tecnólogos nacionales, quienes con frecuencia terminan convirtiéndose en representantes locales de ventas de las empresas extranjeras.

### *Infraestructura nacional débil*

Hace muy poco tiempo que la energía ocupa el centro de la atención nacional en los países en desarrollo. La mayoría de esos países respondió con

mucha lentitud a los efectos de la crisis del petróleo que se precipitó en 1973. Su limitado conocimiento tecnológico y sus lerdos sistemas de información no fueron suficientes para comprender cabalmente el cambio fundamental que había ocurrido en la escena industrial internacional. Sin embargo, diversas organizaciones multilaterales se aferraron a la nueva oportunidad para demostrar su utilidad y, como era de esperarse, popularizaron la necesidad de contar con tecnologías alternativas para remplazar los sistemas de energía convencionales. Esta idea se filtró a los países en desarrollo y gran número de gobiernos empezó a tomar en serio a la energía. A finales del decenio de los setenta, cuando se comprendió que las infraestructuras instaladas para la energía convencional eran ineficaces para manejar el desarrollo de la energía no convencional, se establecieron diversas divisiones y departamentos de energía. En la actualidad, muchas de esas instituciones siguen siendo rudimentarias. Por un lado, se crearon instituciones nuevas para abordar el problema de la energía; por otro, las instituciones existentes, para ahorrar divisas y atraer apoyo financiero, empezaron a dar importancia a cuestiones relativas a nuevas fuentes de energía. Esto produjo gran confusión y duplicación. Este tipo de enfoque no coordinado de los problemas energéticos ha creado infraestructuras disgregadas y fragmentarias, carentes de masas críticas adecuadas, y ha provocado una duplicación innecesaria y rivalidades ruinosas.

En la mayoría de los países en desarrollo todavía no se ha encontrado la forma de encauzar juiciosamente las escasas capacidades en el campo de la energía y así crear el equipo de trabajo multidisciplinario necesario para dominar las tecnologías existentes y para crear otras adecuadas a las condiciones locales. Por ende, cada país en desarrollo tiene que formular un plan de energía debidamente pensado para utilizar a cabalidad las entidades tecnológicas existentes de una manera coordinada. Debido a que el enfrentamiento con los problemas de la energía es un hecho reciente en la mayoría de los países en desarrollo, es comprensible que las estructuras para abordar esas cuestiones aún sean débiles. Como se espera que la gravedad de la situación energética mundial se prolongue durante algún tiempo, sería prudente que los países con una infraestructura débil consideraran la elaboración de planes a largo plazo para mejorar sus sistemas, mediante la capacitación en áreas bien seleccionadas dentro del ámbito de sus necesidades tecnológicas.

### *Escasez de mano de obra tecnológica*

Una infraestructura tecnológica funcional dependerá de la disponibilidad de personal adecuadamente adiestrado. Sin embargo, la mayoría de los países en desarrollo padece una carencia desesperante de individuos bien adiestrados, en especial en el campo de la energía. Durante las últimas décadas, los líderes de los países en desarrollo prestaron tan poca atención a las tendencias tecnológicas en el campo de la energía, que ésta recibió muy poca atención en comparación con otras áreas. En consecuencia, es más difícil encontrar capacidad intelectual en

el campo de la energía que en otros, como el agrícola o la mineralogía. Además, es tan amplia la gama de habilidades que se requieren para abordar problemas tan diversos como el del aprovechamiento de la energía solar para calefacción, refrigeración y generación de electricidad, o el del desarrollo de la biomasa para obtener energía doméstica y comercial, que no se encuentra al alcance inmediato de las naciones pobres. Debido a que algunas de estas tecnologías para nuevas fuentes energéticas requieren una investigación intensiva, resulta prudente que los países en desarrollo renuncien a los aspectos de investigación del desarrollo energético a cambio de los aspectos relacionados con la adaptación, demostración, manufactura e instalación de los equipos que se emplean en esos sistemas. Por desgracia, también hay escasez de capacidades técnicas y de ingeniería para emprender estas tareas relativamente simples. Por esta razón, es muy frecuente que los gobiernos se impacienten con su propia capacidad tecnológica y, en lugar de apoyarla y alentarla, la suplan con sistemas tecnológicos traídos del exterior. Esto, sin duda alguna, no contribuye a fortalecer la capacidad tecnológica nacional y, en cambio, desalienta las iniciativas de innovación locales.

Un problema fundamental para la generación de la mano de obra especializada que se requiere para la investigación y la aplicación de nuevas tecnologías energéticas es la endeble situación de la enseñanza de la ciencia que se imparte en todos los niveles de los sistemas educativos de los países en desarrollo. Y esto es mucho más evidente en la enseñanza de las ciencias físicas y de ingeniería, que forman las bases de muchas tecnologías para fuentes alternativas de energía. En consecuencia, la mayoría de los científicos y tecnólogos, que tan urgentemente se necesitan para expandir y reforzar las infraestructuras nacionales, tendrá que importarse a un costo que en la actualidad resulta prohibitivo para los estados pobres.

Así aunque existen oportunidades disponibles de adiestramiento en el extranjero, son pocas las personas calificadas en el campo de la energía que las aprovechan, y quienes se han beneficiado con dichas oportunidades generalmente se han especializado en teorías o en aplicaciones de nuevos conceptos sobre energía para problemas de climas templados que, en algunos casos, se oponen totalmente a las condiciones de las regiones tropicales. En un medio templado, por ejemplo, se da más importancia a la calefacción solar que a la refrigeración solar.

Además, muchos profesionales graduados en el exterior se desilusionan y se tornan improductivos al volver a su país, pues descubren que su capacidad recién adquirida no se toma en consideración y, en cambio, el gobierno busca tecnologías y expertos extranjeros para resolver problemas nacionales de los que ellos podrían hacerse cargo con toda competencia.

La mano de obra reclutada para fomentar la aplicación generalizada de medidas de conservación de energía para llevar a cabo estimaciones y controles energéticos para estudiar las leyes expeditas con la intención de adecuar la oferta a las necesidades, o simplemente para dar salida al papeleo burocrático, agota literalmente el reducido número de expertos nacionales en energía con que cuentan los países en desarrollo y, por ende, quedan muy pocas personas para hacer

el trabajo más práctico. Tal parece que, mientras se ponen en práctica planes para adquirir la capacidad a largo plazo, será necesario un alto nivel de cooperación regional e internacional para suministrar la mano de obra, especializada en energía, que se requiere a corto plazo.

Contar con una capacidad de fabricación nacional de equipos para aprovechar fuentes energéticas nuevas y renovables contribuiría con mucho a estimular las capacidades de IDE apropiadas. Esta capacidad puede impulsarse entre las instituciones de los sectores privado y público que tengan más claro el objetivo de crear un mercado para tales equipos; de esta manera, se podría afectar, lentamente, la dependencia nacional con respecto al petróleo. Tal capacidad de manufactura tendría que lograrse con factores nacionales: herramientas y matrices, capacidad de manejo de materiales y el capital de riesgo que pudiera obtenerse. Para que surgiera una capacidad manufacturera razonable, los bancos y otras instituciones financieras nacionales tendrían que asumir sus responsabilidades para impulsar este aspecto de la competencia tecnológica nacional y, por su parte, los escasos ingenieros y técnicos capaces tendrían que considerar que el trabajo en el campo de la energía constituye una forma de compromiso nacional.

### *Información insuficiente*

La crisis de los energéticos hizo que muchos países en desarrollo descubrieran que tenían poca idea de la extensión de sus recursos naturales, de su capacidad industrial y de su mano de obra técnica. En concordancia con lo anterior, su comprensión de las tendencias tecnológicas que afectaban su futuro fue muy lenta. De manera simplista, permanecían confinados a unos cuantos canales de información internacional y dependían casi totalmente de la parte de información que les hacían llegar unos cuantos centros. Sabían más con respecto a los países en los que se localizan esos centros que acerca de las naciones que sufrían problemas de energía similares a los propios. Asimismo, la mayor parte de lo que estos países sabían acerca de su potencial energético provenía de estudios que habían realizado intereses extranjeros. La información ahí reunida estaba invariablemente divorciada de las necesidades socioculturales de la parte más numerosa de la población. Generalmente se recopilaba meticulosamente la información concerniente a los centros urbanos y a grandes empresas mientras que se ignoraba gran cantidad de la relacionada con la agricultura y la mayoría de la población, que en buena parte de los casos luchaba día con día para apenas sobrevivir. Esto resultaba muy inconveniente, si se considera que los países en desarrollo dependen sobre todo de economías agrícolas.

Puesto que el potencial energético y las necesidades de la mayoría de los países en desarrollo se desconocen en gran parte, a menudo los proyectos de IDE se diseñaban y emprendían sobre bases arbitrarias. La mayoría de estos proyectos se iniciaba porque habían adquirido respetabilidad en otras partes; otros se emprendían porque se les proclamaba como importantes para las sociedades pobres. En consecuencia, algunos de los métodos adoptados por tales razones, y

que habían alcanzado etapas avanzadas de madurez, tenían poca aceptación y utilidad locales, lo cual afectaba la imagen de las instituciones nacionales de IDE dedicadas a la energía y el apoyo de que gozaban. Ejemplo de ello es el intenso trabajo que se inició con los sistemas de energía eólica, antes de determinar si las características del viento eran adecuadas para aplicar dichos sistemas. Esto provocó que se abrigaran falsas esperanzas en ciertas áreas rurales, donde se pensó que pronto estaría disponible la energía renovable para el riego.

Sin una información detallada acerca de, por ejemplo, los niveles de insolación, los parámetros del viento, el potencial geotérmico, los inventarios forestales y otros datos similares, el interés tecnológico nacional puede orientarse erróneamente y verse sujeto a los antojos y caprichos de unos cuantos. Además, la carencia de conocimiento público y privado acerca de la evolución en el campo internacional de la energía, en especial respecto de los éxitos comprobados, evitará que se reconozca cuáles son las nuevas opciones adecuadas, las que requieren modificaciones menores para aplicarse útilmente en la localidad.

Otra pesadilla que acosa a los países en desarrollo es la plétora de tipos y modelos de sistemas de energía renovable que se han desarrollado en los países industrializados y que se introducen subrepticamente en los estados en desarrollo. Muchos de ellos son difíciles de adaptar a determinado uso en otras regiones y, generalmente, los países en desarrollo no disponen de la información precisa necesaria para hacerlo. Por ende, se eligen muchos sistemas inadecuados que tienden a frustrar la aceptación de otras aplicaciones razonables.

Debido a que la mayoría de los países en desarrollo se encuentra en la zona tropical o semitropical, se supuso acertadamente que los sistemas de energía solar serían muy útiles para ellos. Esto se confirmó rápidamente, ya que se encontraron aplicaciones útiles en muchos países en desarrollo para la calefacción, la destilación y el secado solares, lo cual llevó a que se promovieran centros de energía solar que hacían hincapié en la electricidad solar. No obstante, las inversiones en electricidad solar tienen que evaluarse tomando como parámetros los antecedentes de la aplicación descentralizada, precisa y limitada, de esta tecnología. En verdad parece que se han subestimado de manera excesiva la complejidad y el grado de avance científico y tecnológico que se requieren en esta área de trabajo. En este caso, el desarrollo de la capacidad tecnológica exige inversiones que sólo unos pocos países petroleros en desarrollo parecen dispuestos a hacer.

En los países en desarrollo, muchas personas empiezan apenas a comprender que existen fundamentalmente dos tipos de tecnologías para fuentes de energía renovable: un conjunto que es tecnológicamente simple, pero socialmente complejo, y otro conjunto que es tecnológicamente complejo pero socialmente simple y caro.

### *Administración inadecuada*

Generalizar el uso de las tecnologías para energía renovable que parezcan tecnológicamente simples, como las que emplean la biomasa, demanda cierta ca-

pacidad de manejo social y cultural. Por desgracia, los niveles de organización, disciplina y capacidad en materia de ciencias sociales, necesarios para un despliegue eficaz en distintas comunidades, no se encuentran presentes en la mayoría de los países en desarrollo. Estas carencias han conducido a muchos fracasos en la operación de las tecnologías del biogás y de la energía dendrotérmica en los países en desarrollo.

Llevar a cabo adecuadamente la selección de nuevas tecnologías energéticas, su administración y mantenimiento, es indispensable para que se empleen con éxito en la mayoría de los lugares. Si ello no se logra pueden ocurrir fracasos, que suelen atribuirse al desarrollo defectuoso de esos métodos, y que obedecen a una capacidad tecnológica no confiable. Esta situación desconcertante desmoraliza tanto a tecnólogos como a usuarios, y debilita aún más el impulso tecnológico. Las instituciones de IDE necesitan desesperadamente que se reconozca en el país su progreso. Unos cuantos éxitos reconocidos ayudarían mucho a estimular el apoyo público tan buscado y a inculcar confianza en los trabajadores nacionales.

#### *Prioridades nacionales de IDE mal seleccionadas*

Resulta temerario para las sociedades pobres depender exclusivamente de los centros tecnológicos más avanzados para adquirir tecnologías sobre fuentes energéticas alternativas. Esto no sólo impediría lograr un control nacional adecuado sobre una materia tan importante para el desarrollo, sino que las grandes empresas, en busca de nuevas tecnologías, se interesan sobre todo en las que ofrecen mayor atractivo comercial. Con toda seguridad, las tecnologías de una aplicabilidad limitada pero específica para los sectores pobres, o no comerciales, de muchos países en desarrollo se verán desatendidas. Esto les ofrece a los investigadores nacionales dedicados a la IDE la oportunidad de establecerse por su cuenta. Desgraciadamente, muchos prefieren formar parte de las tendencias energéticas en boga antes de buscar tecnologías para los menos privilegiados. Así pues, desprecian un campo en el cual podrían hacer contribuciones significativas y valiosas y ganar cierto respeto nacional, para optar por empleos que los coloquen en una desventaja comparativa. Su capacidad tecnológica tendría más oportunidad de expandirse si los científicos y los tecnólogos de los países en desarrollo se concentraran en tecnologías energéticas científicamente simples que pudieran proporcionar un alivio inmediato a sus acosadas comunidades. Las tecnologías como la generación de biogás y alcohol, y el aprovechamiento de las minihidroeléctricas y la energía eólica, podrían emplearse provechosamente para proporcionar energía doméstica para cocinar, secar y lavar, así como para suministrar combustible para herramientas y motores pequeños, sin dejar de vigilar estrechamente al mismo tiempo la evolución de, digamos, la electricidad solar, la de las mareas oceánicas, y la fotosíntesis. Esto no significa que deba desalentarse el trabajo en tecnologías complejas que requieren mucha investigación que pudiera realizarse de manera conveniente en el país, sino que este tipo de com-

promisos debe emprenderse después de un examen cuidadoso y conforme a un plan definido para utilizar los resultados generados por dicha investigación.

Este enfoque se vería muy impulsado por la cooperación y la coordinación entre países con problemas semejantes y que tienen en mente soluciones similares. En la región del Caribe, por ejemplo, ciertos tipos de IDE en la energía son más adecuados para ciertos territorios debido a sus dotaciones de recursos. Por lo tanto, la cooperación debería consistir en una estrategia para solucionar las limitaciones de recursos y de mano de obra.

### *Asistencia condicionada*

Aunque muchos de los impedimentos para alcanzar la capacitación tecnológica en el campo de la energía pueden considerarse internos, algunos son de origen claramente externo. La ayuda condicionada es uno de esos obstáculos.

Para la mayoría de los países en desarrollo, la asistencia técnica parece ofrecer las mejores posibilidades para cambiar de la excesiva dependencia del petróleo a cierta mezcla de combustibles fósiles y fuentes alternativas de energía, y así poder hacer frente a las crecientes demandas. Se está considerando la posibilidad de un cambio del petróleo por carbón natural para las operaciones industriales pesadas, y se espera que podrá confiarse más en las tecnologías de energía renovable para aplicaciones de bajo consumo energético en los sectores descentralizado y doméstico. Estos dos enfoques exigen contar con capital, por lo que la ayuda o las disponibilidades de crédito exteriores se ven como requisitos necesarios para el éxito. Por desgracia, la mayor parte de la asistencia técnica o ayuda extranjera que se ofrece incluye, a menudo, ciertas exigencias para los países en desarrollo; exigencias que, en ocasiones, no son muy favorables a sus intereses. Como ejemplo, puede citarse la tendencia de las instituciones de ayuda occidentales a proporcionar asistencia primordialmente al sector privado de los países receptores, con lo cual desalientan la participación del sector público. Esta práctica provoca trastornos en el campo de la energía en la mayoría de los países en desarrollo, porque la mayoría de los inversionistas privados no tiene ni desea tener capacidad técnica en materia de energía. El gobierno es casi el único organismo con la disposición y la capacidad para correr los riesgos necesarios para fortalecer la capacidad tecnológica nacional en ese campo.

Hace poco se expuso abiertamente en Jamaica el grado al que se ha llevado la nueva tendencia de la asistencia, cuando una institución de ayuda de una de las naciones más ricas organizó un seminario, junto con empresas jamaicanas del campo de la energía, supuestamente para estimular la actividad tecnológica nacional en el desarrollo de la energía renovable. En realidad, el resultado fue la incursión de unas veintiséis firmas extranjeras, todas ellas con intenciones de vender los mismos paquetes de tecnología a los incautos jamaicanos. Esencialmente, no había ninguna transferencia de conocimiento tecnológico que justificara el esfuerzo jamaicano para copatrocinar el seminario. Este tipo de bombardeo concentrado de ventas conjura literalmente la idea de que la IDE nacional resul-

ta innecesaria en el campo de la energía. Los gobiernos de los países en desarrollo tendrán que comprometerse totalmente con el desarrollo energético nacional y deberán establecer cierta forma de control sobre la importación de tecnologías energéticas extranjeras para permitir que los esfuerzos nacionales tengan éxito. Sin esto último, las instituciones tecnológicas que se afanan por progresar desaparecerán gradualmente.

### *Falta de coordinación entre los organismos multilaterales*

Los organismos multilaterales tienen la clara propensión a dejarse llevar por las tendencias tecnológicas para conservar su importancia institucional. No obstante, esto se convierte en una pesadilla para los países con infraestructuras débiles y mano de obra insuficiente. A medida que se populariza un campo de la energía, casi todos esos organismos cambian rápidamente su enfoque para así proporcionar asistencia en este campo. La plétora de buenas instituciones simplemente confunde a los funcionarios de los países en desarrollo. Aparece la duplicación de esfuerzos y abunda la confusión. En lugar de ayudar, muchos de esos esfuerzos se convierten en obstáculos, cuando cada organismo trata de superar al otro.

### **Conclusión**

Cada día se reconoce de modo más general que el fortalecimiento de la capacidad tecnológica de los países en desarrollo es indispensable para el desarrollo nacional. Sin embargo, la carencia de tradición científica, la dependencia tecnológica, las limitaciones financieras, la escasez de mano de obra tecnológica y la insuficiencia de información actual, junto con la presión que ejercen las instituciones de ayuda y las corporaciones tradicionales para que se compren tecnologías extranjeras, están oponiendo grandes obstáculos a ese esfuerzo en la mayoría de los países en desarrollo.

Se pone de manifiesto la necesidad de una administración gubernamental osada e imaginativa para crear el clima y los mercados que alentarían la investigación y el desarrollo experimental nacionales y movilizarían el apoyo dentro del sector privado para ese imperativo nacional.

Los tecnólogos locales tendrán que ser, a la vez, más agresivos y más selectivos en sus actividades, que tanto necesitan de éxitos tangibles para obtener el apoyo público nacional. Abordar las exigencias de energía de los más necesitados en esas sociedades constituye un buen punto de partida, porque la competencia de intereses extranjeros en ese renglón es menor y no es probable que llegue a ser importante, en comparación con los aspectos más comerciales de la investigación sobre energía.

La debilidad de los países en desarrollo en cuanto a la capacidad tecnológica relacionada con la energía no es más que una extensión claramente manifies-

ta de la debilidad tecnológica general que acosa a todos los países pobres. La corrección de este defecto nacional depende de que se lleven a cabo cambios profundos y fundamentales en las estructuras y relaciones tecnoeconómicas tanto mundiales como nacionales.

## FORTALECIMIENTO DE LA INVESTIGACION Y LAS CAPACIDADES LOCALES PARA LA TECNOLOGIA ENERGETICA EN LOS PAISES EN VIA DE DESARROLLO<sup>1</sup>

*Charles Weiss*

El mayor precio de los combustibles fósiles y la amenaza de deforestación representan un enorme desafío para los países en vías de desarrollo, y un elemento importante de su respuesta a tal desafío consistirá en la movilización de la tecnología para el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables. Con las fuentes de energía renovables se logrará más que economizar las escasas divisas extranjeras al substituir las importaciones de combustible, cada vez más costosas. Este tipo de energía no sólo seguirá siendo la principal fuente de combustibles de uso doméstico para las mayorías pobres, sino que también proporcionará energía para el desarrollo en formas que resulten menos costosas y más eficaces y apropiadas que las importaciones de combustibles caros.

En su afán de recurrir más a fuentes de energía renovables, los países en desarrollo tropiezan con tres obstáculos: primero, se enfrentan a una tecnología en rápida evolución, ya que en la época en que se disponía de petróleo barato toda la atención se centró en tecnologías de combustibles fósiles, y se descuidó la tecnología para fuentes renovables de energía. Segundo, deben elegir, para una extensa gama de aplicaciones, entre tecnologías de complejidad muy variable desde celdas fotovoltaicas hasta hornos de arcilla y reservas de leña en aldeas. Tercero, muchas de las tecnologías en proceso rápido de cambio, y con las cuales deben familiarizarse, fueron desarrolladas para satisfacer necesidades distintas a las suyas.

Gran parte del avance tecnológico requerido para aplicar en la práctica las fuentes de energía renovables en los países en desarrollo, provendrá de los esfuerzos de empresas públicas o privadas en los países industrializados y en los países en vías de desarrollo más avanzados. Estas empresas responden ya a la nueva economía energética utilizando materiales modernos y adoptando princi-

<sup>1</sup> Adaptado de *Mobilizing Renewable Energy Technology in Developing Countries: Strengthening Local Capabilities and Research* (Washington, D. C.; Banco Mundial), julio de 1981.

pios establecidos de ingeniería para mejorar las tecnologías descuidadas y desarrollar otras nuevas.

Una vez probadas estas tecnologías, quedarán a disposición de los países en desarrollo a través de los canales comerciales normales. Sin embargo, la experiencia demuestra que la tecnología importada desde las naciones industrializadas rara vez corresponde exactamente a las necesidades de los países en desarrollo; exige grandes cambios de escala y una adaptación considerable para ajustarse a las condiciones locales. Esto se aplica incluso al sector moderno de las economías en desarrollo. Muchas tecnologías con grandes posibilidades de empleo en los países en desarrollo, sólo se han probado en ellos en un grado mínimo. En todo caso, con frecuencia dicha tecnología rebasa los recursos de la gente pobre de estos países, y es poco probable que sus necesidades particulares atraigan a la inversión del sector privado en tecnología innovadora.

Por tales motivos, muchas de las tecnologías necesarias en los países en desarrollo se elaborarán o adaptarán localmente, o bien serán transferidas de otros países en desarrollo. Su aplicación generalizada puede lograrse mediante dos pasos de gran importancia: mejorar o adaptar dichas tecnologías, y estructurar dentro de los países en vías de desarrollo la capacidad para emprender esas mejoras y aplicarlas con eficacia. Estas dos tareas requieren de capacidades en materia de ingeniería y en las ciencias naturales y sociales por igual; exigen la aptitud de evaluar necesidades y recursos, y la habilidad para elegir, adaptar y crear las tecnologías necesarias, así como la de establecer instituciones adecuadas para fabricarlas, comercializarlas y distribuir las.

### Formación de la capacidad para movilizar tecnología en fuentes de energía renovables en los países en desarrollo

Ya que para aprovechar los recursos energéticos renovables puede utilizarse gran cantidad de técnicas de diversos niveles de complejidad, siempre habrá algún grado de capacidad tecnológica local en este campo al alcance de cada uno de los países en desarrollo. Algunos ya están planificando y poniendo en práctica grandes programas multisectoriales integrales para la explotación de recursos energéticos renovables. Estas naciones aspiran al liderazgo en áreas que requieren una base industrial y tecnológica muy importante como la producción de combustible de etanol a partir de biomasa. Otros países pueden encontrar más apropiado concentrarse en la adaptación y difusión de tecnologías más sencillas y menos costosas, tales como las de estufas de uso doméstico y biogás.

La gama de requisitos para movilizar la tecnología en fuentes de energía renovables es muy amplia porque esta movilización implica muchas actividades interrelacionadas: es necesario sondear los recursos, evaluar las necesidades, revisar la tecnología existente y ajustarla a los recursos y necesidades nacionales, y emprender la investigación para desarrollar y adaptar tecnologías. Deberán luego demostrarse las tecnologías así desarrolladas, y habrá que tomar medidas para alentar su manufactura, comercialización y difusión local, eliminando los obstáculos que para ello se presenten. Según la tecnología, esta comercialización

y difusión puede abarcar a empresas privadas o públicas, servicios públicos, servicios gubernamentales de extensión u organizaciones no gubernamentales para el desarrollo comunitario. Asimismo, deberán establecerse políticas con respecto a los elementos económicos y socioculturales que afecten el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, incluidos los incentivos para su uso. Lo ideal sería que el uso de fuentes renovables de energía se tomara en consideración al integrar una política energética general, que cubriera sectores tales como la agricultura, la industria, el desarrollo urbano y el transporte.

