

investigación sobre energía

orientaciones y recomendaciones
para los países en desarrollo



EL COLEGIO DE MÉXICO

INVESTIGACIÓN SOBRE ENERGÍA

Orientaciones y recomendaciones para los países en desarrollo

GRUPO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS

**Ashok V. Desai
Djibril Fall
José Goldemberg
José Fernando Isaza
Ali Kettani
Ho Tak Kim
Mohan Munasinghe
Frederick Owino
Amulya Reddy
Carlos E. Suárez
Zhu Yajie**

INVESTIGACIÓN
SOBRE ENERGÍA
Orientaciones y recomendaciones
para los países en desarrollo

Grupo de Investigaciones Energéticas
del International Development Research Centre
y la United Nations University



EL COLEGIO DE MÉXICO

El Colegio de México agradece el apoyo económico proporcionado por el International Development Research Centre (IDRC)

El International Development Research Centre es una corporación pública que fue creada por el Parlamento de Canadá en 1970 con el fin de apoyar investigaciones diseñadas para adaptar la ciencia y la tecnología a las necesidades de los países en desarrollo. La actividad del Centro se concentra en cinco sectores: agricultura, ciencias de la alimentación y de la nutrición; ciencias para la salud; informática; ciencias sociales y medios de comunicación. La única fuente de financiamiento del IDRC es el Parlamento de Canadá; sin embargo, sus políticas son determinadas por un Consejo de Gobierno con participación internacional. La sede del Centro está ubicada en Ottawa, Canadá. Existen oficinas regionales en África, Asia, América Latina y el Medio Oriente.

La United Nations University es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas. Fue fundada por su Asamblea General en 1972 como una comunidad internacional de científicos dedicados a la investigación, a la preparación a nivel avanzado y a la diseminación del conocimiento sobre los apremiantes problemas mundiales de la supervivencia, el desarrollo y el bienestar humanos. Sus actividades están dirigidas principalmente a la paz y a la resolución de los conflictos, al desarrollo en un mundo cambiante, y a la ciencia y tecnología en relación con el bienestar humano. La Universidad funciona a través de una red mundial de centros de investigación y de formación a nivel de posgrado; su sede, donde se realizan la tareas de planeación y de coordinación, se encuentra en Tokio, Japón.

Título original: *Energy Research: Directions and Issues for Developing Countries*
Primera edición en inglés: 1986
Primera edición en español: 1991

Traducción de MARIO ZAMUDIO VEGA
Portada de MÓNICA DIEZ MARTÍNEZ
Fotografía de JORGE CONTRERAS CHACEL

D.R. © 1986, International Development Research
Centre (IDRC), Ottawa, Canadá / Energy Research Group
United Nations University, Tokio, Japón

D.R. © 1991, El Colegio de México
Camino al Ajusco 20
Pedregal de Santa Teresa
10740 México, D.F.

ISBN 968-12-0475-1

Impreso en México / *Printed in Mexico*

ÍNDICE

I. Introducción	9
Las premisas del informe	11
Las fuentes del informe	13
La estructura del informe	15
II. El enfoque del GIE	17
Los puntos de partida	19
Los supuestos normativos	22
Los grandes interrogantes	28
III. La investigación y su entorno	31
Los gobiernos	34
Los productores	47
Las instituciones de investigación	62
Los organismos financieros internacionales	70
IV. El análisis y la administración de la demanda	79
La demanda agregada de energía	84
La demanda en el plano microeconómico	93
Las políticas basadas en la demanda	96
La agricultura	106
La industria	119
El transporte	126
Las unidades familiares	136
V. La conservación de la energía	149
Los motores eléctricos	152
Los motores de combustión externa	157
Los motores de ciclo Brayton	159
Las calderas	160
Las estufas de combustible sólido	165
VI. Los combustibles líquidos	171
El petróleo	174
Los alcoholes	186