Este enfoque global del desarrollo tecnológico estimularía a todo tipo de instituciones, desde las que integran la infraestructura científica y tecnológica —universidades, laboratorios gubernamentales, servicios de extensión y similares— hasta los grupos de ingeniería que trabajan para determinados ministerios o para empresas industriales públicas o privadas, así como a organizaciones de consultoría y de ingeniería, en combinaciones que dependerán de la tecnología que se esté desarrollando, evaluando o promoviendo. También podrán participar organizaciones no gubernamentales activas en el desarrollo comunitario, grupos de estudio de recursos, departamentos de análisis de los ministerios de energía o planificación y particulares. Será necesario lograr un equilibrio adecuado entre los esfuerzos para estimular la innovación y adaptación tecnológicas y los orientados a difundir la tecnología y fomentar su empleo.

Durante los últimos años se ha puesto a disposición de los países en desarrollo, gracias a programas bilaterales y multilaterales, un monto creciente de ayuda financiera y técnica para el desarrollo de recursos energéticos renovables. Los programas bilaterales muestran una preferencia creciente por la asistencia en este campo, aun cuando varían considerablemente en lo que respecta a organización, financiamiento y desarrollo del programa. El Banco Mundial ha aumentado sus préstamos para proyectos sobre el uso de maderas como combustibles así como para el desarrollo de otras fuentes de energía renovable. Por su parte, los bancos para el desarrollo regional también están ampliando su apoyo a estas fuentes de energía. Hoy en día casi todos los principales organismos especializados del sistema de las Naciones Unidas cuentan con programas para fuentes de energía renovables, y las comisiones regionales también prestan a esta área una atención creciente.

La mayoría de los países en desarrollo recibe asistencia en virtud de uno o más de estos programas. Sin embargo, los programas actuales de asistencia no siempre reconocen la importancia crucial de crear una capacidad local para el desarrollo de fuentes de energía renovables. No se ha dedicado suficiente atención al análisis de necesidades, al desarrollo de capacidad local para investigar el efecto tecnológico, social y económico de los recursos energéticos renovables, o a la planificación para el aprovechamiento generalizado de estas tecnologías. Asimismo, se ha descuidado la creación de instituciones y mecanismos locales para comercializarlas. Con frecuencia se considera que los proyectos específicos constituyen un fin por sí mismos, y no un medio para asegurar, mediante pruebas, evaluaciones y adaptaciones exhaustivas, el empleo generalizado de las tecnologías en el país.

Los programas de ayuda bilateral para el desarrollo de recursos energéticos renovables son relativamente nuevos y continúan evolucionando. En el pasado, la mayoría de estos programas estaba encaminada a demostrar el equipo básico desarrollado en los laboratorios y empresas del país donador. Algunos países donantes han tratado de aprovechar la ayuda para crear, en los países en desarrollo, mercados de exportación para sus propias industrias. Por otra parte, la mayoría del trabajo de investigación se realiza en el país de origen. Las tecnologías no están diseñadas para las condiciones del país en desarrollo; antes bien, parecería que muchas características del proyecto se escogieron para exhibir y probar las tecnologías en circunstancias particularmente favorables. Sin embargo, ahora que han adquirido experiencia en materia de fuentes de energía renovables, los organismos bilaterales parecen reconocer cada vez más la importancia de crear una capacidad local.

La asistencia externa debería centrarse en fortalecer las capacidades nacionales para optimizar la investigación, el desarrollo y la utilización de fuentes energéticas renovables, en el contexto de una estrategia energética general. Para ayudar a determinar los objetivos del apoyo internacional, recomendamos un programa de evaluación en cada uno de los países, que identifique las áreas en donde más apoyo necesitan las capacidades técnicas nacionales.

### Tecnologías de fuentes energéticas renovables orientadas hacia las necesidades de los países en desarrollo

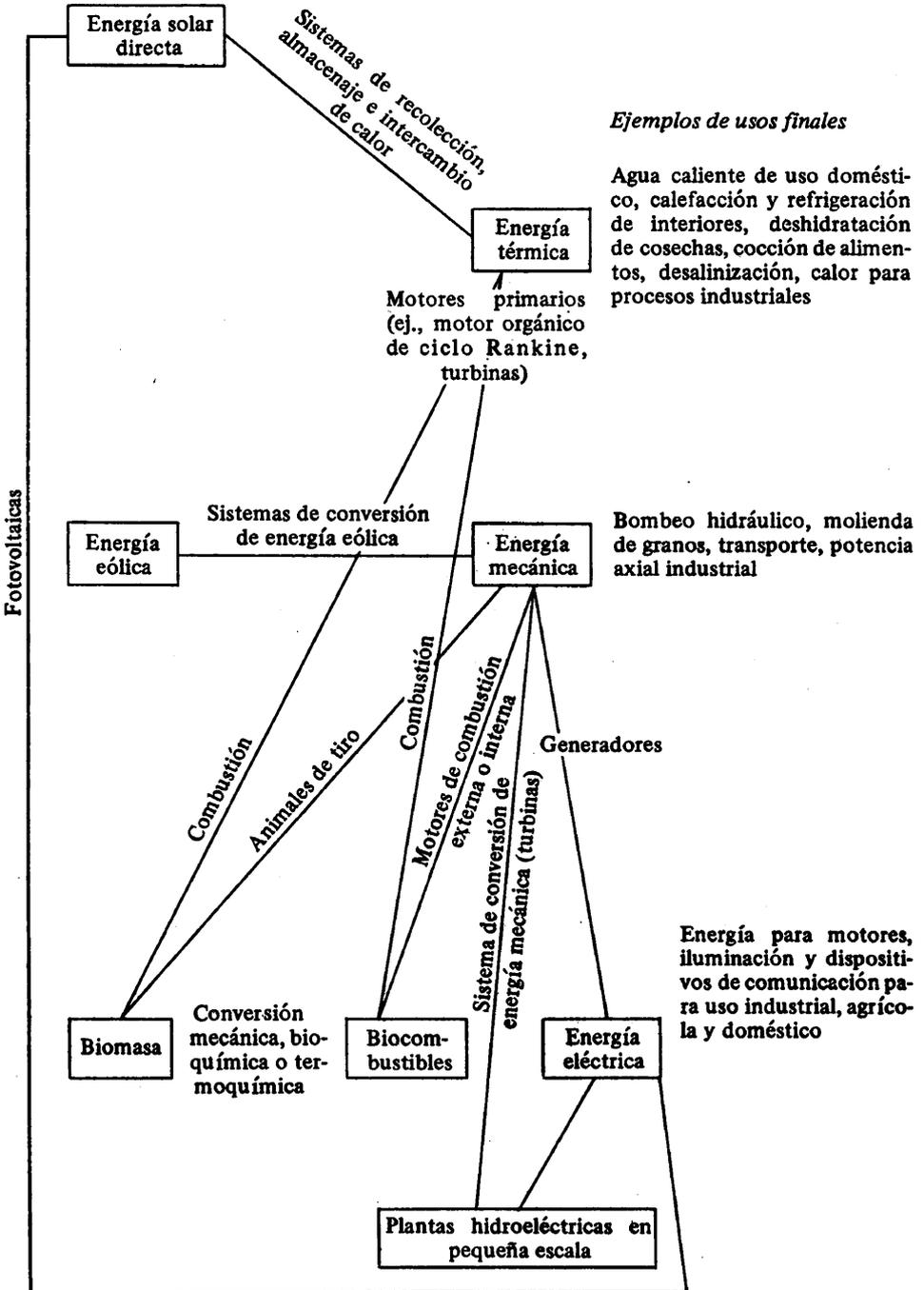
Con la ayuda de asesores, hemos revisado el panorama general de la producción y uso de biomasa para energía primaria, así como la potencialidad para el desarrollo de biomasa mediante la investigación. También hemos analizado la amplia gama de tecnologías existentes (muchas de ellas en uso desde hace siglos) para convertir recursos energéticos primarios renovables—incluida la biomasa—directamente en calor, energía mecánica y eléctrica, y formas convenientes de combustible (gases y líquidos).

Los recursos renovables pueden proporcionar energía para una gran variedad de aplicaciones en los sectores doméstico, agrícola, industrial y de transporte de los países en desarrollo. Todos estos sectores requieren de energía utilizable en la forma de calor, potencia mecánica o electricidad. En la figura 1 se sintetizan las principales sendas para convertir los recursos renovables (biomasa, solares, eólicos e hidroeléctricos) en estas formas de energía. Los sistemas de energía renovable pueden utilizarse como unidades independientes, o combinados entre sí o con sistemas de combustibles fósiles. Por ejemplo, un sistema de conversión eólico-eléctrico puede usarse solo o en combinación con generadores diesel o solares.

De los recursos energéticos que incluye la figura 1, la biomasa merece consideración especial debido a su importancia actual y a su potencialidad en los países en desarrollo. Cerca de 70 por ciento de la población del mundo en vías de desarrollo—unos 2 000 millones de personas— depende hoy en día de la bio-

Figura 1

# PRINCIPALES RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES Y SUS APLICACIONES PARA LOS PAISES EN DESARROLLO



masa (en forma de madera, residuos agrícolas y desechos animales) para satisfacer su necesidad energética primordial: el combustible para cocinar. Además, la biomasa es una fuente de energía extremadamente versátil: no sólo puede satisfacer en su papel tradicional, las necesidades energéticas esenciales de los pobres, sino también muchas de las del sector moderno, cuando se transforma en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Pueden producirse, por ejemplo, sustitutos de la gasolina a partir de la biomasa, ya sea por fermentación y destilación de azúcares vegetales para reducir etanol, por gasificación y licuefacción de madera para producir metanol, por pirólisis de madera y residuos de cosechas para producir gas, o por otros procesos de conversión termoquímicos. Pueden producirse combustibles de biomasa con procesos industriales de gran escala, o bien en pequeña escala para uso local. Por otra parte, estos recursos se encuentran desigualmente distribuidos en el mundo en desarrollo. Algunos países disponen de ellos en abundancia, pero en otros resultan escasos debido a las condiciones naturales (lluvia insuficiente, por ejemplo), o al abuso (por ejemplo, la deforestación).

### Tecnología agrícola para la producción de biomasa

Muchos países cuentan con abundante biomasa, pero su producción para fines energéticos puede entrar en conflicto con sus requerimientos agrícolas. Así pues, resulta esencial el desarrollo de tecnologías para producir biomasa que no compitan con los cultivos alimentarios o comerciales y que tengan éxito en condiciones difíciles, tales como suelos salinos o áridos, pantanos y laderas empinadas. Dichas tecnologías deberán también permitir la participación intensiva de mano de obra y ser adaptables a la producción de granjas pequeñas.

La energía de biomasa puede proceder de árboles, arbustos, semillas oleaginosas, pastos, raíces, cosechas, residuos agrícolas o plantas acuáticas (véase el cuadro 1). De las tecnologías actuales las únicas de interés tecnoeconómico a corto plazo son el cultivo de árboles para leña y el de ciertos "cultivos energéticos", sobre todo la caña de azúcar (y, en menor grado, la yuca y el sorgo dulce), para su fermentación y conversión en etanol. También se dispone de tecnología para producir aceite vegetal a partir de la palma de aceite y del girasol; sin embargo, aún falta dominar plenamente la tecnología para utilizar de modo habitual dicho aceite en lugar del combustible diesel. Por último, hoy en día se desperdician o utilizan ineficientemente grandes cantidades de paja y otros residuos agrícolas. Con las mejoras en los métodos de cosecha, densificación (compresión en forma de briquetas, peletización, etc.) y en las tecnologías de conversión, podrían usarse más materiales, y con más eficiencia, para fines energéticos.

Es urgente expandir y mejorar la investigación sobre el cultivo de árboles y cultivos energéticos para la producción de biomasa. Es necesario intensificar el trabajo en cada área, no sólo de investigación aplicada, como la actual, sino también de investigación biológica básica con objetivos concretos, que hasta ahora ha

tenido escasa aplicación en este campo. Todas estas líneas de investigación presentan a la comunidad científica el desafío de estimular la comunicación, colaboración y comparación de resultados entre todos los trabajadores implicados en la producción de biomasa, independientemente de sus orígenes disciplinarios o su filiación institucional, así como entre ellos y la comunidad de investigación agrícola en general.

### Arboles

La investigación sobre el cultivo de árboles en áreas tropicales se ha dirigido tradicionalmente hacia la selección de procedencias;<sup>2</sup> se eligen especies adecuadas a la producción industrial de artículos de madera y, en menor grado, especies que se adapten al control de la erosión y otros aspectos del manejo de suelos y cuencas. Durante los últimos años, algunos organismos están prestando más atención a la investigación sobre árboles de crecimiento rápido para leña, forraje, fruta y producción de postes, ya sea para formar bosques o reservas de leña para aldeas, o como parte de sistemas agrícolas para pequeños propietarios. Sin embargo, en general ha variado poco la dirección de la investigación silvícola, de modo que ésta no refleja la creciente preocupación de los países en desarrollo por el desarrollo forestal relacionado con la agricultura y la energía. En gran medida, el atraso en la atención a nuevas direcciones de la ciencia forestal puede atribuirse al financiamiento inadecuado de la investigación silvícola, un problema ya antiguo en gran parte del mundo en vías de desarrollo. Los cálculos preliminares indican que, hoy en día, estos países sólo reciben una ayuda anual de unos 10 millones de dólares para investigación forestal.

La dificultad para financiar la investigación forestal resulta comprensible a la luz de las apremiantes demandas sobre los recursos de los países en desarrollo. Empero, dondequiera que se ha emprendido, la investigación forestal orientada hacia la energía ha rendido enormes beneficios, pese a que se trata de una inversión a largo plazo. Los programas de mejoramiento de especies —por ejemplo, el trabajo con el ipil-ipil gigante (*Leucaena*) en Hawái, con el sauce (*Salix spp*) en Suecia y con el *Eucalyptus* en Australia— han aumentado los rendimientos en forma espectacular. Según indican las pruebas disponibles, los programas de mejoramiento pueden elevar el rendimiento por lo menos 10 por ciento en la mayoría de las especies, y de 15 a 20 por ciento en otras; por su parte, la investigación aplicada en forma de pruebas piloto para la introducción de especies exóticas puede multiplicar por veinte la cantidad de biomasa por hectárea que rinden los bosques naturales que se trata de sustituir. Así pues, parece haber poderosas razones económicas para intensificar la investigación forestal, y en particular la que se dedica a especies indígenas adecuadas para la producción de leña

<sup>2</sup>La procedencia es la fuente del material de plantación: por ejemplo, un área geográfica en particular.

Cuadro 1

CULTIVOS ENERGETICOS PROMISORIOS  
(EXCEPTO ARBOLES PRODUCTORES DE MADERA PARA COMBUSTION)

*Cósechas productoras de carbohidratos fácilmente fermentables*

	Uso	Especie	Ventajas	Necesidades de investigación
Plantas productoras de azúcar con combustible residual	Fermentación a etanol usando combustible residual para el procesamiento de energía	Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	Tecnología de producción bien conocida e investigada; tolera suelos pobres; convertidor relativamente eficiente de energía solar; producción de azúcar y fermentación autosuficiente para conversión a combustible.	Recolectar material genético en triángulo China-Assam-Burma; cultivar y probar variedades, y establecer régimen de cultivo para máxima biomasa; establecer servicio centralizado para registro, procesamiento y difusión de datos sobre variedades; seleccionar o desarrollar maquinaria y sistema para cosechar el total de biomasa.
		Sorgo dulce. ( <i>Sorghum vulgare</i> )	Convertidor eficiente de energía solar; temporada de crecimiento menor a la de caña de azúcar.	Realizar pruebas de campo en áreas donde el cultivo de caña de azúcar es difícil a causa de inviernos muy fríos o temporada seca prolongada; recolectar germen plasma.
Plantas feculentas con combustible residual		Palmera sagú ( <i>Metroxylon spp.</i> )	Tolera pantanos salobres; altos rendimientos.	Definir requisitos agronómicos; cruzar para una madurez más temprana y mayor contenido de almidones; tratar de cosechar antes; utilizar más luz incidente en los primeros años.

Plantas feculentas con poco combustible residual

Fermentación a etanol: requiere fuente de energía externa

Yuca (*Manihot utilissima*)

Cosecha generalizada en condiciones de subsistencia sobre suelos pobres; tolerante a las sequías; autoalmacenaje subterráneo.

Elevar rendimiento bajo regímenes que no sean de subsistencia; desarrollar sistemas para manejo en condiciones de cultivo a gran escala y de rotación con legumbres para conservar la fertilidad del suelo.

Calabaza "búfalo" (*Cucurbita foetidissima*)

Combinación de semilla oleaginosa y raíz feculenta; rendimiento aparentemente muy alto; natural de tierras áridas; los tallos son alimento de ruminantes.

Probar contra posibles competidores en una amplia gama de ambientes ecológicos; verificar requisitos de evapotranspiración.

Algarrobo (*Ceratonia siliqua*)

Crece en clima mediterráneo, sobre suelos rocosos sin ningún otro uso; requisitos agronómicos bien definidos.

Probar bajo condiciones similares en otras regiones.

Tamarindo (*Tamarindus indica*)

Resistencia a la sequía; crece en suelo rocoso pobre.

Recolectar germen plasma en Africa subsaheliana; probar las mejores variedades de la India bajo condiciones similares en otras regiones.

Tania (*Xanthosoma spp.*),  
Taro (*Colocasia esculenta*)

Tolera condiciones pantanosas.

**Cosechas productoras de carbohidratos fácilmente fermentables**

	<i>Uso</i>	<i>Especie</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Necesidades de investigación</i>
Plantas celulósicas y lignocelulósicas (leñosas)	Combustión directa (como combustible de cocina, para central de energía a base de combustión de madera); digestión a biogás, conversión a metanol/etanol	Paja	Disponible en cantidades abundantes.	Evaluar recursos; estimar costos de oportunidad a partir de otros usos (por ejem.: alimento para animales); desarrollar régimen a tecnología de cosecha, manejo y condensación en briquetas a escala y grados diversos de mecanización; análisis de productos; analizar costos en cada uno de los países; seleccionar pastos, especies y variedades.
		Pastos	Convertidores eficientes de energía.	
		Salado ( <i>Atriplex</i> )	Tolera muy alta salinidad; posible productor de proteína.	
Plantas productoras de hidrocarburos con subproductos menores	Combustible diesel	Asclepiades, vencetósigo ( <i>Euphorbia</i> )	Alto potencial genético.	Escasa investigación hasta la fecha.
		Neem ( <i>Azadirachta indica</i> )	Cosecha tradicional en la India.	Agronomía y selección casi inexistentes.
		Ricino ( <i>Ricinus communis</i> )	Su aceite puede usarse como combustible diesel.	Escasa investigación hasta la fecha; se inician actualmente trabajos en Brasil.
		Jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> )	Tolera la aridez y la salinidad; aceite de alto valor.	Investigar requisitos de irrigación; desarrollar métodos para la comercialización del aceite para cosméticos y productos farmacéuticos.

Con combustible residual

Palmera de aceite (*Elaeis quineensis*)

Tecnología bien conocida e investigada a fondo; utiliza tierra no adecuada para cultivos alimenticios; extracción autosuficiente para combustible; producción por pequeños propietarios con frecuencia resulta un éxito.

Comparar con otros cultivos en cuanto a potencial de producción de biomasa; probar como combustible diesel (no se requiere investigación agronómica especial).

Que también producen proteína

Cártamo (*Carthamus tinctoris*), Ajonjolí (*Sesamum indicum*), Girasol (*Helianthus annuus*)

Agronomía bien conocida; se ha realizado un importante trabajo sobre cruza de girasol; informes de que el aceite de girasol se usa como combustible diesel a escala comercial.

Desarrollar tecnología para refinar el aceite y emplearlo regularmente como diesel (no se requiere investigación agronómica especial).

Calabaza "búfalo" (*Cucurbita foetidissima*)

Véase arriba.

y forraje. Un estudio reciente de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos identificó unas sesenta especies de árboles y arbustos como fuentes particularmente prometedoras de leña en los países en vías de desarrollo.<sup>3</sup> Sin embargo, sólo unas cuantas se estudian actualmente en programas especializados de investigación.

Es preciso ampliar y reorientar en forma considerable la investigación forestal para desarrollar nuevas tecnologías, y así abordar los problemas de energía, protección de cuencas, ingeniería forestal agrícola y ecología. Dado el gran número de especies y la extensa variación en las condiciones locales, debería otorgarse prioridad al fortalecimiento de las instituciones nacionales, familiarizadas con las condiciones locales del suelo, la administración, el ambiente y la sociedad. En varias de las principales instituciones de los países en desarrollo ya se realizan investigaciones forestales orientadas hacia la energía; de igual manera, muchos centros de investigación en los países desarrollados cuentan con programas apropiados para los países en vías de desarrollo. Existe una evidente necesidad de ampliar y consolidar el trabajo realizado en estos últimos, y de formar lazos más fuertes entre sus instituciones y las de los países desarrollados. La investigación forestal a nivel internacional se halla mal coordinada, a pesar de los esfuerzos de la División Forestal de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) —unificadora de todas las actividades forestales mundiales— y del Consejo Forestal de la Mancomunidad Británica (Commonwealth Forestry Council), que coordina actualmente pruebas muy prometedoras sobre especies y procedencias.

La Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO) vincula a las instituciones de investigación en todo el mundo. Sin embargo, sus programas han resultado menos provechosos para los países en desarrollo que para los desarrollados. En una importante conferencia celebrada en Kioto, Japón, en septiembre de 1981, la IUFRO apoyó las conclusiones de un informe que prepararon el Banco Mundial y la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas,<sup>4</sup> donde se recomendaba expandir la investigación forestal en los países en desarrollo, mediante el fortalecimiento de las instituciones nacionales de investigación y de un programa sistemático de vinculación bilateral de estas instituciones con otras más fuertes que trabajan en campos prioritarios de investigación. El Banco Mundial ha declarado estar dispuesto a cooperar con la IUFRO y la FAO en el patrocinio de una reunión con países donantes para discutir las implicaciones financieras de un programa ampliado de investigación forestal.

Las instituciones dedicadas a otros campos también deben reconocer la prioridad de la investigación sobre el cultivo de árboles. La investigación sobre el uso

<sup>3</sup>National Academy of Sciences, *Firewood Crops* (Washington, D. C., 1980).

<sup>4</sup>*Forestry Research Needs in Developing Countries -Time for a Reappraisal?* (Banco Mundial/FAO, agosto de 1981, mimeo). El análisis sobre la investigación forestal de este estudio se apoya en dicho informe.

de las hojas de árboles leguminosos,<sup>5</sup> —de los cuales el *Leucaena* es un ejemplo— como fuente de forraje y fertilizante en granjas pequeñas debería recibir una alta prioridad de los laboratorios nacionales de investigación agrícola y de los centros internacionales fundados por el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). En este momento se llevan a cabo investigaciones básicas sobre los mecanismos y la ecología de la fijación biológica del nitrógeno en diversas instituciones de investigación agrícola, así como en universidades. Dichos programas deberían ampliarse para incluir a las especies productoras de biomasa, tanto leguminosas como no leguminosas. Muchas otras áreas de investigación biológica básica parecen tener posibilidades de elevar la productividad de los bosques; entre éstas se encuentra el estudio de las comunidades microbiológicas llamadas “mycorhiza” —que se adhieren a las raíces de las plantas— y de las enfermedades de los árboles causadas por virus, bacterias y hongos. Los modernos métodos de cultivo de células somáticas podrían acelerar notablemente el progreso de la investigación forestal.

### *Cultivos energéticos*

En el cuadro 1 se resume la clasificación de los principales cultivos energéticos. El más conocido es la caña de azúcar, sobre la cual se investiga desde hace más de un siglo. Su agronomía se conoce perfectamente, pero se requieren esfuerzos adicionales para recolectar información genética. Debe iniciarse un nuevo programa de mejoramiento genético, con el fin de maximizar la biomasa total; asimismo, debe evaluarse el potencial tecnoeconómico para cosechar la biomasa total de la caña de azúcar.

La investigación sobre la *yuca*, en cambio, es reciente, pese a que su agronomía se conoce muy bien. La investigación proviene, sobre todo, del interés del CGIAR en la yuca como cultivo de subsistencia, especialmente en las áreas propensas a sequías. La investigación actual, aunque dirigida primordialmente hacia la agricultura de subsistencia y la producción de almidón para fines industriales, resulta igualmente importante para la producción de biomasa. El cultivo de la yuca a menudo agota los suelos marginales sobre los cuales se encuentra, y la erosión que produce en las laderas puede ser grave. Si se piensa en crear plantaciones intensivas de gran escala, deberá prestarse especial atención a la investigación sobre sistemas de conservación de suelo.

### *Sorgo dulce*

Este es un tercer cultivo adecuado para producir etanol combustible mediante la fermentación de azúcar. Hoy en día se cultiva comercialmente, en una esca-

<sup>5</sup>Los árboles leguminosos, como otras leguminosas, poseen nódulos en sus raíces que hospedan bacterias simbióticas que fijan el nitrógeno del aire; son, por tanto, contribuyentes netos de nitrógeno para el suelo.

la limitada, en unos cuantos estados del sur de Estados Unidos. A pesar de sus características promisorias en este país se le ha investigado muy poco, y en Brasil sólo se le estudia desde hace unos pocos años. Es necesario recoger información genética, y llevar a cabo pruebas de campo en aquellas zonas donde su corto período de crecimiento le permite aventajar a la caña de azúcar.

Deben también emprenderse investigaciones sobre otras materias primas para la producción de etanol, entre las cuales se cuentan la calabaza de la especie llamada *búfalo*, el *algarrobo* y el *tamarindo*. Estas plantas han recibido relativamente poca atención de los investigadores; sin embargo, es necesario plantarlas para evaluar su rendimiento comparativo frente a otras posibles opciones, como las oleaginosas y los cultivos forestales. Pueden mostrar ventajas sobre la caña de azúcar o la yuca en condiciones ecológicas especiales. La potencialidad de la *palmera sagú*, para pantanos salobres, por ejemplo, resulta particularmente atractiva, pese a que aumentar la intensidad de este cultivo podría provocar problemas de salinización.

La situación de los cultivos *productores de hidrocarburos* es parecida: la agronomía de algunos (principalmente la *palmera de aceite* y el *girasol*) ha avanzado mucho; otros apenas se han identificado. En caso de que las pruebas demuestren que estos aceites pueden sustituir al diesel, podrán instalarse unidades piloto de procesamiento para las plantas más conocidas. Para las otras (especialmente las propias de ambientes áridos) se requerirán pruebas de rendimiento comparativo. Por desgracia, los trabajos publicados no dan suficiente información sobre consumo de agua, calidad y productividad de las plantas de terreno árido. Cualquier trabajo sobre ellas deberá incluir una evaluación de estos factores.

La explotación de la *paja* y el *pasto* silvestre seco requerirá, más que investigación, la prueba y selección de equipo adecuado para su cosecha y compresión en briquetas. Se utilizarían, en primer término, como material combustible, y en alguna etapa posterior, cuando se hubiera desarrollado la tecnología adecuada, podrían convertirse en otras formas de combustible. También será preciso realizar investigaciones para determinar si otras plantas pueden emplearse como la paja y el pasto silvestre; como ejemplos pueden citarse los *pastos cultivados* (incluida la caña de azúcar) y el caramillo. En muchos casos deberá investigarse la posibilidad de extraer y aprovechar su savia, rica en proteínas.

Resultará indispensable una selección preliminar para dilucidar si se justifican pruebas de campo con otras plantas. Deberán estudiarse algunas ya identificadas, tales como la "Babaçu" (*Orbignya spp*), *Caryocar*, copaiba (*Copaifera spp*) y *Jessenia*, para determinar si su potencialidad de rendimiento justifica realizar pruebas de campo. En el cuadro 1 se describen brevemente algunas de las especies más prometedoras.<sup>6</sup> También resultaría útil que los principales herbolarios llevaran a cabo un estudio para identificar especies adicionales.

<sup>6</sup>Véase también R. Reville, *Flying Beans, Botanical Whales, Jack's Beanstalk, and Other Marvels*, en *The National Research Council in 1978* (Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 1978).

## Tecnologías para la conversión y uso de los recursos energéticos renovables

Las tecnologías para convertir recursos renovables en energía pueden dividirse en dos grupos: la *conversión y uso de la biomasa*, y la *producción de energía térmica, mecánica y eléctrica a partir de energía solar directa, eólica e hidroeléctrica en pequeña escala*.

Un gran problema para los planificadores y posibles usuarios de estas tecnologías en los países en desarrollo consiste en cómo hacer la opción más adecuada entre procesos y equipos competidores y en decidir hasta qué punto tiene que fomentarse la manufactura local. Dicha tarea se dificulta aún más por la ausencia de normas, criterios sobre calidad y metodologías de evaluación establecidos, y en muchos casos se complica más todavía por la falta de datos confiables acerca de su funcionamiento en las condiciones típicas de los países en vías de desarrollo. La carencia de datos confiables en cuanto a funcionamiento y experiencias ya evaluadas resulta especialmente aguda en el caso de las tecnologías menos avanzadas.

En el caso de las tecnologías más sencillas, como las de estufas de cocina y molinos de viento con aspas, el problema principal estriba, por lo general, en la adaptación a las condiciones socioeconómicas y ambientales de la localidad, labor que hasta ahora han efectuado principalmente pequeñas organizaciones privadas en los países desarrollados y en desarrollo. Tales organizaciones suelen tener estrecho contacto con las necesidades de los pobres, sobre todo los de la región en que ellas operan. Empero, cuentan con escaso financiamiento, y se hallan también relativamente aisladas unas de otras, así como de las comunidades científicas y tecnológicas, del gobierno y del estado actual de la economía. Estas organizaciones de "tecnología apropiada" pueden y deben continuar desempeñando un papel importante y que sea compatible con sus capacidades. Necesitan sumas relativamente pequeñas para facilitar la investigación, colaboración, comunicación y desarrollo de metodologías de evaluación convencionales. Sin embargo, salvo algunas excepciones, por lo general son incapaces de manejar por sí solas los problemas de la difusión en gran escala de estas tecnologías.

### *Conversión y utilización de la biomasa*

Las tecnologías para la *conversión de biomasa en combustibles utilizables* aparecen clasificadas en el cuadro 2. Actualmente se hallan en desarrollo diversos procesos —o bien se reviven los más antiguos— para convertir biomasa en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos por medio de diversas técnicas. Entre tales combustibles están el carbón de leña y los combustibles sólidos densificados, etanol, metanol, aceite combustible, biogás y "gas pobre". Entre las principales tecnologías de conversión de biomasa figuran la gasificación, la pirólisis, la digestión anaeróbica, la fermentación y la hidrólisis ácida. Muchas conversiones pueden realizarse tanto en instalaciones grandes y modernas como en equipos

## TECNOLOGIAS PARA LA CONVERSION DE

Proceso de conversión	Combustible procesado	Materia prima	Necesidades de investigación,	
			Vacíos principales	
Extracción	Fueloil	Semillas oleaginosas	Evaluación del equipo en pequeña escala, ya existente	
Fermentación	Etanol	Azúcar, almidones	Mejoramiento de los rendimientos y la eficiencia del proceso	
Digestión y fermentación enzimática	Etanol	Madera	Mejoramiento de la eficiencia de procesos bioquímicos y de ingeniería	
Gasificación/licuefacción	Metanol	Madera u otra celulosa	Desarrollo de un proceso tecnoeconómicamente eficiente	
Carbonización	Carbón de leña	Madera	Mejoras en los rendimientos y eficiencia del proceso; investigación para adaptación en plantas a pequeña escala	
Digestión anaeróbica	Gas/biogás metano	Residuos animales y agrícolas	Investigación microbiológica, de materiales y sustrato, cuestiones sociales y de adaptación local	
Pirólisis	Fueloil, carbón, gas	Desechos urbanos, residuos agrícolas, madera	Adaptación a condiciones locales	
Condensación en briquetas	Briquetas	Residuos agrícolas, paja	Desarrollo y adaptación de máquinas en pequeña escala	
Gasificación	Gas pobre	Madera, residuos agrícolas	Mejoramiento del proceso, adaptación a diversas materias primas, desarrollo de máquinas en pequeña escala	

A. Desarrollar metodología establecida de evaluación para los usuarios; fomentar el intercambio general en este campo.

B. Desarrollar y promulgar normas para que los fabricantes puedan aportar datos de funciona-

## BIOMASA EN COMBUSTIBLES UTILIZABLES

desarrollo experimental y demostración	Necesidades de información y normalización	
	Tecnología en gran escala	Tecnología en pequeña escala
Quién debe suplir ese vacío		
Empresa consultora o laboratorio del país en desarrollo	Ninguna	A
Sector industrial en los países desarrollados y en desarrollo	B	A, B
Sector industrial en los países desarrollados y en desarrollo	Ninguna	Ninguna
Sector industrial en los países desarrollados y países en desarrollo avanzados	Ninguna	Ninguna
Organizaciones y empresas privadas en países menos desarrollados, con colaboración externa	B	A, B
Laboratorios públicos y privados; organizaciones y empresas privadas en países en desarrollo	B	A
Sector industrial del país en desarrollo	B	Ninguna
Laboratorios públicos y privados, organizaciones y empresas privadas en países en desarrollo	B	A, B
Laboratorios públicos y privados, organizaciones y empresas privadas en los países en desarrollo	B	A, B

de datos de diseño y funcionamiento entre los participantes en los diversos países; revisar el panorama de funcionamiento, y criterios según los cuales los usuarios puedan juzgar la idoneidad para varias aplicaciones.

sencillos y de pequeña escala, adecuados para su empleo en comunidades reducidas.

En el caso de la producción de carbón de leña y las técnicas de densificación, como la condensación en briquetas —las tecnologías de conversión de combustible sólido más interesantes para los países en desarrollo— los requisitos principales consisten en adaptarlas a las condiciones locales, probarlas y demostrarlas. Estas son tareas para los investigadores locales y organizaciones dedicadas a las fuentes de energía renovable, pero podrán facilitarse si se difunde más información sobre el panorama actual de ese campo, probables desarrollos futuros, metodologías para en evaluación y experiencias en otros sitios. En el área de la conversión en combustibles líquidos, la tecnología para producir etanol a partir del azúcar se halla bien establecida, pero es necesario mejorarla para obtener mayores rendimientos y reducir los requerimientos energéticos. Deben lograrse mejoras similares en la conversión de plantas productoras de fécula —como la yuca— en etanol, un proceso que precisamente está en la etapa de planta piloto. La producción de etanol y metanol a partir de madera y residuos agrícolas resulta muy prometedora como medio para extraer combustible de fuentes de biomasa que no compitan con cultivos alimentarios, pero es necesario investigar más para lograr procesos satisfactorios. En los países industrializados y en ciertos países en desarrollo (especialmente en Brasil) ya están en marcha muchas investigaciones en este campo. Por su parte, los países en desarrollo que son potenciales productores de alcohol necesitan mejorar su capacidad de evaluar, desde el punto de vista de sus propias necesidades, los desarrollos técnicos que de ahí se deriven.

La conversión de desechos animales y residuos agrícolas en biogás mediante la acción bacteriológica es una tecnología que, en principio, resulta particularmente atractiva para los países en vías de desarrollo. Con todo, antes de poder evaluar adecuadamente la potencialidad de esta tecnología, queda mucho por hacer en materia de investigación técnica, evaluación económica y análisis de sus implicaciones sociales y ambientales. Esta actividad deberá concentrarse en las instituciones de los países en desarrollo; sin embargo, sería conveniente que éstas contaran con apoyo internacional para la investigación biológica, y con un programa multinacional de pruebas y demostraciones que aportara los datos técnicos, económicos y sociales que han faltado hasta ahora.

La tecnología para la generación de "gas pobre" mediante procesos termoquímicos posee un largo historial, pero se requiere de más investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia de los procesos y adaptarlos a distintos tipos de ganado. En los países más avanzados se realizan hoy en día esfuerzos considerables para mejorar el equipo y aplicarlo en gran escala; por lo general, los países en desarrollo necesitan una mejor información para valorar las opciones técnicas y elegir los equipos. Adaptar equipos de pequeña escala a las condiciones locales constituye una labor que las instituciones de los países en desarrollo pueden realizar adecuadamente, sobre todo si tienen acceso a información pertinente acerca de los desarrollos tecnológicos y la experiencia en otros lugares.

Las tecnologías para el empleo de combustibles a base de biomasa aparecen sintetizadas en el cuadro 3. La tecnología tradicional para alcanzar temperaturas medias propias para cocinar con combustible de biomasa —una cazuela sostenida por tres piedras sobre una flama producida por madera, carbón de leña o estiércol de vaca— utiliza ineficientemente un combustible cada vez más escaso y caro. La experiencia obtenida en diversas zonas del mundo en desarrollo demuestra que los grupos de investigadores que están en contacto estrecho con los habitantes locales (en especial con las mujeres) y sus necesidades de cocina pueden diseñar estufas que acepte la comunidad, por lo menos en las pruebas piloto. Estas estufas, que pueden producirse con materiales relativamente baratos, encierran grandes posibilidades para la reducción del consumo de madera, sobre todo en las áreas donde ésta es escasa y, en proporción con el ingreso de la gente pobre, muy cara. Empero, no se han probado todavía en gran escala los métodos para popularizar estas estufas mejoradas, y aún restan por emprenderse y superarse los factores sociales, culturales e institucionales que podrían obstaculizar su difusión.

También otros combustibles para cocina derivados de la biomasa pueden resultar tecnoeconómicamente variables; entre ellos, las briquetas de paja y el aceite de semillas oleaginosas. No obstante, no se han evaluado apropiadamente las posibilidades relativas de dichos combustibles desde el punto de vista tanto económico como social.

Las tecnologías que aprovechan la biomasa para producir calor con fines industriales y para generar electricidad se basan en la combustión directa de una forma u otra de biomasa en una caldera de diseño adecuado. Estas calderas existen pero no hay normas establecidas para juzgar su funcionamiento con combustibles de biomasa de acuerdo con un formato establecido y una metodología de pruebas.

Muchos sistemas actual o potencialmente disponibles pueden proporcionar energía mecánica axial estacionaria a partir de combustibles derivados de biomasa, mediante motores de combustión externa o interna. Los motores de combustión externa de ciclo Rankine pueden trabajar con calor de temperaturas altas o medias producidas por cualquier combustible, y resultan convenientes para aplicaciones en pequeña y gran escala, respectivamente.

Los combustibles derivados de biomasa pueden sustituir, directa y convenientemente, a los combustibles fósiles en los motores de combustión interna. Los motores diésel pueden funcionar con gas derivado de la biomasa, con aceites vegetales o con algún otro producto vegetal exótico, como la savia del árbol de copaiba o el látex refinado de ciertas especies de asclepiadea. De manera similar, los motores de gasolina pueden funcionar con combustibles líquidos o gaseosos derivados de biomasa. Para esta aplicación relativamente nueva de la tecnología de fuentes de energía renovables no existen normas establecidas; es decir, metodologías de prueba para que los fabricantes de motores adaptados al funcionamiento con etanol y otros combustibles derivados de la biomasa puedan aportar datos sobre su desempeño.

Cuadro 3

## TECNOLOGIAS PARA EL USO DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE BIOMASA

<i>Formas de energía</i>	<i>Tecnología</i>	<i>Principales vacíos tecnológicos</i>	<i>Quién debe llenar esos vacíos</i>	<i>Necesidades de información y normalización</i>
Calor a temperatura media (100-300 °C) (cocina)	Estufas de cocina	Adaptación y fabricación locales	Laboratorios de países en desarrollo, servicios de extensión y capacitación artesanal, organizaciones privadas	A,B,C
Calor a alta temperatura (más de 300 °C)	Combustión directa	Ninguno		B
Potencia mecánica axial	Motores de combustión interna	Motores de alcohol más eficientes; adaptación de motores diesel a combustibles basados en biomasa	Sector industrial en países desarrollados y en desarrollo más avanzados	A,B
	Potencia de pedaleo	Desarrollo y evaluación de diseños alternativos	Laboratorios nacionales, órganos de extensión rural	C
	Tracción animal			C

A. Desarrollar metodología establecida de evaluación para los usuarios; fomentar intercambio de datos de diseño y funcionamiento entre los participantes en diferentes países; revisar el panorama general en este campo.

B. Elaborar y difundir normas de acuerdo con las cuales los fabricantes puedan aportar datos sobre funcionamiento, incluidos criterios de idoneidad para las aplicaciones más importantes.

C. Reavivar el interés en las tecnologías hasta ahora olvidadas, por medio de, v. gr., material educativo, conferencias, pequeñas subvenciones para investigación o demostraciones.

En muchos países en desarrollo el animal de tiro constituye una fuente energética renovable, al proporcionar gran parte de la energía mecánica axial estacionaria o móvil. Pese a ello, aún no se ha estudiado suficientemente el papel del animal de tiro, y ningún país cuenta con un programa integral de políticas o con un marco institucional para abordar la tecnología (genética, alimentación, medicina veterinaria, arneses, herramientas, vehículos, etc.) de la tracción animal.

El pedaleo humano, por otra parte, constituye la tecnología más elemental para la producción de energía mecánica axial móvil o estacionaria. En todo el mundo, y especialmente en Asia, se utilizan bicicletas para el transporte de personas y mercancías. Además existen diseños ergonómicamente adecuados y de bajo costo para utilizar la potencia de pedaleo en el bombeo de poca altura, el trillado y la molienda. Aunque pedalear resulta fatigoso, al igual que otras tecnologías de eficiencia menor —en el sur de Asia, por ejemplo, se emplean bombas de mano para el riego—, el uso extendido de tales métodos demuestra que una tecnología basada en la potencia de pedaleo, que implica un costo reducido, encontraría un mercado y podría contribuir a la productividad. Sin embargo, por el momento un diseño disponible en determinada región del mundo puede resultar totalmente desconocido en otra; y los datos confiables con respecto a su funcionamiento son muy escasos.

#### *Aprovechamiento de los recursos directos solares, eólicos e hidroeléctricos en pequeña escala*

El cuadro 4 muestra un resumen de las tecnologías que podrían usarse para producir calor y energía axial mecánica, o para generar electricidad, a partir de recursos directos solares, eólicos e hidroeléctricos, estos últimos en pequeña escala. Es bien conocida la tecnología para calentar agua por medio de colectores solares planos sencillos; en los países industrializados se diseñan y prueban colectores de foco, capaces de producir temperaturas más elevadas. Aunque la cantidad de energía empleada para producir agua caliente resulta relativamente modesta en la mayoría de los países en desarrollo, ésta se necesita en hospitales, restaurantes y hoteles, así como en los hogares de las familias más acomodadas y en industrias tales como la del procesamiento de alimentos. La manufactura de colectores solares planos ya está bien establecida en algunos países en desarrollo y se podría emprender en muchos otros, si su diseño se adaptara a las condiciones climáticas locales, y se emplearan en su fabricación materiales y tecnologías disponibles localmente. En el caso de los colectores de foco ya se están realizando las investigaciones necesarias en los países más avanzados para perfeccionar los materiales y diseños.

El secado de cosechas suele consumir una fracción considerable de la energía comercial que se utiliza en la agricultura de las naciones en desarrollo. Disponer de secadores de bajo costo podría contribuir sobremanera a mejorar la calidad del producto y a reducir las pérdidas posteriores a la cosecha. Con ese fin puede aprovecharse la energía solar para calentar aire. Existe un gran número

Cuadro 4

**PRINCIPALES TECNOLOGIAS PARA EL USO DE RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES  
EN LA PRODUCCION DE ENERGIA TERMICA, MECANICA Y ELECTRICA**

<i>Forma de energía</i>	<i>Tecnología</i>	<i>Principales vacíos tecnológicos</i>	<i>Quién debe llenar esos vacíos</i>	<i>Necesidades de información y normalización</i>
Calor	Colectores solares planos	Adaptación y fabricación locales	Laboratorios y sector industrial del país en desarrollo	A, B
	Colectores de foco	Mejoramiento del diseño y materiales	Laboratorios y sector industrial de países desarrollados	B
	Deshidratación solar de cosechas	Adaptación y fabricación locales	Laboratorios y sector industrial de países en desarrollo	A, B
	Hornillos solares	Almacenaje y transmisión de calor a bajo costo	Laboratorios y organizaciones privadas en países desarrollados y en desarrollo	A
	Estanques solares	Investigación en estanques ilimitados, control de efectos eólicos, adaptación y fabricación locales	Laboratorios industriales y del sector público en países en desarrollo	A, C
Potencia mecánica axial	Bombas eólicas comerciales	Fabricación local	Sector industrial del país en desarrollo	A, B
	Molinos de viento con aspas	Datos confiables sobre funcionamiento; evaluación comparativa y perfeccionamiento de diseños tradicionales	Laboratorios y organizaciones privadas en países desarrollados y en desarrollo	A, C
Generación de electricidad	Pequeñas plantas hidroeléctricas	Adaptación y fabricación locales	Sector industrial y organismos gubernamentales de países en desarrollo	A, B
	Generadores eólicos	Desarrollo y prueba de equipos	Sector industrial de países desarrollados	A, B <sup>a</sup>
	Fotovoltaica	Reducción de costos en las celdas y "balance de sistema". Fomentar aplicaciones en lugares donde los incentivos de mercado son limitados	Sector industrial de países desarrollados	B, C <sup>b</sup>

A. Desarrollar metodología establecida de evaluación para los usuarios; fomentar el intercambio de datos sobre diseños y funcionamiento entre los participantes de diversos países; revisar panorama general.

B. Elaborar y difundir normas para que los fabricantes puedan aportar datos sobre funcionamiento, incluidos criterios de idoneidad para las aplicaciones más importantes.

C. Generar datos sobre funcionamiento mediante demostraciones de campo, coordinadas o realizadas en forma internacional.

<sup>a</sup> Cuando la tecnología se acerca a la factibilidad tecnoeconómica.

<sup>b</sup> Para aplicaciones específicas donde la inversión privada podría resultar inadecuada.

de diseños de secadores (ya probados en diversos cultivos) que varían sobre todo según los tipos de convección y la temperatura del aire. Aunque se requieren más investigaciones para perfeccionar el diseño, por ahora la aplicación de la energía solar al secado de cosechas en los países en desarrollo exige su adaptación a las condiciones climáticas y prácticas agrícolas locales. Las posibilidades de fabricar estos equipos en el país deberían resultar un incentivo suficiente para inducir a los investigadores industriales de los países en desarrollo a realizar dicha labor.

El estanque solar resulta una tecnología promisoría para calentar agua hasta cerca del punto de ebullición; es decir, una temperatura suficiente que permita utilizar este método para producir calor, generar electricidad o desalinizar. Desarrollados por primera vez en Israel (con financiamiento parcial del Banco Mundial), los estanques solares tienen muchas posibilidades de aplicación en los países en desarrollo, debido a su sencillez y bajo costo.

Los hornillos solares han fracasado notoriamente en numerosas pruebas, en gran parte debido a la resistencia natural de la gente a cocinar a la intemperie bajo los rayos del sol, pero también por otras razones sociales y técnicas. La necesidad de una solución tecnológica al problema del costo creciente del combustible para cocinar resulta tan apremiante que casi no hay otra opción que seguir tratando de diseñar un sistema de costo bajo, y de comprender mejor los obstáculos que se oponen a su popularización. Para tener éxito, el diseño debe ser compatible con las prácticas locales de cocina, así como con la comodidad del usuario; debe adaptarse tanto como sea posible a las normas socioculturales y quizá convenga que se complemente con una cocina de leña que, llegado el caso, sirva de sustituta. El reciente éxito de la comercialización de tales estufas en el estado de Gujarte, en la India, hace concebir esperanzas en cuanto a la posibilidad de un enfoque práctico de este problema.

Entre las tecnologías para producir energía axial mecánica estacionaria a partir de recursos energéticos renovables, la de molinos de viento comerciales unidos mecánicamente a una bomba de agua (bombas eólicas) se conoce perfectamente y está ampliamente demostrada; sólo requiere adaptación, comercialización y aplicación locales en sitios donde resulte tecnoeconómicamente viable. Tampoco en este caso existe un formato normalizado para pruebas e informes sobre desempeño.

El tradicional molino de viento pequeño que funciona por medio de aspas constituye una tecnología "no comercial" muy prometedora para bombear agua mediante la energía eólica. Se ha utilizado durante siglos en ciertas regiones de Creta, Tailandia y Yucatán (México), donde puede confiarse en la presencia constante de vientos de baja velocidad. Algunas organizaciones voluntarias privadas los han instalado con éxito en Tanzania. Desde el punto de vista técnico resultan poco eficientes, pero su construcción cuesta poco y se pueden fabricar y reparar en talleres locales tradicionales. Sin embargo, también en este terreno escasean los datos confiables en cuanto a costo y funcionamiento.

La *electricidad* puede generarse a partir de instalaciones hidroeléctricas de pequeña escala, o bien mediante un sistema que combine la energía térmica de un estanque solar, o de una planta de energía térmica solar, con un motor primario. También puede generarse electricidad por medio de celdas fotovoltaicas y de sistemas de conversión eólico-eléctrica de pequeña y gran escala ("generadores eólicos").

Los sistemas de conversión eólico-eléctrica en pequeña escala ya resultan económicamente ventajosos para zonas lejanas de mucho viento. De manera similar, la potencia hidroeléctrica en pequeña escala implica una tecnología bien conocida y demostrada. Aun así, su aplicación generalizada en los países en desarrollo exigirá enfoques económicamente adecuados por lo que toca a identificación y evaluación de sitios, y requerirá equipos diseñados de acuerdo con las condiciones locales y que puedan fabricarse a bajo costo en las industrias de la región. Disponer de normas establecidas para pruebas e informes sobre desempeño facilitaría en gran medida la aplicación de ambas tecnologías. Además de la gran cantidad de aplicaciones conocidas de los sistemas eléctricos en pequeña escala, la elaboración de fertilizante en áreas remotas mediante el proceso de arco eléctrico podría revestir gran interés. Esta aplicación se demostró recientemente en laboratorio.

Los sistemas de conversión de energía eólica en gran escala (de más de 200 kilowatts) basados en materiales modernos y principios aerodinámicos pasan actualmente por un rápido proceso de investigación y desarrollo experimental en las naciones tecnológicamente avanzadas. Es probable que puedan producir electricidad a costos competitivos en lugares con regímenes de viento adecuados, aunque parece que éstos son poco frecuentes en los países en desarrollo (los hay, por ejemplo, en algunas zonas costeras). Esta tecnología llenará, a los países en desarrollo a través de los canales comerciales; la mayoría de estos países tendrá que recurrir al equipo importado, pero en algunos casos resultará posible la fabricación nacional de ciertos componentes de los sistemas de conversión de energía eólica.