6 INVESTIGACIÓN SOBRE ENERGÍA

VII.Los combustibles gaseosos	193
El gas natural	195
El biogás	199
El gas de generador	201
El hidrógeno	204
VIII.Los combustibles sólidos	211
El carbón mineral	215
El carbón vegetal	224
La biomasa	228
IX.Otras fuentes térmicas	233
La energía geotérmica	234
La energía heliotérmica	236
X.La electricidad	241
La organización, la administración y las políticas del sector eléctrico	242
En busca del grado óptimo de la planeación de las inversiones, de la fijación de precios y de las operaciones	246
Los sistemas fotovoltaicos solares	249
La termoelectricidad solar	252
La generación de electricidad mediante energía eólica	253
XI.Las fuentes de energía motriz	257
La energía eólica	258
La energía humana	262
XII.Los efectos sobre el medio ambiente.	265
La deforestación y la desertificación	268
El efecto de invernadero	272
La lluvia ácida	279
XIII.Las condiciones de la investigación	287
El usuario profesional	288
La acumulación de conocimientos de gran alcance y a largo plazo	290
El director de investigación informado	291
El financiamiento de la investigación	291
XIV.Los usos de la energía	293
Las relaciones estructurales	294

La sustitución entre combustibles	295
La conservación de la energía	296
XV. Los recursos energéticos	299
Los recursos energéticos sensibles al mercado	301
Los recursos energéticos sensibles a los costos	302
Bibliografía	305
Apéndice 1	
Miembros del Grupo de Investigaciones Energéticas	337
Apéndice 2	
Autores de los trabajos de investigación encargados por el Grupo de Investigaciones Energéticas	341
Apéndice 3	
Revisores del informe final del Grupo de Investigaciones Energéticas y de los trabajos solicitados	345

I. INTRODUCCIÓN

El Grupo de Investigaciones Energéticas (GIE) fue convocado por el International Development Research Center (IDRC) y la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) para evaluar el estado que guarda la investigación sobre la energía y para sugerir prioridades acerca de la misma a los países en desarrollo. Este informe, que tiene la intención de cumplir con ese cometido, se basa en tres premisas: 1) la investigación sobre la energía debe estar relacionada con las investigaciones globales sobre la economía y la sociedad; 2) las fuentes de energía deben ser estudiadas en función de la demanda que exista de ellas, y 3) el ahorro de energía es tan importante como la producción de la misma. El informe se apoya fundamentalmente en información del dominio público, pero no incluye detalles de ingeniería ni tecnológicos, no toma en consideración las variaciones regionales ni nacionales y excluye las áreas en que el carácter confidencial de la información o la falta de conocimiento sobre algún tema hacen difícil emitir un juicio sobre el estado que guarda la investigación.

El GIE fue convocado en agosto de 1983 con los siguientes objetivos:

1. Llevar a cabo una revisión crítica completa de las investigaciones y las tecnologías relacionadas con la energía, convenientes para los países en desarrollo.
2. Estudiar la capacidad, real y potencial, de los países en desarrollo para dirigir, financiar, difundir y utilizar la investigación y los avances relacionados con la energía.
3. Evaluar el estado actual que guardan la investigación y la tecnología relacionadas con la energía en los países industrializados, su conveniencia para los países en vías de desarrollo, las condiciones de acceso a ellas y la manera en que estos últimos países pueden utilizarlas para su mayor beneficio.

4. Difundir los puntos de vista del Grupo y sus miembros, invitar a los especialistas a expresar su opinión y provocar con ellos la discusión tanto de los problemas que enfrentan los países en desarrollo en relación con la energía como de los resultados de la investigación que pudieran ser pertinentes para solucionar dichos problemas.
5. A la luz de los hallazgos de la investigación sobre la energía concernientes a los recursos energéticos, recomendar prioridades en la orientación y aplicación de ese tipo de investigación para que sean estudiadas tanto por los responsables de tomar las decisiones como por los investigadores y otras partes interesadas.
6. Hacer recomendaciones respecto a los posibles caminos para determinar y mejorar, nacional e internacionalmente, la asignación de los recursos disponibles para la investigación sobre la energía.