El empleo de sistemas fotovoltaicos, que transforman directamente la luz solar en electricidad, resultan especialmente atractivos para los países en desarrollo porque su mantenimiento parece bastante fácil y su manejo muy sencillo; hoy día constituyen la única alternativa eléctrica solar comercialmente disponible.

Actualmente estos sistemas sólo resultan competitivos en aplicaciones que requieren una cantidad reducida de electricidad distribuida por red, como en los casos de la televisión educativa de circuito cerrado, refrigeradores y estaciones de comunicación. En los países tecnológicamente avanzados los fabricantes —y los gobiernos que los apoyan— prevén una rápida disminución del costo tanto de las celdas como del resto del sistema. Por su parte, los fabricantes establecidos en los países en desarrollo promueven la aplicación de la tecnología fotovoltaica, aunque son pocos los que tratan de recopilar datos sobre su funcionamiento con el objeto de realizar estudios comparativos o con propósitos generales de evalua-

ción o seguimiento.<sup>7</sup> Para aplicar prácticamente la tecnología fotovoltaica en los países en desarrollo se requiere cierto grado de adaptación local pero, por lo general, la tecnología y el equipo se consiguen comercialmente. En muchos países los fabricantes locales podrán suministrar elementos importantes de los sistemas, como, por ejemplo, estructuras de soporte y baterías.

### Conclusiones y recomendaciones

Al apoyar la investigación y evaluación tecnológicas, los nuevos programas internacionales pueden contribuir a promover la innovación, adaptación y difusión de las tecnologías para fuentes de energía renovables. Debido a marcadas diferencias entre la producción de biomasa, por una parte, y las tecnologías para el aprovechamiento de recursos solares directos, eólicos, hidroeléctricos en pequeña escala y la biomasa, por la otra, se requerirán diferentes tipos de programas en ambas áreas.

Los esfuerzos actuales de investigación para mejorar la *producción de biomasa* resultan inadecuados para empezar siquiera a comprender la enorme potencialidad de este recurso en el largo plazo. Debido a la escasez inminente o presente de biomasa en muchos países en desarrollo, exacerbada por los precios crecientes de los recursos fósiles, es imperativo ampliar y enfocar de manera más definida las actividades de investigación de este campo.

Resulta razonable pensar que se llevarán a cabo con éxito investigaciones bien planeadas para mejorar la productividad de especies perfectamente conocidas como la caña de azúcar, la yuca, el sorgo dulce y diversos árboles leguminosos y productores de leña así como para identificar especies que resulten potencialmente más productivas. Un esfuerzo internacional haría posible un programa eficiente que beneficiara a todos los países en desarrollo; este programa debe investigar, en primer término, los avances tecnológicos para producir biomasa a partir de especies ya bien investigadas, tales como la caña de azúcar, la yuca y muchas especies de árboles.

En la *producción de caña de azúcar*, por ejemplo, existe una necesidad triple: crear variedades con el propósito específico de maximizar la producción de biomasa; recolectar germen plasma del área donde se encuentran las fronteras de China, India y Birmania, última zona mundial donde existen recursos importantes de germen plasma sin recoger y, además, donde hay variedades silvestres en peligro de extinción; y, por último, estudiar regímenes de cultivo que maximicen el rendimiento de biomasa mediante la proliferación de material leñoso ("caña energética"). En el caso de la *yuca*, es preciso recolectar materiales genéticos e

<sup>7</sup>El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) financió en tres países una evaluación comparativa de bombas fotovoltaicas de riego para pequeños agricultores, y pruebas limitadas de una bomba térmica solar. El Banco Mundial se encarga de realizar tanto las evaluaciones como las pruebas, y el PNUD está estudiando la posibilidad de llevar este proyecto a otros países, en una segunda fase.

investigar sistemas de conservación del suelo para reducir al mínimo el agotamiento de este último. Por otra parte, es indispensable realizar evaluaciones comparativas del rendimiento del *sorgo dulce*, un cultivo poco conocido fuera de Estados Unidos, con el fin de investigar sus ventajas potenciales sobre la caña de azúcar, la yuca u otras plantas fermentables, en condiciones ecológicas especiales.

Las pruebas de especies y los programas de mejoramiento genético de *variedades bien conocidas de árboles de crecimiento rápido*, así como la investigación para mejorar las técnicas de plantación y cosecha, deben ampliarse en forma considerable. Además, debe aumentarse el apoyo de los programas nacionales de investigación silvícola, e instruirse un programa sistemático de vinculación bilateral entre los institutos de los países en desarrollo y los de países desarrollados que trabajen en áreas prioritarias comunes.

Los proyectos para incrementar el apoyo a la investigación forestal han avanzado más que las demás propuestas presentadas en este trabajo. Por este motivo, y dada la importancia del tema, es preciso completar y poner en práctica estos planes sin demora. El Banco Mundial ha declarado estar dispuesto a cooperar con otros organismos para auspiciar una reunión de donantes en la que se discutan las implicaciones financieras de una expansión sustancial de la investigación forestal.

Deben establecerse programas para probar en diversos lugares *nuevas especies de árboles, arbustos, raíces y pastos* que parezcan prometedoras, así como para comparar la producción potencial de biomasa de ellas entre sí y con la de especies tradicionales, como las *semillas oleaginosas* y la *caña de azúcar*.

Además, los programas nacionales de investigación agrícola que se ocupan de las actividades de los pequeños agricultores, los organismos multilaterales y bilaterales que colaboran con dichos programas y los centros internacionales de investigación agrícola que ha fundado el CGIAR deben dedicar cada vez mayor atención al *papel de los árboles en la actividad de los pequeños agricultores* como fuentes tanto de leña como, en el caso importante de los árboles leguminosos, de fertilizante.

Finalmente, con respecto al cultivo de árboles y cosechas energéticas, es necesario contar con un programa internacional de *investigación básica con objetivos específicos*, para explorar las posibilidades de los avances revolucionarios de la ingeniería genética, el cultivo de células somáticas, la bioquímica, la microbiología y la fisiología, y abrir así nuevos caminos a la investigación sobre producción de biomasa. Mediante la colaboración entre los científicos de países en desarrollo que trabajan en las fronteras del conocimiento y sus colegas, ya sean de laboratorios de países desarrollados o de laboratorios agrícolas y forestales de países en desarrollo, sería posible lograr adelantos tecnológicos trascendentales; un programa como éste beneficiaría a casi todas las naciones en vías de desarrollo. Sin embargo, sólo uno o dos de estos países podrían emprender por sí solos esfuerzos de esta índole.

En su gran mayoría, las tecnologías para que los países en desarrollo empleen fuentes de energía renovables para producir *energía calórica, mecánica y eléctrica*

*ca a partir de recursos energéticos directos solares, eólicos o hidroeléctricos en pequeña escala o de combustibles a base de biomasa* están fundamentadas en principios perfectamente conocidos. Sin embargo, aun las tecnologías más comunes deben adaptarse a las circunstancias específicas de los países en desarrollo; por otra parte, hay tecnologías cuya aplicación generalizada en estos países depende de un progreso científico ulterior. Los programas de ayuda bilateral y los programas energéticos nacionales de los países desarrollados deberían, entre otras cosas, alentar a los inversionistas y empresarios locales para que desarrollaran tecnologías referentes al aprovechamiento de recursos energéticos renovables que resultarían particularmente idóneas para las necesidades de los países en desarrollo.

En el caso de las tecnologías que requieren sobre todo adaptación a las condiciones de los países en desarrollo, la tarea fundamental de la comunidad internacional consiste en apoyar las capacidades y programas nacionales de investigación, desarrollo experimental, comercialización y difusión. Es necesario que dicho apoyo incluya esfuerzos por parte de organizaciones privadas dedicadas al desarrollo comunitario o a la "tecnología apropiada" para adaptar las tecnologías de menor escala a las necesidades locales.

En cuanto a la mayoría de las tecnologías que requieren un progreso científico ulterior, cabe decir que en respuesta a los incentivos comerciales y de otros tipos, ya se están llevando a cabo numerosas actividades de investigación y desarrollo experimental en los países más avanzados. El problema fundamental radica en garantizar que los adelantos tecnológicos que de ahí se deriven sean accesibles a los países en desarrollo que pudieran aprovecharlos.

Uno de los enfoques posibles consiste en establecer programas internacionales independientes de desarrollo experimental e investigación industrial en estas áreas. Sin embargo, podrían oponerse a este enfoque varias dificultades, tanto prácticas como políticas. En primer término, para que dicho programa de investigación internacional resultara eficaz tendría que incluir no sólo el diseño y la prueba de prototipos conceptuales, sino la colaboración estrecha con posibles fabricantes desde el momento en que se desarrollan los prototipos de fabricación, y también la participación en la comercialización del producto. Este tipo de programas requiere de una estrecha relación de trabajo con el sector productivo, lo cual resulta difícil para un instituto público nacional, ya no digamos internacional. Es más, una investigación internacional de esta naturaleza estaría expuesta a las objeciones, por una parte, de que duplicaría los esfuerzos actuales que se realizan en los países avanzados y, por otra, de que desviaría los recursos financieros y humanos que podrían aplicarse al fortalecimiento de los programas nacionales.

Por consiguiente, creemos que el esfuerzo internacional en esta área resultaría más productivo si constara de programas para ayudar a los países en desarrollo a evaluar la utilidad, los efectos y la potencialidad de desarrollo inherentes a los adelantos tecnológicos que se están produciendo en todo el mundo. Dicha asistencia complementaría la ayuda dirigida a aumentar la capacidad local para investigación, desarrollo experimental, evaluación y fabricación.

Recomendamos un programa internacional destinado a asesorar a los países en desarrollo en la evaluación y adaptación de nuevas tecnologías para su uso en programas nacionales de investigación, desarrollo experimental y fabricación. Este programa internacional tendría por objeto recopilar datos confiables sobre el funcionamiento de tecnologías y equipo para fuentes de energía renovables; evaluar la experiencia obtenida en diversos países en cuanto a la adaptación y difusión de dicha tecnología; elaborar evaluaciones globales de los adelantos tecnológicos futuros y sus implicaciones para los países en desarrollo, y despertar el interés en las tecnologías "latentes" que hoy día ya pueden ofrecer grandes posibilidades.

En la práctica, los programas para mejorar las capacidades locales y los orientados a lograr mayores avances en la tecnología estarían unidos inextricablemente. El fortalecimiento de las capacidades científicas y técnicas nacionales contribuirá al progreso tecnológico en muchos niveles. A la inversa, puede esperarse que los programas internacionales de investigación y evaluación que hemos recomendado contribuyan a elevar significativamente las capacidades nacionales, al proporcionar apoyo para la investigación en las instituciones nacionales, y al incrementar la cantidad y calidad de la información de que disponen los programas de cada país.

En general, es urgente y fundamental que quienes determinan las políticas de los países en desarrollo sean capaces de valorar los aspectos técnicos y económicos de los procesos y equipos. Para lograrlo, necesitarán información referente tanto al estado actual de la tecnología como a sus probables adelantos en el futuro. Dicha información tendrá que ser suficientemente evaluada por expertos en ese campo antes de que quienes formulan políticas puedan valerse de ella para establecer estrategias y tomar decisiones. Por ejemplo, es preciso que los planificadores estén al tanto de las evaluaciones en cuanto a la manera más económica de obtener combustible diesel en el futuro: a partir de madera, de semillas oleaginosas o de residuos animales o agrícolas; asimismo, deben saber el precio y calidad del combustible procedente de estas fuentes en comparación con los de combustibles fósiles nuevos o convencionales. Además, los funcionarios y empresarios de países en desarrollo deben contar con: datos confiables sobre el desempeño de equipos alternativos; experiencias, ya evaluadas, con los aspectos tecnológicos, institucionales y sociales de diversas aplicaciones de tecnología para fuentes de energía renovables, y evaluaciones objetivas de las posibles aplicaciones de esta tecnología a las necesidades de alta prioridad del mundo en vías de desarrollo, de preferencia en comparación con la tecnología, tradicional o moderna, que utiliza los combustibles fósiles.

Empero, aún no se han establecido criterios para juzgar la idoneidad de las tecnologías alternativas para diversas aplicaciones y condiciones; es más, en muchos casos no existen siquiera los datos necesarios. Son raras las comparaciones desinteresadas de sistemas alternativos para las muchas aplicaciones típicas del mundo en desarrollo; incluso las metodologías para tales evaluaciones comparativas se encuentran todavía en evolución. Las fuentes actuales de datos y evalua-

ciones sobre muchas tecnologías son los propios fabricantes del equipo, que, en la mayoría de los casos, pertenecen a países desarrollados. En general, estos fabricantes no se apegan a normas establecidas para aportar datos sobre el funcionamiento de dichas tecnologías; transmiten, naturalmente, una visión optimista, y no toman en consideración en forma adecuada los problemas sociales e institucionales.

Los cuadros 2, 3 y 4 sintetizan la necesidad de información y normalización de cada una de las tecnologías aquí examinadas. Estas necesidades van más allá del intercambio de documentación; su énfasis principal reside más bien en las *medidas que más convengan a las necesidades de varios tipos de usuarios para promover la generación de datos, evaluaciones, normas y demás información, que por lo general no están disponibles en la actualidad.*

En el caso de muchas tecnologías —como la pirólisis en gran escala y la condensación en briquetas— que probablemente quedarán incorporadas en el equipo fabricado en los países desarrollados y en el sector moderno de los países en desarrollo más avanzados, el enfoque más económico consiste en desarrollar y promulgar —en cooperación con fabricantes, usuarios y (según convenga) organizaciones privadas para el desarrollo comunitario— *normas* establecidas internacionalmente para que los *fabricantes* aporten datos sobre el desempeño de la tecnología en cuestión. (Estas tecnologías se designan con la letra “B” en la columna “Necesidades de información y normalización” en los cuadros 2, 3 y 4.) Actualmente sólo se dispone de normas para unas cuantas tecnologías referentes a fuentes de energía renovables —como los colectores solares— y, además, solamente en unos cuantos países.

Las tecnologías que eventualmente podrían incorporarse, en los países en desarrollo, a un equipo adecuado para su fabricación en pequeña escala, para su construcción artesanal o con sistemas de autoayuda en pequeñas comunidades o poblaciones, exigen, sobre todo, *metodologías establecidas para que el usuario pueda evaluar el funcionamiento del equipo y los aspectos más generales de su experiencia con la tecnología.* Estas metodologías pueden servir como un marco que podría facilitar el intercambio de diseños y datos sobre desempeño, así como la publicación periódica de reseñas sobre avances tecnológicos. (Estas tecnologías están designadas con la letra “B” en los cuadros 2, 3 y 4.) Algunos organismos de ayuda bilateral han empezado a elaborar dichas metodologías, sobre todo para los casos de tecnologías a cuya promoción contribuyen.

Respecto de ciertas tecnologías que parecen prometedoras (designadas con “C” en el cuadro 4) no se cuenta con datos confiables sobre su desempeño, ni con posibilidades reales de obtener este tipo de información a través de los programas nacionales o internacionales existentes o en perspectiva. Entre estas tecnologías figuran los estanques solares, los molinos de viento a base de aspas, y el biogás. La promesa que encierran basta para garantizar el financiamiento y realización de demostraciones comparativas en varios países en desarrollo, con el propósito de recopilar datos sobre su funcionamiento.

Por lo que se refiere a algunas tecnologías, el interés mundial ha decrecido a tal grado que se requiere un esfuerzo internacional simplemente para reavivar el interés profesional en ellas; esto puede lograrse a través de seminarios, publicaciones, viajes, demostraciones y pequeñas subvenciones a la investigación. En esta situación se encuentran numerosos aspectos de la tecnología de la biomasa, tales como la combustión directa de pastos, el poder de tracción animal y el pedaleo.



## PROGRAMA LATINOAMERICANO DE TECNOLOGIA ENERGETICA (propuesta preliminar)

*Jorge A. Sabato  
y Alberto Araoz\**

La tecnología es un insumo fundamental de todos los programas de desarrollo energético, desde la exploración de recursos energéticos hasta el uso doméstico de la energía. Tales programas incluyen inevitablemente una cuantiosa inversión en tecnología, del orden del 10 al 15 por ciento del costo total para la tecnología "incorpórea" (patentes, *know-how*, ingeniería, etc.), cifra que se incrementa significativamente si se incluye también la tecnología incorporada en equipos e insumos avanzados.

Se calcula que durante los próximos veinte años América Latina invertirá algunos cientos de miles de millones de dólares en programas energéticos. De esta enorme cantidad, se gastarán en tecnología varias decenas de miles de millones de dólares.

Actualmente la región importa alrededor del 85 por ciento o más de esta tecnología; esta proporción se mantendrá o incluso aumentará, por lo cual la región será cada vez más dependiente, a menos que estos países procuren vigorosamente el desarrollo de la tecnología energética.

La tecnología de este campo se halla sujeta a una rápida evolución, espoleada por los avances que se suceden a gran velocidad en las diversas disciplinas que la nutren: física, matemáticas, química, ciencia de los materiales, computación, electrónica, ingeniería de sistemas, geofísica, etcétera. Existen numerosas muestras de esta rápida transformación: al finalizar la Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, el mayor generador termoelectrónico alcanzaba una potencia de 35MW, cifra que actualmente ha aumentado treinta veces, a más de 1,000 MW. Hoy día presenciamos el desarrollo de fuentes renovables de energía —solar, eólica, de biomasa, geotérmica, etcétera— a un ritmo sin precedentes y pueden

\* Fundación Bariloche, Argentina.

Esta propuesta se presentó ante la Reunión Internacional sobre el Programa de Prioridades del Informe Brandt, Bogotá y Villa de Leyva, Colombia, del 22 al 25 de octubre de 1980.

citarse muchas otras áreas donde se encuentra en plena marcha un proceso similar.

Si la región no emprende pronto un esfuerzo tecnológico vigoroso en esta materia, correrá el grave riesgo de quedar irremediablemente rezagada, de gastar enormes sumas en importaciones tecnológicas y de volverse incapaz de controlar las decisiones básicas que se refieren a la producción y utilización de energía.

Los países de América Latina ya cuentan con una importante capacidad científica y tecnológica dedicada a muchas facetas de la producción, distribución y uso de la energía, así como del desarrollo de recursos energéticos y el estudio de cuestiones políticas relacionadas con la energía.

Dicha capacidad abarca desde pequeños grupos técnicos dentro de la industria hasta grandes institutos del sector público dedicados a la investigación, el desarrollo experimental y la ingeniería. Actualmente, estas capacidades se encuentran dispersas y, en gran medida, desvinculadas. Cada grupo de trabajo posee escasa información sobre los demás, y hay muy poca coordinación de sus actividades o cooperación en asuntos de interés común. Más aún, tienden a concentrarse en sus propios temas o campos, y prestan poca atención al amplio panorama energético general.

Proponemos el establecimiento de un Programa Latinoamericano de Tecnología Energética (PLATEN), con base en las actividades ya existentes, cuyo propósito consista en movilizar y reforzar las capacidades actuales mediante diversas modalidades de cooperación técnica, para alcanzar así en toda la región un grado cada vez mayor de autodeterminación tecnológica en el campo de la energía.

## El programa

El PLATEN tiene como meta ayudar a desarrollar en las naciones latinoamericanas una capacidad tecnológica autónoma en el campo energético.

Dicha capacidad se compone de varios elementos, principalmente investigación y desarrollo, ingeniería, diseño de productos y proyectos, y capacidades técnicas en productores, inversionistas, fabricantes de equipo, constructores civiles e instituciones financieras. Puede afirmarse que la capacidad resulta en verdad autónoma cuando pueden concebirse, diseñarse y ponerse en práctica proyectos completos sobre la base de una tecnología que se domina totalmente, cuyos componentes importados se han seleccionado y adaptado correctamente a las condiciones locales, y que incorpora una importante y creciente proporción de contribuciones científicas y tecnológicas nacionales. En otras palabras, esa capacidad permitirá armar el "paquete tecnológico" más conveniente, eligiendo los recursos tecnológicos más apropiados, ya sea locales o importados, y aplicando a la tarea servicios tecnológicos sobre todo de origen local.

El Programa no perseguirá esta meta mediante la creación de una o más grandes instituciones, sino más bien estableciendo una *red de instituciones colabo-*

*radoras* para movilizar las capacidades existentes y para coordinar y complementar los abundantes esfuerzos aislados que actualmente se realizan. El Programa intentaría reunir las capacidades científicas y tecnológicas dispersas con que hoy cuenta América Latina en el campo energético, integrándolas en un verdadero sistema. De esta manera se proporcionaría una base firme para llevar a cabo un trabajo técnico e innovador de importancia, y en última instancia para obtener dentro de la región una capacidad tecnológica autónoma en este campo.

Las ventajas que tal solución ofrece son obvias: al depender de las instituciones existentes se evita la creación de otras nuevas que, a la larga, podrían convertirse en "elefantes blancos". La fuerza y los logros de las instituciones que adhirieran al Programa no resultarían simplemente sumados: forzosamente se produciría un importante efecto sinérgico a causa de las fuertes interacciones favorables, y un aumento general de la eficiencia debido a la mayor dimensión de los proyectos que nacieran de la cooperación.

Esta red se establecería gradualmente, y las instituciones se le unirían en forma voluntaria. No se pretende que el Programa tenga un carácter autoritario, ni tampoco que monopolice la acción en el campo de la ciencia y la tecnología energéticas en América Latina.

Las principales actividades de la red PLATEN serían las siguientes:

a) Supervisión y seguimiento de lo que ocurra en el desarrollo de la tecnología energética en América Latina y en el mundo en general desde la perspectiva latinoamericana. En la región se realizan muchos esfuerzos sobre los cuales se sabe muy poco, aun dentro del mismo país donde se llevan a cabo. El PLATEN actuaría como centro distribuidor de información acerca de los programas que pusieran en práctica empresas, laboratorios, gobiernos y organismos internacionales, y podría además desempeñar un papel activo para obtener y evaluar tal información, de tal manera que pudieran practicarse periódicamente revisiones técnicas con respecto a la posición de América Latina en diversas áreas. Se cubriría todo el espectro de energía y recursos energéticos, lo cual contribuiría a derribar las barreras que actualmente existen entre la "gente del petróleo", que sólo conoce lo referente al petróleo, la "gente de la hidroelectricidad", que sólo se dedica a este campo y así sucesivamente. Es necesario subrayar que esta actividad no debe considerarse meramente pasiva o burocrática; por el contrario, deberá adquirir características muy activas, como conviene a una tarea verdaderamente esencial de la cual se derivarán lineamientos para articular el sistema de cooperación y configurar el desarrollo de las actividades cooperativas en dicho sistema.

b) Capacitación de cuadros técnicos en el campo energético, en un nivel académico avanzado. Los profesionales creativos y capaces constituyen el recurso más importante para el desarrollo tecnológico. En el caso de la energía, se les necesita en diversas áreas, desde la investigación hasta la administración. Deben poseer una amplia visión del campo energético y familiarizarse plenamente con

sus aspectos tecnológicos, lo cual exige crear un sistema de capacitación de posgrado para especialistas en el campo energético. Dicho sistema llevaría a cabo un extenso programa que se coordinaría con los ya existentes en la región, tales como el de Economía Energética de Bariloche, el de Ingeniería Energética de la UNAM y otros. La capacitación en sí no se realizaría de una manera centralizada, sino que se impartiría en aquellas instituciones de la red que contaran con una capacidad particular en un tema determinado. El sistema de capacitación en metalurgia, que ha funcionado con gran éxito en América Latina durante los últimos veinte años,\* representa un valioso precedente de este mecanismo.

c) Asistencia técnica e intercambio de servicios técnicos entre laboratorios, organizaciones de ingeniería, empresas y otras instituciones relacionadas con la tecnología energética. Esto permitirá aprovechar los recursos existentes en la región. Ya se cuenta con ejemplos importantes tales como el convenio de cooperación en energía nuclear entre Perú y Argentina, los diversos convenios de PEMEX con empresas públicas en Centro y Sudamérica, el convenio entre las compañías petroleras estatales de Argentina y Uruguay (YPF-ANCAP), etcétera. Estas iniciativas pueden multiplicarse y, en muchos casos, su alcance podría ampliarse. El PLATEN promovería también un debate permanente acerca de la asistencia técnica que proviniera de fuera de la región, de modo que pudieran valorarse los diferentes tipos y fuentes y asimismo se proporcionara asesoría adecuada a los usuarios de la región.

d) Cooperación para la *investigación y el desarrollo experimental* entre laboratorios, plantas piloto y grupos de ingeniería, en lo que se refiere a una extensa gama de actividades de IDE que incluyen el desarrollo de tecnologías "duras" y "suaves", la investigación sobre cuestiones de política que interesen a varios países, etcétera, así como actividades de ingeniería y diseño necesarias para incorporar tecnologías nuevas a procesos y productos concretos. El propósito de dicha cooperación no se limitaría a obtener conocimientos y crear innovaciones en los niveles de laboratorio o planta piloto, sino que abarcaría las aplicaciones prácticas o comerciales, con lo cual se proporcionaría al usuario/cliente un paquete tecnológico completo que abarque los avances tecnológicos desarrollados mediante la IDE y los servicios tecnológicos necesarios para lograr que dichos avances se utilicen en una situación específica. Este propósito se aplica *a fortiori* a las actividades que describimos en la siguiente subsección.

e) Proyectos especiales en los cuales varias instituciones cooperen para llevar a cabo un conjunto coordinado de actividades para ocuparse de una cuestión importante que demanda una gran concentración de recursos, como serían, por ejemplo, el desarrollo de sistemas de energía eólica, o el desarrollo de rutas de biomasa para productos químicos orgánicos como una opción frente a las rutas petroquímicas actuales. La gama de actividades podría abarcar investiga-

\* La capacitación de posgrado en metalurgia se realizó a través de un programa con sede original en el Laboratorio de Metalurgia de la Comisión de Energía Atómica de Argentina, con el copatrocinio de la OEA. Estudiantes prometedores de toda América Latina

ción, desarrollo tecnológico, diseño e ingeniería de productos, ingeniería de procesos, estudios de factibilidad de inversiones, y así sucesivamente; en resumen, toda la secuencia desde la idea hasta el mercado. Los proyectos especiales podrían convertirse en el principal vehículo para desarrollar de una forma cooperativa nuevas tecnologías energéticas y para aplicarlas en el terreno de la práctica.