Las evaluaciones de la investigación, encargadas por el Grupo en cumplimiento de los objetivos 1, 2 y 3, produjeron un total de 103 reseñas críticas (apéndice 2). Aunque muchas de ellas son mencionadas en el presente informe, éste no consiste ni en un resumen de ellas ni en un examen exhaustivo de la investigación. Las reseñas aprobadas, que están siendo publicadas por separado, constituyen la base de nuestro informe y una útil evaluación del estado actual de la investigación sobre la energía, que reviste un gran interés tanto para los investigadores como para aquellos que aplican profesionalmente los resultados de la investigación.

No nos fue posible, con los recursos con que contaba el Grupo, cumplir con el objetivo número 4, esto es, con la difusión de nuestros puntos de vista y la invitación a la discusión. Reconocemos la importancia de la discusión, en especial para poner a prueba nuestras opiniones, por lo que mucho nos agradaría que este informe o nuestras reseñas provocaran una discusión más viva de los graves problemas que enfrentan los países en desarrollo en relación con la energía.

El informe cumple también con los objetivos 5 y 6, pero, de más está decirlo, las restricciones impuestas por el tiempo y la disponibilidad de recursos dan la medida de su amplitud. Los fondos proporcionados por el IDRC y la ONU para nuestra propia investigación fueron generosos; sin embargo, el campo de la

investigación sobre la energía es tan amplio y la diversidad de los países en desarrollo tan grande que, aunque nuestros recursos hubiesen sido mucho más vastos, habría sido poco realista y aun temerario el intento de identificar con precisión todos los temas potenciales y todas las prioridades de investigación relacionados con la energía convenientes para todos los países en desarrollo. Lo que hemos tratado es señalar las orientaciones prometedoras, no elaborar un plan maestro.

LAS PREMISAS DEL INFORME

En el apéndice 1 presentamos la composición del Grupo y en el capítulo II describimos en mayor detalle el enfoque que adoptamos sobre nuestra misión. Dada la naturaleza de nuestro grupo y nuestra misión, es normal que no todos estemos de acuerdo con todo lo que se incluye en el informe, pero sí concordamos todos en cuanto se refiere a los aspectos o recomendaciones principales del mismo. Las reservas, salvedades y dudas que algunos de nosotros podamos tener respecto a ciertas proposiciones específicas no siempre son enunciadas en detalle porque creemos que también tenemos el deber para con nuestros lectores de ofrecer un informe claro y simple; no obstante, asumimos en conjunto la responsabilidad por nuestros planteamientos.

Como reflejo de los principios generales que guiaron este informe, el Grupo intenta difundir con él un enfoque completo de los problemas relacionados con la energía. A medida que el estudio de un tema avanza, los investigadores lo subdividen y profundizan de manera progresiva en problemas que se definen cada vez más minuciosamente. En nuestra época, los estudios sobre la energía forman un conjunto híbrido de muchas disciplinas, y cada una aporta sus propios conceptos y metodología. En las condiciones actuales, no obstante, para los países en desarrollo es importante que los problemas de la energía sean definidos en términos comprensivos y que se desarrollen nuevos conceptos, formulaciones teóricas y metodologías. Consecuentemente, nos declaramos en favor de una exploración coordinada y sistemática de las relaciones ocultas entre la energía y otras variables —preferencia que ilustramos, por ejemplo, con el énfasis que ponemos

en las relaciones entre la energía y la economía, en la planeación y fijación de precios de la energía a nivel nacional y en la influencia de los patrones de emplazamiento sobre el consumo de energía.