### Los elementos de una red de cooperación

Como ya hemos sugerido, un aspecto muy importante de este estudio es la creación de un sistema de cooperación entre las muchas capacidades que actualmente se encuentran dispersas en toda América Latina —en universidades, instituciones de investigación, organizaciones de ingeniería, empresas de distintos tipos, etc. Se ha vuelto evidente que los esfuerzos inconexos en los diversos países de la región difícilmente pueden aspirar a obtener el dominio pleno de la tecnología y a producir innovaciones significativas en muchas áreas importantes de la energía, áreas que con el paso del tiempo se vuelven cada vez más complejas. Si bien existen casos aislados que pueden considerarse brillantes, los esfuerzos latinoamericanos, tal y como ahora se efectúan, parecen en su mayor parte inadecuados para salvar la brecha que separa a la región de la frontera tecnológica, cuya rápida evolución obedece al vigoroso empuje de los países industriales avanzados.

Para construir una red de cooperación técnica en la tecnología energética, sería necesario analizar los diversos elementos de dicha red:

- a) Los *nodos*, esto es, las unidades e instituciones que compondrían la red y llevarían a cabo las interacciones deseadas. Sería necesaria una encuesta para identificarlas, conocer sus características y descubrir sus principales intereses y expectativas.
- b) El *núcleo* de la red, es decir su unidad coordinadora, la cual podría constar de un grupo técnico competente que actuara con independencia de las instituciones que integraran la red. El núcleo no tiene por qué ser de grandes dimensiones, pero debería contar con profesionales de primera categoría, instalaciones para manejo de información y documentación, y un presupuesto operativo que asegurara su estabilidad y permitiera la movilidad necesaria del personal. Debe considerarse cuidadosamente la conveniencia de vincular el núcleo, para efectos administrativos, con una institución ya existente.
- c) Los *vínculos* entre los nodos, que pueden manifestarse en forma de mecanismos permanentes de consulta, transmisión de información, reuniones periódicas y, de manera muy importante, en el establecimiento de relaciones personales. Crear tales lazos constituye una función importante del núcleo

---

han tomado ahí un curso de un año —que imparten muchos profesores de fama mundial— y en algunos casos presentaron una tesis para obtener un doctorado. Los alumnos han formado una activa red de cooperación personal e informal que ha tenido gran repercusión en el desarrollo de la tecnología y la capacidad productiva metalúrgicas de varios países latinoamericanos.

cuando se forma la red. Los vínculos estables y confiables son necesarios para contar con una circulación eficiente de flujos a través de la red.

- d) Los *flujos* que circulan en la red, entre el núcleo y los nodos y, principalmente, entre los nodos mismos. Los flujos más importantes en la red del PLATEN estarían constituidos por cuestiones básicas y aplicadas de conocimiento, tecnología, ingeniería y otros servicios técnicos; conocimientos sobre políticas, información sobre asuntos técnicos, científicos, socioeconómicos y comerciales, y por último experiencias específicas. Tales flujos podrían originarse dentro o fuera de la red. Algunas veces la función del núcleo podría ser de gran utilidad para introducir en la red conocimientos provenientes del exterior, o bien para activar la circulación de conocimientos externos que hubiera recogido uno de los nodos.
- e) Las *actividades conjuntas*, que son funciones desempeñadas por dos o más nodos, y que podrían consistir en IDE, actividades de capacitación, diseño de ingeniería, estudios tecnoeconómicos, definición de políticas, etc. Una forma muy importante de actividad conjunta estaría constituida por los proyectos especiales a los cuales nos hemos referido anteriormente.\* Las actividades conjuntas crean flujos que circulan entre los nodos participantes, y que posteriormente podrían circular en toda la red.
- f) Los *objetivos* que se persiguen mediante el funcionamiento de la red. Estos objetivos deben formar un conjunto coherente de metas de largo plazo y objetivos tácticos que guíen las actividades concretas de la red en los plazos mediano y corto.
- g) El *financiamiento* del núcleo de la red y de las actividades que se realicen en ésta. Es un punto muy importante, sobre todo cuando la red se pone en marcha. No sería prudente iniciar los esfuerzos cooperativos en una red incipiente sin haber asegurado antes la disponibilidad de fondos para un período inicial suficiente, digamos dos o tres años, y tendría que realizarse un análisis minucioso de las fuentes probables de financiamiento para después de ese plazo.

Una red de cooperación puede convertirse en un verdadero sistema si se comparten plenamente los objetivos, los flujos se incrementan de modo continuo, las actividades conjuntas son frecuentes, los nodos se complementan, etc.; en otras palabras, si se alcanza una configuración estable dentro de la cual se dan relaciones claramente sistémicas. En tal caso, los beneficios para los nodos participantes aumentarían enormemente. Una condición importante para que esto suceda es la presencia de un núcleo activo y de primera calidad, dotado de un presupuesto adecuado que asegure su estabilidad, con salvaguardias para evitar que se vuelva burocrático o pasivo (lo cual depende, en esencia, de las características personales de sus directores).

\* De hecho, un proyecto especial formaría por sí mismo una red de cooperación temporal, dentro de la cual tendrían que definirse cuidadosamente, en el momento de planificar el proyecto, los siete elementos aquí señalados.

*Un estudio de factibilidad*

El propósito de lograr para toda América Latina un alto grado de autodeterminación tecnológica en el terreno de la energía reviste gran importancia debido al papel crucial de ésta en el desarrollo socioeconómico, y a las enormes sumas que habrán de gastarse en los años venideros en tecnología energética, sin mencionar las inversiones en energía.

Un medio muy prometedor para cumplir este propósito, como hemos sugerido, consiste en fundar una red que integre las diversas capacidades existentes, que actualmente se hallan dispersas por toda América Latina, y en estructurar actividades de cooperación entre ellas.

El campo de acción de esta red puede variar, de acuerdo con los objetivos que se le asignen y con el número y tipos de instituciones que se le adhieran. Todo esto requiere de un análisis cuidadoso. El Programa, por ejemplo, puede iniciarse modestamente con un presupuesto promocional relativamente bajo (digamos del orden de 100,000 dólares), a fin de divulgar la idea y obtener un número creciente de partidarios. A medida que la red se consolide y comiencen efectivamente las actividades de cooperación, el presupuesto podrá elevarse hasta alcanzar varios millones de dólares; y en una etapa posterior, cuando el proceso hubiera llegado a su madurez, los costos de gestión de la red y el financiamiento de actividades conjuntas podrían fácilmente ser del orden de decenas de millones de dólares, dependiendo de la magnitud de los proyectos especiales que abarque.

Las dimensiones adecuadas de la red, las características de los elementos que la compongan y las etapas por cubrir antes de alcanzar un estado de madurez deberán obedecer a un estudio minucioso de factibilidad. No serviría improvisar o comenzar con planes a medio hacer; el asunto es demasiado trascendental para permitir riesgos innecesarios.

Un estudio de factibilidad que analizara las múltiples cuestiones en juego y concibiera una solución funcional y eficiente para la red cooperativa, respondería a los términos de referencia que pueden expresarse brevemente de la manera siguiente: definir los objetivos del Programa, identificar los miembros probables de la red; diseñar los diversos aspectos de la red; indicar las actividades que deben realizarse; identificar los costos y beneficios implicados, cuantificándolos siempre que sea posible, y atender la gran cantidad de asuntos indispensables para transformar la idea en un proyecto funcional que pueda presentarse a las diversas partes interesadas.

Un examen detallado de los elementos mencionados en la sección anterior contribuirá a elaborar un diseño aproximado de la red en su etapa madura. También resulta importante considerar las etapas iniciales y formativas e identificar metas de corto plazo que puedan orientar las actividades del núcleo durante este crítico período incipiente, que den por resultado un programa de trabajo para sus primeros años y para el cual se puede buscar financiamiento; tal como antes hemos sugerido.



## **UN DESAFIO PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA Y EL DESARROLLO HACIA FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA EN LA REGION DEL CARIBE**

*Kenneth G. Soderstrom  
y Juan A. Bonnet, Jr.*

Todos los países del Caribe, a excepción de Trinidad y Tobago, son importadores de petróleo, y los aumentos de precios en el mercado internacional durante el decenio pasado han ocasionado serias repercusiones en la economía de estos países. La cuota de petróleo crudo y productos refinados dentro del total de importaciones de mercancías aumentó de menos de 9%, en 1971, a alrededor de 25 %, en 1980.

Además de compartir este problema, las naciones del Caribe poseen varias características energéticas en común:

- 1) el tamaño, inferior al crítico, de la mayoría de los sistemas energéticos nacionales, impide elegir entre diversas soluciones;
- 2) no existen mercados para los combustibles nativos;
- 3) el uso del petróleo importado ha sustituido al empleo de combustibles de origen local;
- 4) se carece de recursos nativos comercialmente explotables;
- 5) hay escaso personal capacitado para realizar evaluaciones energéticas y elaborar programas sobre fuentes alternativas de energía;
- 6) los gobiernos nacionales no aceptan todavía que los esfuerzos de cooperación regional sean la mejor manera de enfocar los problemas energéticos.

Entre las opciones realistas se incluye la concepción de programas eficaces con un equilibrio cuidadoso entre el desarrollo de la oferta, el manejo de la demanda, la estructuración de instituciones y sectores energéticos, y las políticas de precios. Sin embargo, tales opciones exigen un apoyo bilateral o multilateral, lo cual, hasta cierto punto, se ha logrado en el Caribe durante los dos últimos años a través de la eficiente labor de diversos organismos regionales e internacionales.

Este estudio se centra en un proyecto sobre soluciones alternativas para la región en materia de fuentes energéticas, proyecto que ha contado con el apoyo

combinado de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Secretaría de la Comunidad del Caribe (CARICOM) y el Banco para el Desarrollo del Caribe (CDB). Este proyecto, en particular, se identifica en el *Documento sobre Proyectos Regionales del Caribe para Sistemas de Fuentes Alternativas de Energía* de la USAID. Dicho *Documento sobre Proyectos* enuncia sus metas y propósitos de la siguiente manera:

La meta del proyecto es desarrollar en el Caribe una capacidad para utilizar fuentes de energía renovables como opciones frente a los combustibles fósiles importados, y fomentar las medidas de conservación de energía. Se alcanzará esta meta introduciendo tecnologías para fuentes de energía renovables y eficientes, y programas de conservación, mediante la revisión de políticas energéticas, la capacitación de profesionales y técnicos y el mejoramiento de las comunicaciones y de la experimentación de aplicaciones. El proyecto responde a los deseos de los países medianamente desarrollados y menos desarrollados de la región de lograr la autosuficiencia energética para aliviar los problemas de balanza de pagos que todos ellos afrontan, con excepción de Trinidad y Tobago, a causa del aumento de los precios del petróleo.

El propósito del proyecto consiste en establecer en el Caribe la capacidad institucional para llevar a cabo una planeación energética (incluida la evaluación de las necesidades energéticas nacionales), y para diseñar, probar, adaptar y difundir tecnologías energéticas alternativas.

El Centro para la Investigación de la Energía y el Medio Ambiente (CEER) de la Universidad de Puerto Rico firmó un Convenio de Consultoría con la Comunidad Económica del Caribe (CARICOM) y el Banco de Desarrollo del Caribe (BDC) para evaluar este proyecto al finalizar su segundo año de vigencia. A continuación se presentan los problemas que plantea desarrollar capacidad tecnológica en países en vías de desarrollo, tal como pudieron observarlos directamente, durante sus extensos recorridos por la región, los cuatro miembros del equipo de evaluación del CEER que hace poco visitaron nueve de los doce países miembros de la CARICOM. El mapa que se incluye más adelante muestra la región del Caribe y los países miembros del CARICOM.

Para cumplir con los objetivos del proyecto dos organizaciones regionales, el BDC y la CARICOM, comparten las labores. Idealmente, para desarrollar la capacidad tecnológica que la región necesita tendrían que realizarse primero las evaluaciones energéticas de cada país para que, a partir de ellas, se tomaran decisiones racionales sobre la localización óptima de los proyectos energéticos alternativos, tanto en sus primeras etapas de demostración como en las siguientes, de aplicación comercial. Durante ese lapso habría una capacitación continua de personal en todos los niveles y en todas las fases; asimismo, se establecería una sólida red de medios de comunicación a fin de difundir información que ayudara a la transferencia de tecnología y consolidara el esfuerzo de capacitación. En este estudio se analiza la situación real y se la compara con la ideal.

El primer paso para evaluar este proyecto consistió en examinar sus objetivos globales para comprobar si se cumplían, y revisar el calendario que se había propuesto. Se descubrió que el programa estaba rezagado por alguno de los motivos siguientes:

1. Se trata de un proyecto complejo, nunca antes emprendido y de tipo experimental que abarca a una docena de países en desarrollo, ninguno de los cuales había enfocado antes la energía de una manera integrada y completa.
2. Hubo dificultades para reclutar personal con la calidad deseada. Aún no se ha determinado en qué medida esto se debió a las limitaciones de los recursos disponibles y en qué otra a factores de localización, pero el equipo de evaluación estima que ambos factores fueron significativos.
3. Por varias razones las evaluaciones llevaron más tiempo de lo planeado. Fue necesario realizar una gran cantidad de trabajo preliminar para orientar a los países respecto a qué es una evaluación, asegurarles que los organismos internacionales de préstamo no la utilizarían en su contra y lograr que dichos países se comprometieran a suministrar los recursos nacionales y la información necesarios.
4. Diversos gobiernos locales, interesados en cooperar con el proyecto, tuvieron dificultades para decidir cómo afrontarían el problema energético desde el punto de vista organizativo. Es más, en algunos casos la organización de los asuntos energéticos se demoró a causa de la reorganización de otras actividades gubernamentales, no vinculadas con estas cuestiones. También hubo problemas para identificar al personal nacional idóneo o para transferirlo de otras actividades.
5. En algunos casos, las funciones relativas a asuntos energéticos se asignaron como deberes adicionales, a personas que ya desempeñaban otro cargo en los gobiernos nacionales. Si, por esta razón, dicha persona se sentía sobrecargada de trabajo, o consideraba que su asignación era únicamente temporal, es muy probable que no dedicara a estas funciones el tiempo suficiente.

Al recorrer los diversos países pueden percibirse con más claridad las limitaciones, tanto nacionales como regionales, que afectan la implantación del proyecto; a continuación se exponen algunas de las limitaciones nacionales y las razones de su existencia:

#### **Reducido tamaño del país, la economía y los sistemas energéticos**

Esto siempre resultará problemático en alguna medida, puesto que limita los recursos nacionales, humanos y económicos disponibles para la producción de energía, provoca deseconomías de escala (como, por ejemplo, la incapacidad para desarrollar ciertas especializaciones necesarias) y vuelve más vulnerable a la organización energética local ante los efectos de las modificaciones de personal, los cambios políticos, la fuga de cerebros, etcétera. Sin embargo, una vez que se cuente con programas regionales eficaces y se haya preparado una buena evalua-

ción energética tendrá que disminuir la importancia de esta limitación. En particular, diversas organizaciones regionales y sus asesores se encargarán de una parte adecuada del trabajo analítico, e instituciones regionales e internacionales se harán cargo del financiamiento.

### **Baja prioridad nacional a la energía**

Los dirigentes de un país podrían considerar que otros problemas resultan aún más urgentes que el energético y, por ende, negarse a proporcionar recursos humanos y económicos suficientes para resolver este último. Este caso podría presentarse aunque los programas regionales sobre fuentes energéticas representaran para el gobierno una ventaja monetaria a corto plazo.

### **El ministro de finanzas**

El ministro de finanzas “que ahorra los centavos y derrocha los pesos” se resiste a destinar dinero adicional a la energía porque no vislumbra ningún beneficio financiero inmediato para el gobierno. Que la economía del país pudiera obtener un buen beneficio a largo plazo no lo impresiona. Por razones poderosas, su preocupación fundamental consiste en el “aquí y ahora” del presupuesto, de modo que pide al ministro responsable de la energía que ahorre en otro renglón si desea gastar dinero en ella.

### **Falta de coordinación entre ministerios**

Esto puede suceder aun en los países más eficientes, pero resulta particularmente grave en el campo energético, que exige un grado de coordinación superior al promedio. Por ejemplo, puede haber buenas razones para asignar a diferentes ministerios las pruebas de campo y las demostraciones de tecnologías energéticas alternativas. Si la coordinación es deficiente, el ministerio a cargo de la energía podría llegar a perder el control sobre las prioridades programáticas y presupuestarias.

### **El problema del “deber adicional”**

En muchos países las funciones energéticas suelen asignarse a una o más personas como deberes adicionales, en lugar de emplear personal de tiempo completo para asuntos energéticos. No obstante, si se espera que los encargados de estas tareas desempeñen sus deberes originales con igual eficiencia y sin percibir una remuneración mayor, es muy probable que se sientan desmoralizados y descuiden algunas tareas. Si estas personas ya se hallaban sobrecargadas de trabajo, no servirá ni siquiera un aumento de sueldo.

### Administración indiferente o renuente a correr riesgos, en el sector privado

El personal que ha trabajado en estudios sobre conservación energética se ha tropezado con una extensa variedad de actitudes hacia la conservación de energía, tanto entre el personal de mantenimiento como en el de administración. En un extremo se encuentra una ignorancia casi total sobre los problemas de la energía y la posibilidad de ahorrarla cambiando las prácticas o el equipo actuales. O bien, aun cuando una administración está consciente de la conservación de energía, se comporta con indiferencia porque cree que puede transferir fácilmente a sus clientes los aumentos en el costo de la energía. En otros casos, el personal de mantenimiento se percata de que podrían lograrse determinados ahorros, pero la administración se resiste a realizar cambios. También hay administradores y propietarios renuentes a invertir en medidas y equipo para la conservación de energía, debido a eventuales riesgos políticos o económicos. Finalmente, existen administradores que son entusiastas "ahorradores de energía"; prueban los equipos más novedosos e instan a sus empleados a obtener una mayor eficiencia energética. Todo lo anterior significa que, por lo general, las decisiones sobre asuntos energéticos se toman en diversos niveles dentro de una misma organización y que, para obtener resultados eficaces en escala nacional, es necesario que la comunicación sobre energía se dirija a todos estos niveles.

Ya hemos identificado a éstas como restricciones nacionales. El área del Caribe también posee graves limitaciones regionales, tales como las siguientes:

### La complejidad inherente al problema energético y sus soluciones

El *Documento sobre Proyectos* identifica en varias ocasiones al reducido tamaño de los países participantes, sus economías y sistemas energéticos como un obstáculo importante y a menudo decisivo para hallar soluciones nacionales a los problemas energéticos, y justifica de manera vigorosa un enfoque regional. Resultaría menos costoso encarar los problemas energéticos de un grupo de pequeñas áreas vecinas sobre una base regional, que tratar de afrontarlos con un criterio individual, independientemente de que esas áreas constituyan países separados o subdivisiones de un país extenso. Empero, este enfoque no resultará más sencillo, sino más complejo; y, a menos que se reconozca específicamente y se tome en consideración esta mayor complejidad, se perderán muchas de las "economías de escala" inherentes al enfoque regional. Peor aún, en tal caso las soluciones deficientes prevalecerán *en toda la región*. Después de todo, si el problema energético fuera simple, un país pobre y pequeño podría ordenar una "solución" para su problema, tras consultar un catálogo de equipos.

Por desgracia, desarrollar la capacidad tecnológica para enfrentarse a los problemas energéticos inherentes utilizando soluciones alternativas resulta muy complejo por las siguientes razones:

a) Los sistemas de fuentes alternativas de energía suelen basarse en tecnologías distintas a las que ya se utilizan, complejas o novedosas. Por otra parte, las tecnologías de energía solar directa, eólica, geotérmica, y de marcas oceánicas dependen mucho de las características del lugar en que se utilicen; también, en buena medida, la energía proveniente de biomasa.

b) Muchas de las tecnologías, piezas de equipos y métodos pueden resultar nuevos y no probados, al menos bajo las condiciones para las cuales se propusieron.

c) Rara vez el "experto" en un tipo de sistema es igualmente experto en otro, y no siempre se cuenta con normas de eficacia comprobada para juzgar la idoneidad de una persona determinada.

En síntesis, cuanto mayor es el área, mayor resulta la variedad de tecnologías, equipos y condiciones de la localidad que deben tomarse en consideración. Aun si se dispusiera de los recursos humanos y financieros necesarios, sería poco aconsejable que los diversos organismos oficiales de la región trataran de saber todo lo referente a cuestiones energéticas. El problema energético tiene tantas facetas que casi cualquier país del mundo podría aportar algo a otro país. Parte de la ventaja de un enfoque regional consiste en que permite resolver cuándo recurrir a asesores y dónde encontrarlos, dentro o fuera de la región.

Las evaluaciones, así como los estudios sobre políticas y conservación energética, adquieren una importancia excepcional como base para la toma de decisiones. Por esta razón es necesario hacer todo lo posible para realizarlos satisfactoriamente y ayudar a los países a pasar de dichos estudios a una acción efectiva. Por supuesto, también las organizaciones regionales deberán alentar a los países a complementar los informes sobre subproyectos con recomendaciones para la acción. En cuanto a los programas y subprogramas, éstos deberán poseer algún objetivo específico de capacitación, aun si no se trata de una actividad de capacitación *per se*.

### **Falta de coordinación entre organismos de ayuda internacional**

Hay muchos organismos multilaterales y bilaterales de ayuda internacional que actúan en el Caribe, y muchos de ellos incluyen en sus programas, actividades sobre fuentes alternativas de energía. El *Documento sobre Proyectos* identifica 19 organismos que tienen en marcha, han terminado o han propuesto proyectos de este tipo.

Con 19 organismos donantes, dos agencias regionales, una docena de gobiernos e innumerables ministerios en el panorama, resulta muy probable que se presenten casos notables de traslape, duplicación o simple falta de coordinación. En particular, es especialmente probable que haya problemas en las áreas de capacitación y de proyectos sobre equipo básico, sobre todo si ciertos organis-

mos donantes tienen preferencia por determinadas instituciones educativas o fabricantes. De la misma manera, el número de pruebas de campo y demostraciones de una tecnología específica puede obedecer más al número de fuentes de financiamiento y de fabricantes, que al diseño de la investigación basado en el análisis de un problema en particular. En suma, la situación actual fomenta la persistencia del problema de coordinación.

### La gran variedad de condiciones en la región

Entre los países del Caribe que se mencionan en el *Documento sobre Proyectos* se da una insólita variedad de condiciones: el consumo de energía en millones de BTU (unidades térmicas inglesas) per cápita varía de 5.9 en Haití a 47.5 en Guyana; el PIB per cápita fluctúa entre 230 dólares en Haití y 1,800 en Barbados, y la población va desde los 12,700 habitantes de Montserrat hasta los 5.1 millones de la República Dominicana. De ahí que el grado hasta el cual un país pueda emprender actividades en el campo energético y la proporción de asistencia regional que requerirá se hallen sujetos a variaciones significativas de un país a otro. Esto implica que el personal de las organizaciones nacionales para asuntos energéticos puede variar de uno a quince participantes, y que cada institución deberá "diseñarse sobre pedido". También la asistencia regional deberá "cortarse a la medida" de las necesidades de cada país; y las organizaciones regionales tendrán que estar preparadas para ofrecer una variedad de servicios en distintos grados de profundidad.

Entre las principales áreas sometidas a evaluación se encuentran: los programas de política energética; capacitación, comunicación e información y tecnología, puntos que se analizarán a continuación.