Nos declaramos, también, por que el estudio de los recursos energéticos y de las tecnologías relacionadas con la energía se haga en función de la demanda de unos y otras. Lo anterior implica tres conclusiones importantes: primera, la demanda de energía debe ser tratada como una variable activa de la política, como una fuente potencial de soluciones tanto para los problemas relacionados con la energía como para los relacionados con su suministro y la tecnología pertinente. En efecto, la demanda puede ser tratada como una variable exógena determinada por las tendencias de la producción, los ingresos y los precios y, así, preguntarse qué fuentes de energía pueden satisfacer las proyecciones que se hagan de ella (véase, v.g., Wilson, 1977; Greene y Gallagher, 1980); sin embargo, este tipo de formulación comienza a dejar de ser conveniente, incluso para los países industrializados más ricos, cuando los costos reales de la energía se tornan significativos; y es aun menos adecuada para los países en desarrollo en los que el suministro de energía se verá seguramente restringido por una capacidad de inversión limitada o por una balanza de pagos desfavorable. En el caso de esos países, la demanda de energía debe ser considerada como una variable, en lugar de como un parámetro. Para ello, es preciso plantearse varias preguntas: ¿qué tipo de desarrollo permitiría el mayor incremento de los patrones de vida, incremento que fuese congruente con las restricciones realistas en cuestión de energía o, en realidad, de cualquier recurso?; ¿cuáles son los factores que determinan la demanda de energía y en qué medida pueden ser modificados?; ¿a los requerimientos de quién debe darse prioridad? Consecuentemente, la demanda de energía puede ser regulada y administrada, por lo que las posibilidades y límites de la administración de la demanda de energía son un tema primordial para la investigación en los países en desarrollo.

Segunda, los recursos energéticos y las tecnologías relacionadas con la energía deben ser estudiados en función de sus usos, y los recursos y tecnologías opcionales que puedan ser útiles para el mismo uso deben ser estudiados conjuntamente. En otras palabras, existen posibilidades de sustituir unos combustibles por otros en la mayoría de los casos de uso de energéticos, esas

posibilidades determinan la competitividad de las fuentes de energía en tales casos y las perspectivas de competitividad deben ser un factor determinante en las decisiones sobre la investigación de un recurso específico.

Finalmente, la energía ahorrada se suma al suministro al igual que la energía producida. La investigación sobre los métodos para ahorrar energía ha avanzado menos y tiene un mayor potencial que la investigación sobre la producción de energía, y también es más conveniente para los países en desarrollo. Aunque estos países consumen pocas formas de energía en gran escala, y producen aun menos, sus existencias de calderas, por ejemplo, suman millares, y las de máquinas y motores, millones, por lo que algunas pequeñas mejoras en el rendimiento de esos dispositivos pueden modificar significativa y positivamente la demanda de energía de dichos países. A menudo, el uso más eficaz de las fuentes de energía es menos costoso que la expansión de su suministro. Por ende, es menester otorgar una alta prioridad a la conservación de la energía.

Desafortunadamente, el conjunto de la investigación sobre muchos de esos dispositivos no ha avanzado a tal grado que podamos identificar con confianza sus rumbos más prometedores. Y éste no es el único campo en el que nos encontramos sondeando las profundidades de la incertidumbre; existen muchos otros en los que nuestra opinión es tentativa e imperfecta. Por lo tanto, consideramos este informe, no como un veredicto, sino como un aprendizaje y lo ofrecemos como una contribución a los debates que guían las decisiones nacionales e internacionales en materia de energía. Esperamos aprender tanto del debate como lo hicimos al elaborar el informe.

LAS FUENTES DEL INFORME

La información utilizada es, en su mayoría, de fuentes del dominio público; la información inédita es más difícil de evaluar. Estudiamos la mayor cantidad posible de obras publicadas en inglés y nuestros estudios por regiones incluyeron publicaciones en chino, indonesio, coreano, portugués y español; también tratamos de incluir publicaciones en francés y alemán. Las publica-

ciones en ruso, no obstante, constituyen una carencia importante en nuestra evaluación. Las principales tendencias de la investigación se reflejan en las publicaciones de todos los países industrializados y, también tarde o temprano, de todos los demás países. No obstante, existen especialidades y estilos nacionales de investigación y teorías que son populares en algunos países en particular. La importancia potencial de este hecho puede ejemplificarse mediante la teoría del origen no biológico de los hidrocarburos. Esa teoría fue propuesta en 1870 en Rusia y mantuvo su influencia en la Unión Soviética, pero en Occidente nunca fue tomada en serio, hasta que recibió el inesperado apoyo de los datos obtenidos mediante las sondas espaciales.

El informe no incluye el estudio de las tecnologías de producción o ingeniería de las principales industrias del sector de la energía: petróleo, gas, carbón o electricidad (térmica, hidráulica o nuclear). En un principio, consideramos seriamente su inclusión, pero nos dimos cuenta de que las publicaciones sobre el tema constituían una guía imperfecta para adentrarse en esos campos y excluían en gran medida a los países en desarrollo. Un estudio adecuado de esas tecnologías habría exigido la cooperación de empresas del sector industrial de la energía y la ingeniería y el recurso a consultores costosos; habría sido un trabajo muy diferente de aquel para el que estábamos preparados. Tal omisión no refleja la poca o mucha importancia de esas industrias, sólo lo inadecuado de los recursos del GIE. No obstante, evaluamos el estado que guarda la investigación de los principales temas estratégicos con los que seguramente tendrán que vérselas los encargados de formular las políticas relacionadas con dichas industrias.

Las referencias mencionadas en el informe no constituyen una reseña de publicaciones ni tienen la intención de hacer justicia a la investigación en el mundo en general o en los países en desarrollo en particular; representan lo que consideramos como el apoyo mínimo necesario para nuestros argumentos. Entre las opciones que se nos presentaron, intentamos elegir las publicaciones más recientes y accesibles.

Por razones de tiempo y espacio, nos impusimos ciertas limitaciones. Si bien intentamos vincular los principales problemas de investigación con los países en desarrollo para los que tienen mayor significancia, nos abstuvimos de entrar en detalles regionales o nacionales. Intentamos profundizar lo suficiente en las

tecnologías como para formular un juicio general acerca de sus usos finales, de su conveniencia para esos usos, de sus prioridades e importancia relativas y de las orientaciones de investigación prometedoras; profundizar más en la complejidad tecnológica, aunque deseable, no fue posible dada la envergadura de nuestro cometido. En los casos en que la información sobre ciertas tecnologías era confidencial o se encontraba protegida por derechos reservados o en los que la investigación no estaba lo suficientemente avanzada como para proporcionar las bases para emitir una opinión, fue difícil formular un juicio, aun general. En un gran número de esos casos, nos abstuvimos de formular juicio alguno.

LA ESTRUCTURA DEL INFORME

El informe está dividido en quince capítulos. En el capítulo II describimos el enfoque adoptado por el GIE —supuestos, procedimientos acordados y métodos para abordar los temas controvertidos—. En el capítulo III presentamos el análisis del GIE acerca de las debilidades de la capacidad de investigación de los países en desarrollo y respecto a lo que es necesario hacer para aumentar esa capacidad. En dicho capítulo abordamos también la relación entre la política y la investigación.

Siguen dos capítulos sobre la demanda de energía, cuyo análisis debería ser, en opinión del GIE, el punto de partida para la investigación sobre la energía. En el capítulo IV abordamos el análisis de la demanda al nivel del sistema socioeconómico y de los sectores consumidores de energía. En el capítulo V, abordamos la investigación sobre la conservación de la energía y hacemos un énfasis especial en la investigación sobre el rendimiento de los equipos que consumen energía.

En los capítulos siguientes examinamos los principales recursos energéticos y tecnologías relacionadas con la energía. Se hizo un intento por agrupar las fuentes de energía en función de la posibilidad de sustitución entre ellas; sin embargo, tal posibilidad es una cuestión de grado y puede variar de un uso a otro, por lo que nuestra clasificación es aproximativa. En los capítulos VI, VII y VIII, abordamos los combustibles líquidos, gaseosos y sólidos,

respectivamente, todos los cuales suministran energía a través de la combustión. El capítulo IX trata sobre otras dos fuentes térmicas de energía, a saber: la energía geotérmica y la solar. La electricidad es abordada en el capítulo X, mientras que en el capítulo XI abordamos dos fuentes de energía motriz: la energía eólica y la humana.

Los problemas ambientales se relacionan, además de con la energía, con otros muchos factores, por lo que, dadas las limitaciones del GIE en cuanto a tiempo y recursos, habría sido imposible profundizar aun en aquellos relacionados con la energía; no obstante, en el capítulo XII abordamos tres problemas ambientales importantes relacionados con la energía: la deforestación y la desertificación, el incremento de la temperatura de la tierra y la lluvia ácida.