En el caso del Programa de política energética, originalmente se esperaba que las manifestaciones físicas del proceso de planificación incluirían: evaluaciones energéticas del país, estudios sobre políticas nacionales y estudios sobre políticas regionales. No cabe duda de que las evaluaciones y sus estudios adjuntos han mejorado las bases de información de los países en donde se han efectuado, aun en aquellos donde ya se había realizado en años anteriores un trabajo considerable en materia de datos. Además, la capacitación que surgió del mismo trabajo permitió a las instituciones participantes superar su nivel de capacidad tecnológica. Por otra parte, una evaluación correctamente realizada incluye análisis de la demanda energética, tendencias y fijación de precios; y una serie de evaluaciones puede también identificar cuestiones energéticas que podrían tratarse mejor sobre una base regional. Sin embargo, que esto inicie o no un proceso de planificación energética, o que este proceso se incorpore a la planificación nacional y se comprenda la relación entre desarrollo económico y energía, constituyen asuntos por completo distintos. En buena medida, ello depende de las restricciones nacionales en cuanto a la implantación del proyecto, pero también depende mucho de los programas de comunicación, información y capacitación. En definitiva, para que la planificación sea algo más que un mero ejercicio académico, sus

resultados deben producir cambios en la sociedad. La prueba de fuego de cualquier evaluación consiste en comprobar si se le utiliza como base para estudios sobre políticas, decisiones políticas y programas de acción, o si se le archiva en algún cajón y se le olvida. Dadas las actitudes, el entusiasmo y la organización actuales, existen muchas probabilidades de que las evaluaciones conduzcan a una acción positiva en, por lo menos, dos o tres de los cuatro países que a la fecha participan en el Programa.

En cuanto a los cambios ocurridos en la capacidad tecnológica como consecuencia de las actividades actualmente en curso, cabe señalar que se llevó a cabo uno muy importante en la organización regional. Esta última puede ahora jactarse de poseer una unidad energética propia, experimentada y muy prometedora; sin embargo, el grado y el ritmo de la transformación todavía no son suficientes en cada país para asegurar la consecución de los objetivos del Proyecto.

Con respecto a la segunda área, el Proyecto reconoce la importancia de la capacitación, comunicación e información como un medio para alcanzar su meta general.

Existen pocas personas en la zona, capacitadas para contribuir a la obtención de las metas del proyecto; sin embargo, hay instituciones que pueden adquirir la capacidad para formar tanto diseñadores de políticas energéticas como personal técnico. Si se considera la extensión del área geográfica en la que están dispersos los países participantes, y la carga que esto representa para instalar un sistema eficaz de capacitación, cobra importancia la necesidad de que cada programa y subproyecto contenga algún aspecto y objetivo específicos de capacitación, aunque no constituya una actividad de capacitación en sí mismo.

Al analizar proyectos de capacitación, es de gran importancia elegir aquellos que atiendan a los problemas energéticos nacionales, siempre y cuando se consideren prioritarios los problemas que afectan a más de un país. Las evaluaciones energéticas nacionales servirán para elaborar los proyectos de capacitación y para maximizar el carácter regional de las actividades.

Los seminarios y talleres son importantes para el proyecto de capacitación. Es esencial que los seminarios de capacitación sean prácticos y estén bien organizados. Las metas operativas tendrán que determinarse *a priori* y enviarse a los participantes; de esta forma se garantizará una autoevaluación objetiva y válida. Además, los maestros y líderes de grupo deberán seleccionarse con base en su experiencia como educadores. Si es posible, el personal deberá estar familiarizado con la situación nacional de los presuntos participantes, de tal modo que se elija material educativo pertinente para los problemas energéticos de estos países.

Hasta ahora no se ha sentido el efecto de elementos tales como la comunicación y la información. En parte, ello puede atribuirse a las dificultades que suelen presentarse cuando se pone en marcha cualquier programa. Sobre todo, la complejidad de dirigir la comunicación a una vasta región geográfica, con zonas aisladas, de escasa o nula infraestructura de apoyo para un sistema de información, constituye el factor responsable principal de que hasta la fecha no

se haya logrado un efecto apropiado. Por otra parte, con respecto a la información se ha progresado notablemente en ciertos aspectos de procedimiento y organización; sin embargo, el empleo cabal de los países participantes de un servicio bibliográfico recién establecido no alcanza aún un nivel significativo, si bien éste va en aumento.

Siempre que se disponga de evaluaciones energéticas nacionales, deberá intentarse una revisión a fondo del plan de actividades de capacitación, comunicación e información, tomando en cuenta los resultados de aquella evaluación y otras recomendaciones de este informe. Con tal objeto, sería conveniente utilizar a un asesor en comunicación/capacitación. Además, el aumento de la asistencia técnica a las instituciones locales es sumamente importante para el éxito de cada actividad y del programa en general, así como para mantener al programa dentro del campo de acción que este mismo se ha impuesto.

La tecnología representa la última área que analizaremos. Para su información, he aquí algunos de los proyectos energéticos clave actualmente en marcha dentro del programa:

<i>Proyectos</i>	<i>País beneficiario</i>
Evaluación de recursos energéticos eólicos y solares	Región
Diseño-Construcción-Supervisión Edificio de energía solar pasiva del Banco de Desarrollo del Caribe	Barbados
Demostración de energía eólica	Antigua
Estudio de viabilidad comercial de calefacción no convencional de agua en el sector turismo	Grenada
Evaluación de recursos de turba	Belice
Deshidratación de chiles con energía solar	Guyana
Instalación experimental de calefacción de agua por energía solar —Instituto Nacional de Normas de Barbados	Región
Planta piloto para desfibramiento de plátano	Sta. Lucía
Programa energético integral para una propiedad rural	San Vicente
Promoción de deshidratadores solares sencillos de uso doméstico para alimentos	Región
Alimentos y fertilizantes a partir de desechos proteínicos	Barbados

Todos estos proyectos están progresando satisfactoriamente, pero es necesario tomar en consideración los siguientes comentarios generales:

Antes de otorgar cualquier préstamo conforme al programa, debe comprarse que la institución que lo solicita recibirá la asistencia técnica apropiada para llevar a cabo sus actividades. A menudo, la falta de asistencia técnica de campo provoca demoras del proyecto que se originan en los países directamente implicados. Los funcionarios del proyecto deben realizar visitas de campo con más frecuencia para apoyar las actividades en curso. Es necesario que la unidad de comunicación desempeñe permanentemente el papel de enlace, para ayudar a los miembros del equipo técnico a cumplir sus funciones.

Algunas de las dificultades que afronta el programa energético y el estancamiento en algunas áreas obedecen a la carencia de experiencia técnica institucional en materia de fuentes alternativas de energía, tanto de la organización regional como de las instituciones locales. Con programas adecuados de política energética, programas de capacitación bien planificados, más redes de comunicación eficientes e información fácilmente accesible, los nuevos técnicos que se capaciten constituirán la espina dorsal de una nueva institución de individuos dispuestos a afrontar los desafíos implícitos en los problemas energéticos que la región del Caribe deberá encarar en lo que resta del presente siglo y principios del próximo. Empero, este nuevo equipo de técnicos pronto reconocerá que no existe estrategia alternativa de desarrollo que permita evadir fácilmente las restricciones que impone el aumento de los costos energéticos.

## IMPLANTACION DE UNA INDUSTRIA NUCLEAR EN UN PAIS SIN LA CAPACIDAD TECNOLOGICA: EL CASO DE IRAN

*Bijan Mossavar-Rahmani*

En los países industrializados, la energía nuclear se enfrentaba a serios problemas aun antes del episodio de Three Mile Island. Hacía varios años que las órdenes de compra de reactores nucleares no cumplían las expectativas despertadas en 1973 por el rápido aumento del precio del petróleo. Cuando disminuyeron las perspectivas de ventas en sus países de origen, los principales fabricantes nucleares (como la Westinghouse Electric Corp. y la General Electric de Estados Unidos, la Kraftwerkunion de la RFA y la Framatome de Francia) se orientaron cada vez más hacia los inexplorados y más lucrativos mercados de exportación, sobre todo en el Tercer Mundo, en busca de alivio a sus problemas.

Los vendedores nucleares se dirigieron a Corea del Sur, Taiwán, Brasil, Irán y las Filipinas, entre otros, para ofrecerles no sólo reactores sino toda la gama de los servicios vinculados con el ciclo del combustible: el enriquecimiento del uranio, la fabricación del combustible y el reprocesamiento del combustible utilizado. En rápida sucesión obtuvieron órdenes de compra por decenas de miles de millones de dólares. Parecía inminente la obtención de varias más.

No obstante, al tiempo que cada vez más países del Tercer Mundo comenzaban a levantar los cimientos de sus instalaciones nucleares, en varios lugares se empezó a debatir la conveniencia de esa evolución.

Por un lado, algunos países industrializados, y en particular Estados Unidos, expresaron su preocupación: dado el régimen nuclear internacional vigente, las ventas de tecnología contribuían a la proliferación de las armas nucleares en todo el mundo; por ello, buscaron los medios para poner coto a esa tendencia. La explosión subterránea de un artefacto nuclear de 15 kilotones, que llevó a cabo la India en 1974, desencadenó esa preocupación. Se decía que este país había construido su "bomba" con plutonio procesado a partir del combustible de un reactor suministrado por Canadá con fines de investigación, y que lo había hecho sin violar la letra de los acuerdos vigentes de salvaguardias. Creció la preocupación por la posibilidad de que se difundiera aún más la capacidad de construir armas nucleares cuando se propuso la venta del ciclo de combustible nuclear llamado "sensitivo" a Brasil, Corea del Sur y Paquistán.

Por otro lado, los planificadores energéticos de cuando menos algunos países subdesarrollados con grandes expectativas y programas de energía nuclear —sobre todo los de Irán— comenzaron a cuestionar la conveniencia de seguir adelante con esa opción. Sus planteamientos no sólo se centraban en la proliferación de las armas nucleares, sino en la viabilidad económica, técnica y ecológica de los reactores, especialmente en los países que disponían de otras fuentes de energía, sobre todo si éstas eran nacionales.

Como consecuencia de estas preocupaciones, que surgían tanto entre compradores como entre vendedores, de 1978 a 1980 disminuyeron las perspectivas de grandes ventas nucleares. Varios países en desarrollo con importantes programas de energía nuclear estudiaban la posibilidad de recortarlos considerablemente; hoy en día, las posibilidades de esta fuente no parecen mejores en los países en desarrollo que en los desarrollados.

Irán, cuyo programa nuclear estaba entre los más ambiciosos del mundo en desarrollo (23 000 MWe —megavatios eléctricos— en veinte años), ha hecho uno de los cambios de rumbo más notables y parece haberlo cancelado. Aunque la causa inmediata fue la revolución que sustituyó al régimen de Pahlevi por un gobierno islámico, las presiones internas para revalidar el programa se estaban acumulando desde hacía algún tiempo, y es muy probable que la meta original se hubiera recortado de todos modos.<sup>1</sup>

En este artículo describiremos los orígenes y el desenvolvimiento del programa iraní de energía nuclear de 1974 a 1978; recogeremos las principales críticas a los costos y riesgos económicos, infraestructurales y políticos del programa, tal como estaba planeado originalmente y analizaremos las lecciones que pueden extraer del caso de Irán otros países en desarrollo que tengan programas nucleares en estudio o en ejecución.

## Los orígenes del programa Iraní de energía nuclear

En buena medida, el interés de Irán por emprender un programa de energía nuclear en gran escala fue estimulado, como en muchos otros países, por los acontecimientos del mercado energético internacional en 1973 y 1974. La casi cuadruplicación del precio del petróleo y la permanente incertidumbre sobre los suministros que sucedió al embargo petrolero llevaron a los principales países desarrollados a intensificar su búsqueda de fuentes energéticas baratas, abundantes y nacionales. La opción nuclear parecía la más atractiva. Cuando el crudo se vendía entre dos y tres dólares el barril, las comparaciones de costos con plantas que consumían petróleo indicaban un mercado creciente para la energía nuclear.

<sup>1</sup> Véase, del autor, "Reassessing Iran's Nuclear Energy Program," ponencia presentada en un congreso sobre las relaciones entre Irán y Estados Unidos, realizado en Washington en octubre de 1977. Se publicó en Abbas Amirie y Jamilton A. Twitchell (Comps.), *Irán*

Al subir aquel precio a más de 11 dólares, la presunta competitividad de la energía nuclear parecía mucho mayor aun en los países industrializados.

Las mismas consideraciones y cálculos de costos fueron la fundamentación del gran programa nacional de energía nuclear en Irán. Se sostuvo que los precios del petróleo seguirían aumentando periódicamente, en tanto que el costo de la energía nuclear se había estabilizado relativamente. Por consiguiente, en lugar de quemar petróleo, Irán debía exportarlo para obtener las divisas requeridas por su programa de desarrollo, y generar la electricidad con un costo menor en plantas nucleares. Además, al desarrollar la energía nuclear en su propio territorio, Irán predicaba con el ejemplo su propuesta búsqueda mundial de sustitutos de los combustibles de origen fósil, reservando el petróleo para sus usos más importantes en la industria petroquímica. También se sostuvo que la energía nuclear ayudaría a diversificar la base energética del país y a construir una infraestructura viable para cuando la producción nacional de petróleo declinase. Debe agregarse el elemento de prestigio vinculado con la construcción y operación de plantas nucleares.

### *Otras consideraciones*

Empero, cuando menos otras dos consideraciones también pesaron mucho en la decisión iraní de emprender un gran programa de energía nuclear. En primer lugar, Irán sufría una gran presión —por lo menos, creía sufrirla— para que “recirculase” sus recién incrementados ingresos petroleros mediante compras masivas de bienes y servicios en los principales países occidentales industrializados. En segundo término, la familia real y otras personas muy vinculadas a ella, que solían recibir enormes comisiones sobre los contratos con el exterior, para facilitar e incluso para aprobar los principales proyectos, tenían mucho que ganar en la compra de reactores, cada uno de los cuales costaba varios miles de millones de dólares. Según empresarios y funcionarios públicos cercanos al programa nuclear iraní, las comisiones de las primeras compras de reactores se fijaron cerca de un inusitado 20% de los contratos, es decir, varios cientos de millones de dólares por reactor.<sup>2</sup>

No se ha podido —y probablemente nunca se podrá— probar la cifra real de las comisiones pagadas o previstas. No obstante, no hay duda de que en los niveles más altos se manejaron considerables “recompensas”, que tuvieron su importancia para determinar el modo solapado en que se elaboró el programa nuclear desde un principio, así como para explicar la insistencia del régimen en mantenerlo a pesar del creciente reconocimiento de que era inadecuado para el país.

---

*in the 1980s*, Institute for International Political and Economic Studies y Stanford Research Institute, Teherán, 1978.

<sup>2</sup> Entrevistas con funcionarios y ex funcionarios de la Organización Iraní de Energía Atómica y con importantes empresarios vinculados con el programa, realizadas en Teherán en abril de 1979.

Es probable que las consideraciones militares no hayan contribuido en la decisión de emprender el programa nuclear. Posiblemente, el Gobierno iraní creía que podría llegar a adquirir capacidad nuclear bélica como resultado de sus grandes inversiones en esa tecnología. Sin embargo, obtener armamentos no fue la razón inmediata o importante para emprender, y después para mantener, el programa. En general, se pensaba que había formas más rápidas, baratas y "limpias" de adquirir armas nucleares que llevar a cabo grandes inversiones en reactores.

### *Los fundamentos de la decisión*

Se había decidido instalar una capacidad nuclear de 23 000 MWe en 20 años, es decir, hasta 1994.<sup>3</sup> No es sorprendente que, una vez adoptada en principio la decisión, el estudio encargado a una empresa de consultoría canadiense-iraní confirmase la opción gubernamental por un programa nuclear de gran escala, al afirmar que "la nuclear es la fuente energética más económica para la operación de carga básica y para la de rango medio hasta por tan poco tiempo como 4 800 horas anuales, es decir, con un factor de capacidad anual de alrededor de 55%".<sup>4</sup>

Empero, el estudio contenía varias premisas engañosas, cuando no erróneas, que determinaban sus resultados. Por ejemplo, se establecía el costo de construcción de un reactor de agua ligera de 1 000 MWe en 550 dólares por KWe instalado, más 140 dólares adicionales por KWe en pago de intereses durante la construcción, lo cual llevaría el costo total a 690 dólares por KWe instalado. En realidad, estimaciones posteriores indicaron que ese costo debía ser muy superior a 3 000 dólares por KWe instalado.<sup>5</sup> Además, al tiempo que se subestimaba el costo de la energía de generación nuclear, en el estudio se sobrestimaba el costo de la generada con los abundantes recursos fósiles del país. Por ejemplo, se establecía que el precio del gas natural nacional era de 1.8 dólares por cada mil pies cúbicos, no sólo superior al vigente entonces en todo el mundo sino 1.65 dólares mayor que las mejores expectativas de Irán según el programa de exportación que se estaba elaborando. En ese estudio también se omitieron por completo otros factores —infraestructurales, políticos, económicos, de mano de obra, sociales y ecológicos— que debieron pesar en cualquier análisis objetivo de la opción en Irán.

No obstante sus defectos evidentes, es probable que este estudio haya sido el instrumento más importante del Gobierno para justificar la puesta en marcha de su programa nuclear.

<sup>3</sup> La cifra de 23 000 MWe es un dato más o menos arbitrario, basado en las expectativas del Gobierno sobre cuál debería ser la necesidad energética nacional a comienzos del decenio de los noventa. La intención explícita del Gobierno era aumentar el consumo per cápita de energía hasta llevarlo al nivel de Europa Occidental en unos 20 años, y abastecer con reactores alrededor de 40% de la capacidad instalada total requerida para tal fin.

<sup>4</sup> Monenco Irán y Montreal Engineering Company, *Power Study of Irán 1974-75, Final Report* (informe confidencial al Gobierno Imperial de Irán), abril de 1975, pp. 3-24.

<sup>5</sup> La Monenco estimó el costo total del programa iraní de energía nuclear de 23 000 MWe en 24 000 millones de dólares de 1974. Según cálculos posteriores, la cifra real sería de cuatro a seis veces más.

*La negociación de las compras de reactores*

La Organización Iraní de Energía Atómica se estableció en 1974. Inmediatamente emprendió negociaciones con varios países abastecedores (entre otros, con Estados Unidos, Canadá, Francia, la RFA, Gran Bretaña, Australia, la India y varios de Africa) para obtener capacitación y ayuda tecnológicas y para la compra de equipos y combustible. El primer contrato se firmó con la Kraftwerk-union (KWU) de Alemania Occidental por dos reactores de agua ligera a presión de 1 190 MWe cada uno, que se compraban "llave en mano", es decir, listos para funcionar. La KWU también se comprometió a suministrar la carga inicial de combustible y las recargas necesarias para los primeros diez años de operación.

Ya estaba muy avanzada la construcción de estos dos reactores en Halileh, cerca de la ciudad de Bushehr, sobre el Golfo Pérsico, y se preveía que comenzarían a funcionar a comienzos de 1980, cuando el país se vio sacudido por graves conflictos políticos. Como resultado de huelgas de los obreros iraníes y del gran éxodo de técnicos extranjeros, a fines de 1978 se suspendió el trabajo en los reactores, que ya tenían uno 80 y otro 50% de avance. No se ha reanudado el trabajo en estas plantas; su destino aún es incierto, a pesar de la generalizada convicción de que debe anularse todo el programa nuclear. Según el fabricante, Irán ya pagó unos 2 750 millones de dólares del costo total del proyecto, que supera a los 7 000 millones.

Asimismo, Irán había ordenado a la empresa Framatome, de Francia, dos reactores de agua ligera presurizada de 935 MWe, que debían instalarse en Darkhouin, cerca de Ahwaz, en el sudoeste del país, también llave en mano. El contrato con la Framatome también incluía un acuerdo para el combustible, por el cual la empresa francesa suministraría uranio enriquecido para la planta, si Irán lo solicitase, hasta por diez años. También se convino que el combustible utilizado en la planta se enviaría a Francia para reprocesarlo, y el uranio recuperado se devolvería a Irán para su enriquecimiento y uso o para venderlo a terceros. Este acuerdo no preveía la devolución del plutonio.

El trabajo en estos reactores comenzó en 1977 y se suspendió como consecuencia del conflicto político; es prácticamente seguro que no se reiniciará.

Además de los reactores en construcción, Irán había firmado una carta de intención con la KWU por cuatro reactores de 1 200 MWe, enfriados con aire o en seco, que se instalarían en la parte central del país, y se habían elaborado borradores de una carta de intención para la Brown Boverie, de Alemania Occidental, sobre dos reactores similares. A mediados de 1978, las negociaciones sobre estos cuatro reactores se suspendieron indefinidamente.

Irán había negociado la compra de reactores con empresas estadounidenses en diversas ocasiones. Las conversaciones de 1975 preveían la instalación de seis a ocho. Sin embargo, la firma de los contratos se detuvo, primero en espera de la legislación pendiente sobre la política de exportaciones nucleares de Estados Unidos y, después, de la aprobación de un acuerdo bilateral de salvaguardias

nucleares entre ambos países. Es innecesario decir que el acuerdo bilateral está hoy fuera de cuestión.

### *El suministro de combustible*

Durante el período 1974-1978, mientras se negociaba la compra de reactores, Irán también discutió con Estados Unidos y varios países de Europa Occidental la posibilidad de invertir en instalaciones de enriquecimiento de uranio. Adquirió una participación de 10% en una planta de enriquecimiento por difusión gaseosa que Eurodif construía en Tricastin, Francia. También Francia, España, Bélgica e Italia eran accionistas. La planta comenzó a funcionar hace poco tiempo y alcanzó toda su capacidad de producción a finales de 1981. Irán aceptó suscribir 25% de las acciones de una planta similar que construiría Coredif, otro consorcio en el cual también participaban los cuatro países mencionados. No obstante, Irán e Italia reconsideraron después su compromiso, debido al probable exceso de capacidad de enriquecimiento que habría en el mundo en el decenio de los ochenta y a la disminución de sus propias necesidades por el recorte de sus programas nucleares. El Gobierno francés, que esperaba que la planta de Coredif se construyese en su territorio, siguió promoviendo el proyecto activamente durante algún tiempo. Sin embargo, el retiro de Irán supone que la planta será mucho menor de lo previsto, o que su construcción se pospondrá o se abandonará.

En cuanto al uranio natural, Irán adquirió unas 28 000 ton de mineral para sus reactores en varios países, negoció inversiones conjuntas para exploración y desarrollo de minas en otros, y se embarcó en un plan de diez años y 300 millones de dólares para la búsqueda de uranio en el país.

En la actualidad, todavía es incierto el destino de todas estas inversiones.

### **La crítica del programa nuclear iraní**

Mientras que Irán avanzaba con rapidez en la puesta en práctica de su programa nuclear, las perspectivas mundiales de este tipo de energía se habían modificado drásticamente. La euforia inicial había dado paso a profundas reconsideraciones sobre la conveniencia, y aun la necesidad, de depender de una tecnología que resultaba cada vez más controvertida en cuanto se refería a la seguridad, sobre todo una vez que se hizo evidente el encarecimiento de sus costos.

A los tres años de adoptada por Irán la decisión inicial de embarcarse en un gran programa de energía nuclear, se hacía cada vez más claro que ésa ya no era una forma relativamente barata de generar electricidad. En verdad, incluso en las naciones industrializadas los crecientes costos de instalación y de operación (incluidos los del combustible) habían eliminado toda posible ventaja de la energía nuclear con respecto a las plantas generadoras que utilizaban carbón o petróleo.

Sin embargo, en muchos círculos iraníes, y entre el gran público de ese país, subsistía el mito de la energía nuclear como una opción casi inagotable, segura y barata. Tampoco podría esperarse que la creciente burocracia nuclear disipase el mito. Menos aún lo harían las empresas transnacionales fabricantes y exportadoras de reactores. Enfrentadas a una disminución de las ventas en sus países, éstas se habían vuelto hacia los lucrativos mercados del exterior. Puesto que cada contrato de exportación de un reactor de 1 000 MWe podía llegar a miles de millones de dólares, era mucho lo que había en juego en cada venta y las empresas desplegaban toda su capacidad de comercialización para colocar sus equipos.<sup>6</sup> Los gobiernos de los países de origen de la tecnología también promovían en forma activa la exportación de equipo y servicios, para mejorar sus balanzas de pagos y para mantener a flote a sus industrias nucleares; a menudo ofrecían grandes créditos a la exportación, cuando eran necesarios para "dorar la píldora".

### *La necesaria reconsideración*

A fines de 1977, al conocerse los grandes recortes de la capacidad nuclear planificada por otros países, en Irán se acumuló la presión suficiente para reconsiderar las metas nucleares originales. Un pequeño grupo de críticos, integrado tanto por especialistas en energía como por economistas oficiales y académicos, comenzó a sostener, primero en privado y después también públicamente, que la alta burocracia nuclear no evaluaba (o, quizá, no difundía) adecuadamente los costos y riesgos crecientes implícitos en un gran programa nuclear. En particular, esos críticos impugnaban la persistente afirmación del Gobierno y de su organismo de energía atómica de que ésta ofrecía al país una opción segura y barata frente a los combustibles fósiles, y exigían una evaluación cuidadosa de todas las posibilidades disponibles.

La mayoría de estos expertos no había sido consultada a la hora de evaluar y planificar el programa nuclear. Este había sido iniciado, primero, y después dirigido muy de cerca, por el propio Sha y un círculo muy cerrado de socios y consejeros políticos, nacionales y extranjeros. La puesta en marcha del programa, así como los esfuerzos por legitimarlo internacionalmente y por fundamentarlo en el interior del país, se había confiado al Director de la Organización Iraní de Energía Atómica y a varios de sus subordinados. Según los críticos, casi todos estos individuos carecían de la capacidad necesaria para conducir el programa.

<sup>6</sup> En sus planteamientos ante al Gobierno iraní, los proveedores subestimaban sistemáticamente los costos de la energía nuclear sólo en las etapas finales de la negociación comercial dieron a conocer cifras mucho mayores. Ya comprometidos en la compra, a los negociadores iraníes se les hacía difícil, por razones políticas, echarse atrás. Por ejemplo, cuando Francia planteó por primera vez a Irán la venta de reactores, en 1974, los informes de la prensa iraní (citando a fuentes francesas) estimaban el costo de capital del KWe instalado en unos 200 dólares. Al firmarse el contrato, un año después, el costo básico ya era diez veces mayor: 2 000 dólares por KWe instalado. El costo real, incluidos aumentos e intereses durante la construcción, casi llegó a 3 500 dólares corrientes por KWe.

Por cierto, cuando el Sha comenzó a “limpiar la casa” durante el verano de 1978, en un desesperado intento por mantenerse, despidió al Director de la Organización e investigó las acusaciones de mala administración que se le formulaban.

Este movimiento era un síntoma de la creciente inquietud que el programa nuclear empezó a provocar en el Gobierno después de 1978. Como consecuencia de las críticas, cada vez más audibles, se estableció una pequeña comisión asesora del Primer Ministro para analizar el programa y recomendar los cambios necesarios.<sup>7</sup> La comisión concluyó que el Gobierno debía declarar una moratoria de todas las nuevas actividades nucleares, para dar tiempo a revalidar el papel potencial de la energía nuclear frente a las otras fuentes de que disponía Irán.

Los acontecimientos políticos superaron a esta comisión y a otros esfuerzos por evaluar cuidadosa y objetivamente las opciones energéticas del país. Sin embargo, es probable que los principales argumentos elaborados en aquel momento contra el programa nuclear mantengan su validez en el futuro previsible. Tales argumentos pueden resumirse así:

*La seguridad del suministro.* A largo plazo, los reactores nucleares no pueden proporcionar a Irán una fuente energética constante y segura. Para su funcionamiento, la generación actual de los reactores de agua ligera, que debía llegar a una capacidad instalada de 15 000 a 20 000 megavatios eléctricos en 1994, requiere el suministro de uranio natural. Empero, la disponibilidad mundial de uranio es limitada; por varias razones económicas, políticas y técnicas, Irán podría tener dificultades para abastecerse de uranio durante toda la vida previsible de sus plantas.

Dado el vínculo posible entre la difusión de los equipos, combustibles y tecnologías nucleares civiles, por un lado, y la proliferación de armamento nuclear, por otro, tres de los principales países con grandes yacimientos de uranio ya han intentado imponer condiciones muy severas de exportación: Australia, Canadá y Estados Unidos.

Es muy probable que las consideraciones de tipo político sigan desempeñando un papel muy importante en el mercado; puede preverse una intervención todavía mayor de los principales productores por razones de seguridad, debido a lo cual el mercado seguirá siendo inestable e impredecible.

Esta inestabilidad se complicará más aún porque la mayor parte de este escaso producto seguirá en manos de sólo un puñado de países; hoy en día, los cuatro principales productores abarcan 90% del uranio que se extrae en el mundo no comunista. A pesar del ingreso de importantes productores como Nigeria, Gabón y España, se supone que el mercado seguirá dominado por aquellos cuatro países hasta fines del próximo decenio.

<sup>7</sup> Esta comisión comenzó a reunirse a mediados de 1978. Dependía del primer ministro, Jamshid Amuzegar, y del ministro de Asuntos Económicos y Financieros, Mohammad Yeganeh. Ambos eran partidarios de una revalidación minuciosa del programa energético nuclear.

Este grado de concentración (si no de cartelización) del mercado tiene consecuencias importantes para los precios del uranio. Por ejemplo, es imposible saber si serán constantes en términos reales durante los próximos años, o si sufrirán aumentos considerables, como en el período 1973-1978, cuando se multiplicaron de cinco a seis veces como resultado de manipulaciones en el mercado.

Además del cartel de productores, Irán debe enfrentarse a un segundo mercado muy politizado, inestable y cartelizado: el de los servicios de enriquecimiento de uranio. En la actualidad, Estados Unidos tiene un monopolio virtual sobre esos servicios, aunque la Unión Soviética ha logrado cierto ingreso en el mercado. Otros dos proyectos europeos están en marcha: el Urenco, inversión conjunta de Gran Bretaña, la RFA y los Países Bajos, y el consorcio Eurodif, encabezado por Francia y que, por lo menos hasta la revolución, incluía a Irán. Si se construye la prevista planta de enriquecimiento alemana en Brasil, éste será el único país en desarrollo con acceso directo a tal servicio, a pesar de la participación indirecta de Irán en el Eurodif.

Debido a que los abastecedores nucleares han resuelto restringir sobremanera, cuando no prohibir, toda nueva venta de tecnologías de enriquecimiento "sensitivas", que podrían utilizarse para producir uranio apto para armamentos, los países en desarrollo con reactores de agua ligera seguirán dependiendo de ellos para obtener el combustible de sus reactores. Aun cuando fuese posible comprar instalaciones de enriquecimiento, las economías de escala impedirían que funcionaran de modo rentable en los países en desarrollo más pequeños.

Los abastecedores han mostrado cierta disposición de ofrecer uranio enriquecido en el marco de un acuerdo completo de no proliferación nuclear. Sin embargo, ciertos hechos históricos plantean dudas sobre la credibilidad de tales garantías en el largo plazo; en particular, nos referimos a la moratoria temporal que impuso Estados Unidos sobre los nuevos contratos de enriquecimiento a mediados de los años setenta, y la discusión interna que se lleva a cabo en Australia sobre la producción de uranio.

No es probable que el plutonio producido en la etapa final del ciclo del combustible pueda utilizarse como elemento para presionar a los abastecedores de uranio y de servicios de enriquecimiento.

El combustible utilizado en los reactores de agua ligera puede reprocesarse para obtener uranio aún no utilizado, así como plutonio transformado a partir de los isótopos pesados originales del uranio. Ambos pueden volver a utilizarse como combustible en los reactores.

Sin embargo, el plutonio recuperado es muy tóxico y puede utilizarse para fines bélicos, lo cual hace muy controvertido tal reprocesamiento. Estados Unidos, país clave en ese mercado, ha pospuesto en forma indefinida el reprocesamiento comercial de combustible utilizado, y ha exhortado a otros países a que hagan lo mismo; se supone que muchos lo harán. Empero, aunque varios países (Francia y Gran Bretaña, por ejemplo) mantuviesen en operación sus instalaciones actuales de reprocesamiento, seguirían siendo inciertos e impredecibles

los términos en que podrían ofrecer sus servicios a los países en desarrollo. Sin duda, la venta de las instalaciones seguirá prohibida durante muchos años, debido a la preocupación por las salvaguardias. De todos modos, para los países en desarrollo con programas nucleares limitados no es conveniente reprocesar el combustible, ni enriquecer el uranio, debido a los altos costos.

Por último, Irán se enfrenta a otro grupo muy concentrado de proveedores de equipo nuclear, que suministra no sólo los reactores sino, lo que es tan importante como éstos, las refacciones y los técnicos capacitados necesarios para construir, operar, mantener y eventualmente desmantelar las instalaciones nucleares y disponer del combustible usado.

Hoy en día, el mercado de los reactores está dominado por seis grandes conglomerados que, a pesar de que compiten por las ventas al exterior, están muy vinculados entre sí. Los dos principales fabricantes nucleares estadounidenses, la Westinghouse Electric Corp. y la General Electric, que disponen de unos dos tercios del mercado interno de su país, también participan muy ampliamente en los programas europeos y japonés de energía nuclear.

Por ejemplo, el principal reactor nuclear que funciona hoy en día en Alemania Federal es virtualmente idéntico al reactor de agua hirviendo de la General Electric, y el principal reactor de exportación que produce ese país es el de agua presurizada que diseñó la Westinghouse. En Francia, la Framatome produce reactores de agua presurizada con licencia de la Westinghouse, tanto para uso interno como para exportación. En realidad, hasta hace pocos años la Westinghouse era una importante accionista de la propia Framatome.

En Japón, de los tres principales fabricantes de reactores, Mitsubishi trabaja con licencia de la Westinghouse y los otros dos, Hitachi y Toshiba, tienen licencia de la General Electric.

Hay otros países con industrias nucleares más o menos independientes, como la Unión Soviética, Canadá y Suecia, pero todos integran el Grupo de Proveedores Nucleares, de Londres, establecido fundamentalmente para fijar normas básicas y restricciones a la exportación de tecnología nuclear.

Estos vínculos y controles deben afectar en forma significativa a los precios. Por otra parte, y mientras duren, los controles pueden tener como consecuencia embargos conjuntos a la venta de equipo u otros servicios necesarios para construir y hacer funcionar instalaciones nucleares, dirigidos contra determinados países o grupos de países, ya sea debido a legítimas preocupaciones de seguridad o a la búsqueda de otros objetivos comerciales o de política exterior.

Embarcarse en un gran programa de energía nuclear, sobre todo tratándose de un país sin base nuclear propia, supone depender de un pequeño grupo de proveedores muy politizados y de gran audacia comercial. Por consiguiente, Irán debería determinar con precisión los riesgos, costos e incertidumbres que entrañan la disponibilidad y los precios futuros del equipo, el combustible, las refacciones y la mano de obra calificada necesarios para operar y mantener instalaciones nucleares, a la hora de evaluar el equilibrio entre esos costos y cualesquiera beneficios que el país pudiera obtener de la energía nuclear.

*Infraestructura.* La aplicación del programa nuclear original se enfrenta a graves estrangulamientos estructurales. Por ejemplo, los reactores de 1 000 MWe, elegidos por razones de economía de escala, no son adecuados debido al tamaño limitado de la red de distribución eléctrica de Irán.

Una red de distribución requiere de capacidad de generación ociosa o de reserva, sea cual fuere el combustible de las plantas que integran el sistema (petróleo, gas, carbón o nuclear), para evitar las pérdidas de carga si una o más plantas generadoras deben cerrarse para reparación, mantenimiento, recarga de combustible o por cualquier otra causa. El monto de esa capacidad generadora de reserva es una función del tamaño de la planta. A medida que aumenta el tamaño de las plantas instaladas en una red, también aumenta la capacidad de reserva necesaria; en otras palabras, la pérdida de una planta de 1 000 MWe exige una capacidad de reserva mayor que la impuesta por plantas más pequeñas.

Además, se considera que las plantas mayores son menos confiables que las pequeñas, se descomponen con más frecuencia, ocasionan problemas en la red cuando se detienen y requieren de períodos más largos de cierre para su reparación. Todo ello resulta más grave en Irán debido a la escasa, si no nula, capacidad de reserva de la red nacional de distribución. Por consiguiente, en el caso de los dos primeros reactores de 1 190 MWe, uno debió construirse simplemente como capacidad de reserva para el otro.

El elevado riesgo sísmico y la carencia de agua para enfriamiento en la mayor parte del país limitan mucho la localización posible de reactores. Los pocos sitios utilizables en el sur de Irán están a muchos cientos de kilómetros de las principales zonas urbanas e industriales, y aun de la propia red de distribución. Como consecuencia, habrían grandes pérdidas de transmisión y se necesitaría realizar grandes inversiones, de miles de millones de dólares, en líneas de alto voltaje.

*La economía de la energía nuclear.* En Irán, hoy en día, la energía nuclear no tiene mucho sentido desde el punto de vista económico. En apoyo del programa se han citado estudios de costos realizados en países industrializados, según los cuales la energía nuclear resulta competitiva frente a la mayoría de las otras fuentes energéticas, y en particular frente al carbón. Sin embargo, estos estudios no son aplicables al caso de Irán y por consiguiente, resultan engañosos.

Los costos de capital, el factor individual más importante en la determinación del costo final de la energía nuclear, son mucho más altos en Irán que en casi cualquier otro país. Sólo una parte de estos costos mayores puede atribuirse a los gastos en infraestructura. En los países industrializados, la inversión necesaria para un reactor de 1 000 MWe que comenzase a funcionar a principios del decenio de los ochenta se estimaba entre 700 y 1 000 dólares por KWe instalado en la fecha de su terminación. A fines de 1978, la cifra equivalente en Irán para los primeros cuatro reactores se calculó en más de 3 000 dólares por KWe instalado. Por ejemplo, para los dos reactores de Bushehr se calculó el costo de capital, en millones de marcos alemanes, como sigue:

---

Construcción	5 400
Imprevistos	800
Infraestructura	<u>1 600</u>
Costo básico total (real)	7 800
Aumentos durante la construcción	3 100
Intereses durante la construcción	<u>2 300</u>
Total de costos indirectos (estimados)	<u>5 400</u>
Costo total estimado	13 200

---

El equivalente en dólares de 1978 de los costos estimados totales de los dos reactores fue de 7 500 millones; por tanto, el costo del KWe instalado fue de alrededor de 3 150 dólares.<sup>8</sup>

Los costos de capital de los dos reactores de Darkhouin, en miles de millones de francos franceses, fueron los siguientes:

---

Construcción	9 600
Imprevistos	1 000
Infraestructura	<u>2 900</u>
Costo básico total (real)	13 500
Aumentos durante la construcción	8 100
Intereses durante la construcción	<u>4 100</u>
Total de costos indirectos (estimados)	<u>12 200</u>
Costo total estimado	25 700

---

Es decir, el costo total estimado de estos dos reactores fue de 6 400 millones de dólares de 1978, y el del KWe instalado de 3 435 dólares.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> En 1979, el nuevo Director de la Organización iraní de Energía Atómica informó que el costo total de las dos plantas germano-occidentales sería de casi 7 000 millones de dólares, dato congruente con las estimaciones citadas. Más o menos en la misma época el fabricante, KWU, dio una cifra más baja, de 5 500 a 5 600 millones; no obstante, parece que este cálculo no incluía el costo de los intereses durante la construcción.

<sup>9</sup> Los datos en marcos alemanes y en francos franceses se convirtieron a dólares, a la tasa de fines de octubre de 1978, por dos razones: con fines comparativos, y porque los precios del crudo de Irán se fijan en dólares y, por consiguiente, sus ingresos petroleros se

Incluso estas elevadas cifras no reflejan a cabalidad las verdaderas necesidades de capital para construir un reactor nuclear. A ellas deben agregarse:

- Los gastos del país en honorarios de consultores, en la elección de los lugares adecuados y en capacitación.

- Los costos del sistema, tales como las líneas de transmisión de alto voltaje incremental, necesarias para conectar los reactores a la red nacional y para construir la capacidad de reserva. Para los primeros cuatro reactores estos costos podrían elevarse a varios miles de millones de dólares.

- Otras externalidades, como los subsidios ocultos y las exenciones aduaneras; por lo común, las otras fuentes energéticas no entrañan esta clase de costos.

Otro elemento importante que debe tomarse en cuenta es que, en el caso de los reactores iraníes, el costo en moneda extranjera representa probablemente más de 90%; en los países industrializados, que fabrican la mayor parte del equipo y utilizan mano de obra local, ese componente sólo representa una pequeña fracción de los costos totales. Por tanto, construir reactores en Irán exige difíciles decisiones de asignación de divisas.

Por último, como hemos señalado, en los estudios de costos que se llevan a cabo en los países industrializados, suele compararse la energía generada en reactores nucleares con la de plantas de carbón. Ello se debe a que en estos países se considera que las plantas nucleares y de carbón son las únicas formas de generación tecnológicamente viables, competitivas y que utilizan combustible nacional abundante o, por lo menos, razonablemente asegurado para toda la vida de la instalación. Por lo común, esta comparación indica que, mientras que los costos de capital de un reactor superan a los de una planta de carbón, en última instancia la electricidad generada en ésta es más cara debido a los mayores costos del combustible. En cambio, la competitividad de la energía nuclear en Irán no debe medirse con el carbón sino con los combustibles del subsuelo iraní: el petróleo y, sobre todo, el gas natural.

Sin embargo, en este país nunca se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de los costos de generar electricidad a partir del gas natural. Los escasos datos disponibles parecen indicar que las plantas de gas natural ofrecen una considerable ventaja económica frente a otras opciones, incluida la nuclear. Los costos de capital para una instalación de turbina de gas de 1 300 MWe, que se terminó en Rey, se estimaron en menos de 300 dólares por KWe instalado; el costo de una planta térmica de gas y diesel de 1 600 MWe, que debía terminarse en Neka en 1980, se estimó en menos de 500 dólares por KWe instalado. Sin embargo, todavía están por calcularse los costos reales de operación de estas dos plantas, en buena medida porque todavía no se ha resuelto qué precio asignar al combustible. De todos modos, puede afirmarse que el gas natural

---

reciben en esa moneda. Estas cifras deben manejarse con cautela, puesto que los gastos reales en planta y equipo se distribuyen a lo largo de los seis o siete años que dura la construcción, y durante ese lapso pueden variar las tasas de cambio.

es la fuente más económica de electricidad incremental para Irán, en cualquier conjunto razonable de hipótesis.

El gas natural ofrece otras ventajas. La localización de las plantas es más flexible; pueden ubicarse unidades más pequeñas en todo el país, más cercanas a los puntos de consumo, lo cual reduce los costos y las pérdidas de transmisión. El gas es menos peligroso y presenta menos problemas de seguridad que el combustible nuclear. Su combustión es más limpia. Las plantas se pueden construir en mucho menos tiempo. El uso creciente del gas natural nacional impide la dependencia excesiva de fuentes externas de combustible. Por último, las necesidades de divisas son mucho menores en el caso del gas que en el de la energía nuclear, no sólo porque la inversión inicial es menor, sino porque no se requiere importar combustible ni servicios.

### La reducción

A fines del verano de 1978, el Gobierno comenzó a dar muestras de cierta voluntad de revalidar discretamente, si no de recortar en forma inmediata, sus planes originales. En parte, este cambio de opinión era consecuencia de la preocupación por las estimaciones de costos rápidamente crecientes de los reactores, unida al temor de que ya no se pudiese disponer de todos los fondos necesarios para el programa completo. El precio total, que en 1978 se ubicaba entre 80 000 y 120 000 millones de dólares, según diversos cálculos, implicaba la multiplicación entre tres y cuatro veces de la estimación original de 1974, cercana a 30 000 millones.

El Gobierno se enfrentaba a graves dificultades de disponibilidad de efectivo, debido a sus gastos excesivos en un período en que los ingresos petroleros sufrían una rápida reducción; ésta se debía tanto a la menor producción (ocasionada por el exceso de oferta en el mercado mundial) como a la disminución del precio real del petróleo (resultado de la caída del dólar con respecto a las otras monedas fuertes y de la inflación generalizada). Cuando se elaboró el presupuesto nacional para el año fiscal que terminaría en marzo de 1979, el Gobierno estimó un inmenso déficit: de 16 000 a 17 000 millones de dólares, más de un tercio del presupuesto total.

La preocupación por el déficit presupuestal se intensificó a raíz de los generalizados pedidos de aumento de salarios, apoyados en amenazas de huelgas y de violencia, en el momento más agudo del conflicto político nacional. Satisfacer estas demandas, junto con la reducción de impuestos y de precios de varios servicios, amenazaba con llevar el déficit a niveles inmanejables. Se resolvió que la solución más rápida para este difícil problema sería equilibrar el presupuesto, sobre todo, recortando los proyectos industriales de gran escala.

Para soportar la carga de la reducción se eligió al programa de energía nuclear. El Gobierno le otorgaba una prioridad más baja que a los otros dos programas que podrían admitir reducciones significativas: los gastos militares y las inversiones en la industria petroquímica. Además, parecía estar convirtiéndose

en una carga desde el punto de vista político interno: se hacía cada vez más impopular no sólo por las críticas formuladas por ciertos expertos que lo objetaban desde un punto de vista técnico, sino porque el pueblo percibía a los reactores como un grandioso monumento de la época posterior a 1973 y de la dispendiosa administración de los inmensos recursos petroleros del país. En 1977, la Organización Iraní de Energía Atómica ofreció a Austria almacenar en su territorio combustible utilizado; tal oferta recibió duros ataques de influyentes dirigentes musulmanes, entre otros, quienes la calificaron como un intento de "convertir a Irán en el basurero de los desechos nucleares de Occidente".

Si bien el régimen de Pahlevi nunca anunció en forma oficial una reducción de su objetivo original de 23 000 MWe, cada vez resultaba más claro que sólo culminaría en la fecha prevista la construcción de los cuatro reactores que se habían comenzado, lo cual llevaría la capacidad instalada total del país a unos 4 250 MWe a mediados de los años ochenta. Las negociaciones de los demás reactores se abandonaron por tiempo indefinido, incluidos cuatro de origen alemán, enfriados con aire, sobre los cuales ya se habían firmado las cartas de intención, y de seis a ocho estadounidenses.<sup>10</sup>

Así, aun antes de definido el resultado final de la revolución, el programa de energía nuclear iraní había sufrido un revés considerable, debido a un cúmulo de dificultades financieras y políticas. Después de la revolución, ese revés se convirtió en un virtual abandono. El nuevo Director de la Organización Iraní de Energía Atómica recomendó al Gobierno el abandono total de todas las plantas en construcción, por "razones políticas, económicas, sociales, humanitarias y técnicas".<sup>11</sup> Es probable que haya influido en esta recomendación la enérgica oposición del personal de ese organismo a raíz del accidente en Three Mile Island. Quizá haya sido ésta la primera vez que científicos y otros trabajadores vinculados con el programa se opusieron públicamente a la construcción de centrales nucleares en el país.

## Conclusiones

El Gobierno de la Revolución Islámica no hizo aún un anuncio formal sobre el destino del programa nuclear. La situación actual se resume en el cuadro 1. Según ciertos informes recientes, algunos clérigos iraníes han propuesto la fa-

<sup>10</sup> En efecto el gobierno de Shahpur Bakhtiar, de corta vida, anunció la cancelación de dos reactores franceses que estaban en construcción en el sudoeste del país. Sin embargo, las tareas no habían ido mucho más allá de la preparación del lugar de instalación. El efecto de esta decisión fue limitar el programa de energía nuclear a las dos plantas alemanas de 1 190 MWe cada una, que habían alcanzado aproximadamente 80 y 50 por ciento de avance.

<sup>11</sup> El Gobierno debería pensar en completar las estructuras exteriores de las dos plantas germano-occidentales para utilizarlas como silos de almacenamiento de cereales importados, puesto que el lugar tiene acceso a un muelle de descarga en el Golfo Pérsico, a carreteras hacia el interior del país y dispone de buena parte de la infraestructura que requeriría tal proyecto.

bricación de una "bomba islámica". Es difícil saber con cuánta seriedad se han tomado tales propuestas en el propio país. Dadas las actuales circunstancias, es probable que el Gobierno esté más dispuesto que su antecesor a aceptar el costo político de semejante decisión. Más aún, es posible que la idea de una "bomba islámica" resulte muy atractiva para el pueblo y pueda utilizársela para distraer su atención de otros urgentes problemas nacionales.

Empero, el programa nuclear del país todavía está en sus comienzos; incluso con un considerable apoyo gubernamental, faltarían varios años para completar un programa militar viable. Durante ese lapso podrían ocurrir muchos acontecimientos que afectasen el rumbo de tal proyecto.

### Cuadro 1

#### LA ENERGIA NUCLEAR EN IRAN

---

El país es miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica  
 Firmó en 1968 el Tratado de No Proliferación de Armamento Nuclear (TNPAN)  
 Mantiene vigente el Convenio de Salvaguardias del TNPAN  
 Reactores para investigación en funcionamiento: uno de 5 MWe (desde 1967)  
 Reactores para generación comercial de energía, en funcionamiento: ninguno  
 Reactores en construcción en 1978: cuatro  
 Reactores de conclusión probable en 1985: ninguno  
 Capacidad nuclear instalada prevista para 1985: ninguna  
 Tipo predominante de reactores previstos: de agua a presión  
 Recursos de uranio: desconocidos  
 Existencias aproximadas de uranio: 28 000 ton  
 Instalaciones de reprocesamiento: ninguna  
 Instalaciones de enriquecimiento de uranio: ninguna en Irán; participación de  
 10% en la planta de Eurodif en Tricastin, Francia, en sociedad con Bélgica,  
 España, Italia y Francia  
 Capacidad total programada en 1974: 23 000 MWe para 1994  
 Capacidad total actualmente prevista: de 0 a 2 380 MWe en 1994

---

Aun si se mantuviese el programa civil de energía nuclear, en parte por razones militares —realistas o no—, sólo se completarían, cuando mucho, uno o dos de los reactores alemanes que ya estaban muy adelantados cuando comenzó la revolución.

Sin embargo, nadie ha formulado todavía una evaluación global para determinar si es deseable mantener el programa original o modificarlo y reducirlo de modo considerable. En tanto no se complete esa evaluación, se disipen las dudas subsistentes y se elabore un proyecto energético nacional, el futuro del programa nuclear iraní seguirá siendo incierto.

*Lo que nos enseña Irán*

Los elementos que deben tomarse en cuenta en los países en desarrollo para decidir en materia de energía nuclear son muy complejos y variados. En algunos se considera a la energía nuclear civil como una manera de desarrollar la capacidad de fabricar armas nucleares. Otros adquieren reactores para aumentar el prestigio nacional. Aún otros tienen la esperanza de que la tecnología y la capacitación nucleares los colocarán en la "curva de aprendizaje" de esa tecnología. A todos ellos, la corta experiencia iraní puede ofrecerles escasas lecciones respecto a cómo proceder o sobre la conveniencia de proceder o no.