Las conclusiones detalladas del GIE son demasiado numerosas y variadas como para poder resumirlas en este capítulo introductorio y su importancia y pertinencia varían de un país en desarrollo a otro; por lo tanto, decidimos resumir al inicio de cada capítulo las pertinentes al mismo. No obstante, las conclusiones más generales de nuestra tarea colectiva se encuentran resumidas en los tres breves últimos capítulos: las referentes a los requisitos para la investigación, en el capítulo XIII; las concernientes a los usos de la energía, en el XIV, y aquellas respecto a los recursos energéticos, en el capítulo XV.

II. EL ENFOQUE DEL GIE

En el GIE participamos once especialistas en energía provenientes de países en desarrollo. Para la investigación relacionada con este informe, tratamos de combinar consideraciones profesionales y sociopolíticas y, asimismo, nos comprometimos profundamente en el fortalecimiento de nuestra capacidad de investigación, prioridad sin la cual habría sido inútil aventurarnos en este proyecto. En cuanto a nuestro cometido, intentamos identificar las líneas de investigación prometedoras a partir del papel de la energía en el desarrollo y abarcamos todas las formas y usos de la energía.

Los supuestos normativos iniciales del GIE fueron los siguientes: 1) El crecimiento de la producción y el consumo es fundamental para el mejoramiento de los patrones de vida de los países en desarrollo, pero también es necesaria la formulación de políticas con el propósito deliberado de aliviar la pobreza y mejorar la distribución del ingreso; y esta preocupación por la justicia concierne también a la esfera internacional. 2) Es necesario que los países en desarrollo aumenten su capacidad para tomar decisiones de manera independiente, lo cual exige la adopción de cierto número de funciones y actividades de las cuales carecen o para las cuales dependen de los países industrializados. 3) Las actividades económicas deben pasar la prueba de la preservación del medio ambiente y deben ser dirigidas con eficiencia, si bien ésta debe ser definida conforme a las necesidades de cada lugar en particular.

El informe representa la posición unánime del GIE; sin embargo, reconocemos que existe cierto número de temas respecto a los cuales el estado actual del conocimiento permite la sustentación de otras opiniones igualmente válidas.

Los miembros del GIE provenimos de una amplia gama de áreas de especialidad. Algunos podemos ser clasificados como académicos, otros, como profesionales, otros más, como administra-

dores y otros, en fin, como políticos, si bien la mayoría podríamos ser ubicados en áreas intermedias. En diversas etapas de nuestra vida hemos participado en la enseñanza, la investigación, la política, el periodismo y la administración. Con todo, existen dos elementos que nos son comunes: somos ciudadanos de países en desarrollo que trabajamos en ellos y todos nos hemos interesado con seriedad en algún aspecto del campo de la energía, con más seriedad que sólo formarnos una opinión o hacer declaraciones. Finalmente, la mayoría de nosotros ha estudiado, enseñado o administrado algún aspecto sobre el tema. Estas características comunes dieron forma a nuestra concepción de lo que puede y debe hacerse.

La preocupación pública activa por la energía surgió hace más de diez años. Durante ese tiempo, mucho se ha escrito respecto a lo que los países en desarrollo deberían hacer o han hecho (véase, por ejemplo, Organización de las Naciones Unidas, 1981; World Bank [WB], 1981, 1983a; WB y Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1981; Bhagavan y Carlman, 1982; Mwandosya *et al.*, 1983; Commission of European Communities [CEC], 1984; Goldemberg *et al.*, 1985), por lo que nos preguntamos qué podíamos añadir a la ya de por sí amplia gama de deliberaciones y recomendaciones que nos habían precedido.

Teníamos dos modelos básicos que podíamos seguir. Uno consistía en una evaluación puramente profesional de las necesidades de la investigación basada en las lagunas técnicas del conocimiento (véase, en Smoot y Hill, 1983, un ejemplo excelente respecto a la investigación sobre la combustión); sin embargo, tal enfoque no era realmente aplicable a nuestro tema, el cual carece de fronteras bien definidas, de un grupo supervisor reconocido o de consenso entre los principales profesionales. El segundo modelo consistía en la elaboración de un comentario social y político, modelo que nos pareció indispensable, puesto que no es posible prescribir prioridades de investigación para el desarrollo sin tomar en consideración criterios sociales y políticos. Con todo, tanto la composición del GIE como las condiciones de su formación exigían que se combinara el punto de vista profesional con el sociopolítico; por lo tanto, tuvimos que elaborar nuestro propio enfoque, el cual explicamos a continuación.