Empero, para aquellos países que desean disponer de reactores debido a su serio interés en la generación de energía comercial, la experiencia iraní es una lección muy ilustrativa: excepto, quizá, en muy pocos casos, la energía nuclear no es viable en los países en desarrollo debido a razones económicas, técnicas, de infraestructura y de seguridad. Las posibles excepciones son la India, Taiwan y Corea del Sur, que disponen de una base tecnológica avanzada, de mano de obra relativamente bien capacitada y de escasas fuentes energéticas propias. Sin embargo, incluso en estos países se desconoce todavía el veredicto final.

La idea de la energía nuclear como una opción viable en los países en desarrollo es, en gran parte, resultado de su promoción prematura e incluso indiscriminada en tales países. Este proceso, apodado con propiedad la "vulgarización" de la energía nuclear, no sólo ha empañado los esfuerzos por lograr un frágil y delicado equilibrio entre la no proliferación y el desarrollo de la energía nuclear para fines civiles, sino que también ha contribuido a subvertir el proceso de decisión en el campo de la energía, como los funcionarios iraníes han descubierto penosa y costosamente.

¿Cómo se perpetró este exceso en los países en desarrollo? ¿Cómo puede evitarse este engaño?

Durante casi tres decenios los países industrializados han depositado grandes esperanzas en el dominio del calor proveniente de la fisión nuclear para producir vapor que permita el funcionamiento de maquinaria destinada a generar energía eléctrica barata, confiable y abundante. En 1942 se logró la primera reacción nuclear de fisión en cadena sostenida y controlada, y más de diez años después se dispuso de los primeros reactores nucleares civiles operativos. Hacia fines de los sesenta, había cientos de pedidos de nuevos reactores en casi veinte países. Sin embargo, y pese a las expectativas iniciales, en muchos casos los reactores nucleares, una vez en operación, resultaron cuando mucho sólo marginalmente competitivos con las plantas que utilizan combustibles fósiles tradicionales.

Los costos de capital de los reactores, rápidamente crecientes, frustraron en buena parte las difundidas esperanzas de disponer de energía nucleoelectrica "tan barata que no habría necesidad de medirla". De hecho, se hizo evidente que las estimaciones de costos y, por tanto, la racionalidad económica, que habían estimulado la temprana construcción de plantas nucleares, eran, en general, erróneas.

Cuadro 2

## INSTALACIONES NUCLEARES EN LOS PAISES EN DESARROLLO

<i>País</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i> <sup>1</sup>	<i>Capacidad en MWe</i>	<i>En operación</i>
Reactores Argentina	Atucha	Atucha	PHWR	319	sí
	Embalse	Córdoba	Candu	600	no
Brasil	Angra-1	Angra dos Reis	PWR	975	no
La India	Tarapur-1	Tarapur	BWR	190	sí
	Tarapur-2	Tarapur	BWR	190	sí
	Rajasthan-1	Rajasthan	Candu	200	sí
	Rajasthan-2	Rajasthan	Candu	200	no
Paquistán	KANUPP	Karachi	Candu	125	sí
Corea del Sur	Kori-1	Kori	PWR	564	no

<i>País</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i>
Ciclo de combustible Argentina	Planta piloto de fabricación de combustibles	Constituyentes	Fabricación de combustible
La India	Complejo de combustible nuclear	Hyderabad	Conversión y fabricación de combustible de uranio enriquecido

<sup>1</sup> PHWR es reactor de agua pesada a presión; Candu identifica al reactor canadiense que utiliza uranio natural y agua pesada; PWR es reactor de agua a presión; BWR es reactor de agua hirviente.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica de la ONU.

Si no hubiese cambiado el panorama energético mundial a principios de los setenta, quizá la costosa experiencia del decenio anterior habría desembocado en una considerable disminución de la construcción de plantas.

Empero, el embargo petrolero de los árabes y la concomitante cuadruplicación de los precios del petróleo en 1973-1974 resaltaron, una vez más, la presunta viabilidad comercial de la energía nuclear. Aún más, la conciencia creciente de que los combustibles fósiles, particularmente el petróleo y el gas natural, podrían escasear en el largo plazo, indujo a los productores de energía, públicos y privados, de muchos países industrializados, en desarrollo y del bloque oriental, a asignar mayor importancia a la diversificación energética. La preocupación sobre la seguridad de los suministros y el control de los precios de los combustibles fósiles aumentó los atractivos de la opción nuclear; a pesar de las pasadas experiencias con costos que desbordaron las previsiones, hubo un súbito y marcado aumento de los pedidos de reactores nucleares.

Empero, no habría de durar mucho la idea renovada de una energía nuclear que representara una posibilidad viable, desde el punto de vista comercial y tecnológico, frente a los combustibles fósiles. De nuevo fue puesta en entredicho por el cambiante panorama de los costos de construcción y operación de plantas, por un examen más preciso de las disponibilidades de uranio, por la creciente preocupación internacional con respecto a los riesgos de la proliferación y la seguridad, así como por los mayores temores del público ante los peligros ecológicos y de seguridad representados por los reactores y los desperdicios radiactivos del ciclo de combustible nuclear.

Varios países industrializados clave, incluyendo a Estados Unidos, la Gran Bretaña, la República Federal de Alemania y Francia, comenzaron a revisar y a disminuir los pedidos de nuevos reactores. Según las proyecciones, la capacidad energética nuclear en estos países todavía tendrá grandes aumentos hasta 1985, pero mucha de esa capacidad se deberá a pedidos anteriores de plantas que están ahora en construcción. Mas allá de ese período, es muy incierto el futuro de la energía nuclear en los países industrializados.

No obstante, los países en vías de desarrollo han sido más lentos en modificar sus objetivos nucleares iniciales. Aún persiste en ellos la idea de los reactores como fuentes de energía eléctrica ilimitada, segura y barata. Es claro que, en las presentes circunstancias cuando menos, la energía nuclear no es nada de eso.

Igual que Irán, casi todos los países en desarrollo se enfrentan a mercados muy cartelizados y politizados del uranio, de su enriquecimiento y de la amplia variedad de equipo básico y de servicios necesarios para la construcción y operación de las instalaciones nucleares. Todo esto disminuye de manera significativa la confiabilidad y seguridad de largo plazo de la energía nuclear.

En cuanto al mito del bajo precio, las cifras cuentan una historia diferente. En los propios países industrializados los costos —rápidamente crecientes durante los setenta, tanto los de capital para plantas y equipos, cuanto los de operación, incluido el combustible—, han cercenado, si no es que eliminado por completo, cualquier margen competitivo frente a las plantas de combustibles fósiles.

les, sobre todo las de carbón. De 1967 a 1977, las estimaciones publicadas sobre los costos de capital de reactores nuevos a base de agua ligera en los países industrializados mostraron un crecimiento de casi diez veces, en dólares corrientes, por KWe instalado, elevándose a más de 1 000 dólares en el caso de reactores situados en el rango normal de 1 000 MWe.

Los fabricantes de reactores e incluso las empresas públicas de energía han persistido en subestimar dichos costos. En realidad, la inversión necesaria ha superado a las expectativas en casi todos los casos debido a esas grandes subestimaciones. Los aumentos de costos se han atribuido a una escalada de los precios y de los intereses provocada por demoras en los trámites de autorización y en la construcción, así como por criterios más rigurosos de seguridad y de preservación del ambiente, junto con costos adicionales de ingeniería, de la mano de obra y del equipo, lo mismo que por la inflación general.

En los países en desarrollo los atractivos comerciales de la energía nuclear parecen todavía más sospechosos.

En Irán, como se dijo, los costos estimados de capital (en dólares corrientes) por KWe instalado en sus cuatro reactores de la clase de 1 000 MWe que estaban construyéndose entre 1976 y 1978 eran superiores a 3 000 dólares, o de tres a cuatro veces mayores que los de reactores similares en los principales países industrializados.

No se dispone de cifras exactas para otras naciones en desarrollo. Con toda probabilidad no serán tan altas como las de Irán, pero sí superiores a las de instalaciones comparables en los países proveedores y ciertamente mayores que las expectativas y estimaciones iniciales, con base en las cuales se tomaron las decisiones.

Así, por ejemplo, el antiguo jefe de Electrobrás, el monopolio oficial de electricidad de Brasil, declaró recientemente, según se dijo, que la decisión inicial de adquirir reactores se adoptó en 1974 con base en una inversión estimada de alrededor de 550 dólares por KWe instalado. En la práctica, el costo real resultó el triple del previsto.

A mayor abundamiento, los países en desarrollo están lastrados aún más por el considerable componente de divisas de los costos totales de los reactores, problema al que no se enfrentan los países industrializados dado que en ellos se fabrica la mayor parte del equipo.

En los países en desarrollo hay también importantes estrangulamientos de infraestructura que hacen difícil la realización de programas de energía nuclear en gran escala. La magnitud total de la red interconectada de energía eléctrica de un país impone claros límites al tamaño de cualquier planta generadora que el sistema pueda absorber y seguir funcionando de manera confiable en el caso de falla accidental de esa unidad o de cierre por reparación, mantenimiento o reaprovisionamiento de combustible.

Según un estudio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA),<sup>12</sup> que coincide con la práctica de la industria, se calcula que:

<sup>12</sup> Organismo Internacional de Energía Atómica, *Market Survey for Nuclear Power in*

<i>Para absorber una planta de</i>	<i>La capacidad instalada debe ser cuando menos de</i>
100 MWe	850 MWe
300 MWe	3 300 MWe
600 MWe	9 200 MWe
1 000 MWe	20 000 MWe

Conforme a estos lineamientos, y utilizando proyecciones de la demanda de energía eléctrica en varios países en desarrollo (proyecciones que muy bien pueden estar sobrestimadas), el OIEA calculó que, en el curso de los próximos dos decenios, los países en desarrollo podrían absorber reactores nucleares de ciertos tamaños conforme a los siguientes datos:<sup>13</sup>

<i>Tamaño de las plantas</i>	<i>Hacia</i>		
	<i>1980</i>	<i>1985</i>	<i>2000</i>
1 000 MWe o mayores	2	6	11
De 600 a 1 000 MWe	3	7	9
De 300 a 600 MWe	11	10	9

A pesar de la demanda potencial, no hay en la actualidad oferta comercial de reactores de menor tamaño, sobre todo los de menos de 6000 MWe, ni se espera que la haya en el futuro previsible.

En los años recientes los fabricantes de reactores se han dedicado cada vez más a construir los de la clase de 1 000 MWe, a fin de aprovechar las economías aparentes de escala que la construcción y operación de los reactores mayores permiten. Afirman que dedicarse ahora a los reactores más pequeños entrañaría costosos cambios de diseño y otros cargos iniciales fijos tan altos que no habría mercado para tales reactores, sea en el ámbito interno, sea en el exterior.

Por último, quedan todavía sin resolverse ciertos problemas ambientales y de seguridad provenientes de la operación de las plantas de energía nuclear (además del almacenamiento de los desperdicios del combustible) sobre los cuales llamó la atención el accidente de Three Mile Island. Un episodio de ese alcance, con toda probabilidad, habría tenido consecuencias muchísimo más graves en un país en desarrollo con capacidad técnica y administrativa más limitada.

*Developing Countries*, Edición de 1974 (Informe preliminar), IAEA-165, Viena, 1974, citado en Richard J. Barber Associates Inc., *LDC Nuclear Power Prospects, 1975-1990: Commercial, Economic and Security Implications*, ERDA-52, Washington, 1975, p. II-8.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. II-9.

A pesar de los temores concretos acerca de la viabilidad económica, técnica y ambiental de los grandes reactores nucleares en los países en desarrollo, y pese a las consideraciones generales que han conducido a una revalidación y considerable disminución de los programas de energía nuclear en los países industrializados, los que están en vías de desarrollo han sido más lentos en revisar sus propios objetivos, basándose en la idea, cada vez más dudosa, de que los reactores les ofrecen energía eléctrica barata y abundante.

En gran parte, el "mito" de la energía nuclear como la panacea energética de los países en desarrollo fue creado y alimentado, conscientemente en algunos casos, quizás no en otros, por las empresas internacionales que construyen o proveen una amplia variedad de equipo básico y de servicios nucleares, por los respectivos gobiernos que apoyaron los esfuerzos de exportación de esos vendedores e, incluso, por el OIEA. Todos ellos han utilizado duras tácticas de venta a fin de crear una demanda artificial y prematura de energía nuclear en los países en desarrollo. Los vendedores, enfrentados a ventas declinantes en sus países a mediados del decenio de los setenta, se volcaron cada vez más al exterior, a lo que prometía ser un mercado de exportación muy lucrativo. Como cada contrato de venta de un reactor de 1 000 MWe puede llegar a los miles de millones de dólares, las expectativas comerciales de las empresas han sido, en verdad, muy altas y las han alentado a invadir con rapidez y con audacia los mercados del exterior. En realidad, varias empresas han visto estas oportunidades como las únicas que tienen de sobrevivir.

En todo ese proceso los vendedores exageraron las ventajas de la energía nuclear y disminuyeron sus riesgos. Así, por ejemplo, a menudo hicieron creer a los países en desarrollo que el reactor de cría los introduciría en la era de la energía barata y prácticamente ilimitada. De ese modo fueron incitados a prepararse para instalar reactores de agua ligera, no sólo a fin de obtener experiencia con la tecnología nuclear en general, sino también para acumular reservas de plutonio que después usarían como combustible en sus reactores de cría. No se les dijo que, aun si se resolvieran pronto los problemas técnicos y políticos subsistentes con respecto a esos reactores, las economías de escala en su construcción exigirían una unidad tan grande (quizás del doble de los mayores reactores de la actual generación) que, por razones técnicas, no podría integrarse en las redes de energía eléctrica antes del fin de este siglo, salvo en uno o dos países.

Empero, no sólo la industria ha empujado las ventas de equipo básico en los países en desarrollo. También lo han hecho con gran entusiasmo los gobiernos de los proveedores, pese a sus recelos periódicos acerca de la exportación de tecnologías "sensibles". Se sostuvo que las exportaciones nucleares no sólo servirían al interés nacional manteniendo a flote los fabricantes de equipo y, con ello, contribuyendo a la pervivencia de una industria nuclear independiente, sino que también aportarían miles de millones de dólares en divisas, gracias a la exportación de reactores, así como a la de una amplia variedad de servicios técnicos y de combustible relacionados con aquélla. Aún más, las ventas de reac-

tores ayudarían a repartir algunos de los costos de investigación y desarrollo (absorbidos en gran parte por los gobiernos en el pasado), contribuirían a que los vendedores lograran economías de escala en la producción de reactores (reduciendo así el costo unitario de cada uno instalado en el país), preservarían miles de empleos en el sector nuclear, y así sucesivamente.

En vista de incentivos económicos aparentemente tan fuertes para exportar, y dado el prestigio que esas ventas traerían, los gobiernos cooperaron ampliamente en el esfuerzo comercial, interviniendo algunas veces, en los países en desarrollo para favorecer a los vendedores, incluso "dulcificando" los convenios mediante préstamos concesionales, importantes créditos de exportación, acuerdos de trueque, y aun "paquetes antiproliferantes" menos estrictos, que incluyen instalaciones para enriquecer y reprocesar el combustible, como en el caso del contrato entre Alemania Federal y Brasil.

Incluso el ente guardián de la energía nuclear, el OIEA, ha presionado a los compradores. Este organismo se originó en los esfuerzos de Estados Unidos, después de la segunda guerra mundial, destinados a establecer un sistema internacional que impidiera la proliferación de las armas nucleares mediante la regulación, en escala planetaria, del desarrollo de programas de energía nuclear para fines civiles. Sin embargo, el plan fue muy criticado por considerársele un intento de ese país de controlar, si no de restringir, la difusión del *know how* nuclear de manera congruente con sus propios intereses políticos y comerciales.

A fin de que el plan fuese más digerible para los otros países industrializados, ansiosos de exportar equipo nuclear básico y también para los países en desarrollo ansiosos de tener acceso a la tecnología nuclear general, las responsabilidades del OIEA se ampliaron hasta incluir la promoción y el estímulo del uso de la energía nuclear para propósitos civiles. Así, el artículo segundo del estatuto de ese organismo lo autoriza a "ver que se acelere y aumente la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo".

Este papel de promotor, más que el original de guardián, ha caracterizado buena parte de las actividades del OIEA a lo largo de su historia de más de 20 años. A mayor abundamiento, al tratar de comercializar e internacionalizar la energía nuclear, este organismo ha procedido de manera negligente e indiscriminada, sobre todo en los países en desarrollo.<sup>14</sup> Así, por ejemplo, ha tendido a promover la energía nuclear en gran parte del mundo en desarrollo sin asegurarse primero de que la opción nuclear corresponda a las condiciones de cada país, tomando en cuenta las enormes diferencias en áreas tan importantes como la infraestructura y la base nacional de recursos energéticos.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> En el estudio de Barber se encuentra una crítica de la evaluación de OIEA del potencial de la energía nuclear en los países en desarrollo.

<sup>15</sup> Por ejemplo, de los cuatro países que, según el OIEA, tienen la mayor potencialidad para la energía nuclear en el mundo en desarrollo (y que en conjunto representan más de 50% de los megawatts nucleares totales instalados), dos —Irán y México— tienen reservas abundantes de petróleo y gas natural, uno —Brasil— posee considerables recursos hidráulicos no utilizados y el otro —la India— tiene grandes reservas de carbón y de lignito.

Al mismo tiempo el OIEA ha errado repetidamente al analizar la economía de la energía nuclear en los países en desarrollo y por sistema ha subestimado los costos y sobrestimado las potencialidades.<sup>16</sup> Es importante recalcar que esos estudios excesivamente optimistas fueron la base de los programas nucleares de varios países en desarrollo desde principios hasta mediados de los setenta. También debe notarse que los promotores internacionales tuvieron aliados naturales en el seno mismo de los países en desarrollo: un próspero sector nuclear, compuesto por autoridades públicas y por contratistas privados, por lo común situados en las altas esferas y muy influyentes, que perseguían intereses institucionales y personales, respectivamente.

Una audaz campaña de ventas, junto con el suministro de información exagerada acerca de las posibilidades de la energía nuclear por parte de los países industrializados, los vendedores de equipo básico, el OIEA e incluso los promotores autóctonos, ha contribuido a crear una demanda artificial de energía nuclear en países que no estaban preparados para ella y que podrían haber usado con mayor eficacia y economía otras fuentes energéticas, incluso nacionales.

El régimen internacional de la energía nuclear de los últimos 20 años está construido sobre la base de un juicio a priori: que esa energía, en fines civiles no sólo debe hacerse accesible a los países en desarrollo, sino que también debe promoverse activa e indiscriminadamente.

Esta "vulgarización" de la energía nuclear debe disminuirse y, en última instancia, revertirse. Para ello se ocurren tres caminos.

En primer lugar, deben suprimirse totalmente las facultades del OIEA en cuanto a comercialización de la energía nuclear. El papel de promotor que ha cumplido dicho organismo, incluyendo una clara exageración de los atractivos de la energía nuclear, ha facilitado las ventas de equipo básico de los países industrializados, a costa de una planeación racional e informada en varios países en desarrollo y, quizá, también en el costo de una creciente proliferación. El organismo debe reestructurarse para convertirlo en una autoridad fuerte e imparcial, con funciones de regulación, centrada en vigilar el cumplimiento universal de salvaguardias contra posibles desvíos de materiales nucleares hacia fines bélicos, tal como originalmente se concibió. Acaso sea oportuno, también, revivir la propuesta original de crear un banco internacional de combustible, bajo los auspicios del OIEA, en el cual podrían depositarse los desperdicios a cambio de combustible equivalente de uranio de bajo enriquecimiento.

En segundo término, debería establecerse una nueva institución internacional, independiente del OIEA y de los intereses generales de la industria nuclear. Se dedicaría a recopilar, evaluar y difundir una amplia variedad de información

<sup>16</sup> A mediados de los setenta, por ejemplo, los expertos del OIEA estimaban los costos de capital de los reactores de agua ligera de 1 000 MWe, en los países en desarrollo, en cientos de dólares por KWe instalado, basándose en un sistema de costos establecidos para los países industrializados. Este método era erróneo no sólo porque la base de costos era inadecuada para los países en desarrollo, sino también porque ni siquiera representaba los costos

sobre la energía nuclear y sus aplicaciones, todo ello con objetividad. En esas tareas se incluirían cuestiones tales como las disponibilidades de uranio, la economía de la energía nuclear, consideraciones de seguridad y de preservación del ambiente, características del funcionamiento de las plantas, etc., con vistas sobre todo a su aplicación en los países en desarrollo. Además, su encargo debería incluir el estudio de la energía nuclear a la luz de las necesidades energéticas y de las posibilidades de cada país. Las fuentes de información ahora disponibles, que ayudan a los países en desarrollo a tomar decisiones en materia de energía nuclear, se limitan a los organismos pertinentes de los países proveedores, a los vendedores o a otras organizaciones nacionales e internacionales de promoción. La información provista por estas fuentes tradicionales está tergiversada, es irrelevante y, en muchos casos, resulta engañosa para los planificadores de los países en desarrollo.

En tercer lugar, los países proveedores deben cesar sus exagerados esfuerzos en favor de sus vendedores de equipos y servicios nucleares en los países en desarrollo. Esta será una píldora muy amarga de tragar, dados los enormes intereses comerciales que están en juego en la exportación de equipo nuclear básico. No obstante, aceptar la reducción de las ventas sería un precio pequeño por lograr los pregonados objetivos de la no proliferación. Un gobierno proveedor no puede esperar razonablemente promover la venta de energía nuclear y a la vez implantar salvaguardias. Los dos papeles son incongruentes e incompatibles, ya que una intensa competencia comercial no conduce a evitar la proliferación. En el pasado, cuando menos, parece que las consideraciones comerciales triunfaron en muchos casos de conflicto. Por supuesto, hubo esfuerzos recientes, encabezados por Estados Unidos, para reconciliar los dos papeles mediante foros tales como el de Evaluación Internacional del Ciclo de Combustible Nuclear. Aun si tales esfuerzos logran mantener algún consenso, el éxito será de escasa duración si los países industrializados continúan coqueteando con la ambivalencia. En efecto, a medida que se intensifique la competencia entre los vendedores debido al hundimiento del mercado nuclear internacional, los objetivos comerciales sepultarán una vez más, quizá, a los de no proliferación.

---

reales en los propios países industrializados. Claramente, la experiencia en cuanto a costos en Brasil e Irán (en donde la inversión por KWe se calcula ahora de 1 500 a 3 000 dólares) ha confirmado las insuficiencias de las estimaciones del OIEA.



## LISTA DE AUTORES

**Nazli Choucri, Instituto de Tecnología de Massachusetts (M.I.T.)**

**Vinod Mubayi, Grupo Internacional de Estudios de Energía—Centro Nacional para el Análisis de los Sistemas de Energía, Laboratorio Nacional de Brookhaven**

**Arnoldo K. Ventura, Kingston, Jamaica, W. I.**

**Charles Weiss, Asesor de Ciencia y Tecnología del Banco Mundial, Washington, D. C.**

**Jorge A. Sabato y Alberto Araoz, Fundación Bariloche, Argentina**

**Kenneth G. Soderstrom y Juan A. Bonnet, Jr., Director Adjunto y Director del Centro de Investigación sobre Energía y Medio Ambiente (CEER), Universidad de Puerto Rico**

**Bijan Mossavar—Rahmani, Investigador de la Escuela de Gobierno de la Universidad de Harvard y ex asesor del Primer Ministro de Irán para Asuntos Nucleares.**



*Capacidad tecnológica interna y sector energético en los países en desarrollo*, se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 1982, en EDICIONES GRIVER, Av. 10, Núm. 130, Col. Ignacio Zaragoza. La portada fue impresa por Rossete y Asociados Artes Gráficas, S.A., Calzada de los Misterios 591, México, D.F. Se tiraron 1 000 ejemplares más sobrantes para reposición. Diseñó la portada Mónica Diez-Martínez. Cuidó de la edición el Departamento de Publicaciones de El Colegio de México.













## PROGRAMA DE ENERGETICOS



Mientras los países industriales están en condiciones de aumentar su independencia energética mediante la expansión y la diversificación de sus múltiples fuentes energéticas, de acuerdo con el crecimiento de su demanda global, la mayor parte de los países en desarrollo enfrenta una situación mucho más difícil. Sus dificultades se originan en gran parte en su debilidad tecnológica y en la escasez de los recursos financieros. Estos dos factores obstaculizan el aumento de la disponibilidad interna de las distintas fuentes energéticas frente a una gran demanda insatisfecha. En otras palabras, el consumo relativamente bajo de la energía en la mayoría de los países subdesarrollados no refleja por lo general la ausencia de los recursos energéticos potenciales propios sino el subdesarrollo científico y tecnológico. Sin embargo, la literatura acerca de las relaciones entre la problemática energética y la tecnológica y las perspectivas de desarrollo de las sociedades subdesarrolladas, se limitó hasta fechas muy recientes sólo a los estudios relacionados con la necesidad de cooperación internacional en este campo.

El cómo fomentar la capacidad científica y tecnológica nativa en el campo de los energéticos ha sido discutido en términos tanto generales como operativos en una reunión que formó parte del 5o. Foro Internacional Científico sobre los Cambios en el Panorama Energético Mundial, celebrado bajo los auspicios de El Colegio de México en noviembre de 1981. El presente volumen contiene los trabajos presentados, en la reunión mencionada, por expertos académicos en problemas energéticos, procedentes tanto de los países industrializados como de los países en desarrollo.