LOS PUNTOS DE PARTIDA

La patología de la investigación

Para empezar, no podíamos tomar nuestros objetivos al pie de la letra y limitarnos a establecer prioridades para la investigación. Como iniciadores y profesionales de la investigación en países en desarrollo, estábamos convencidos de que, a menos que se mejorara la efectividad de las instituciones de investigación de los países en desarrollo y a menos que se las incluyera en el proceso de la producción y en el de la formulación de políticas, el establecimiento de prioridades para la investigación acarrearía consigo su propio fracaso. Si bien nuestros puntos de vista sobre la investigación pueden no ser definitivos, en este capítulo nos vimos obligados a echar los cimientos de un diagnóstico.

Las trayectorias de la investigación

El propósito del establecimiento de prioridades para la investigación consiste en dirigir los recursos —investigadores, fondos, equipo— hacia las áreas de interés deseables y prometedoras. A menudo, no obstante, la investigación significa aventurarse en lo desconocido y sus resultados pueden ser negativos en muchos sentidos. Entre las comunidades de investigadores, los problemas de la investigación son concebidos comúnmente en función de paradigmas, que no siempre son adecuados para obtener soluciones efectivas. La investigación es, en parte, un fenómeno social y, frecuentemente, las comunidades de investigadores se comportan conforme a la psicología de masas —o de la partida de caza—: los precursores que hacen frente a problemas nuevos o prueban metodologías e instrumentos nuevos son seguidos a menudo por una horda de imitadores. Tal oportunismo científicotecnológico puede verse a menudo en, por ejemplo, la influencia que ejercen los paradigmas de los países desarrollados sobre la investigación de los países en desarrollo; oportunismo que, en ese caso, se ve estimulado por las recompensas materiales y sociales, considerablemente más cuantiosas, otorgadas a las investigaciones que son publicadas en los países industrializados

o que éstos aprueban (Cooper, 1973). El gasto en investigación es una inversión, por lo que es vulnerable a las mismas fuerzas que provocan pérdidas en ésta, tales como las posibilidades de lucro y enriquecimiento. Estas fuentes de pérdidas persistirían aun cuando las prioridades fuesen establecidas correctamente.

Por ende, consideramos que, como investigadores, no sólo deberíamos mostrar las áreas de investigación prioritaria sino también los rumbos y enfoques prometedores. Por temor a exponernos al peligro de olvidar los riesgos de tal empresa, tuvimos siempre presente la reseña de Werner Von Siemens acerca del estado actual de la investigación sobre la electricidad. Después de hacer un estudio de la experimentación con baterías en todo el mundo occidental (incluido un barco impulsado mediante ese sistema que fue botado por Jacobi en el río Neva de Rusia), el fundador de la conocida empresa de equipo eléctrico, Siemens und Halske, y gran inventor por mérito propio, llegó a la conclusión de que esa tecnología era inapropiada para servir como base del uso generalizado de la electricidad y se concentró en el desarrollo de las “máquinas magnetoeléctricas” o dinamos. Su punto de vista se ha visto justificado por el insignificante papel de las baterías después de cien años de desarrollo. Pero también llegó a la conclusión de que la iluminación mediante alambres de carbón o metal no era práctica porque, según él, “la luz así generada es demasiado débil, requiere mucha electricidad y mano de obra y difícilmente puede ser llamada luz eléctrica” (Siemens, 1980), por lo que se dedicó al desarrollo de las “bujías” eléctricas e iluminó el Reichstag con ellas. El 21 de octubre de 1879 —casi al mismo tiempo que Siemens escribía lo citado—, Edison colocó un filamento de carbón dentro de una bombilla al vacío y probó un invento que envió a dormir el sueño de los justos a la lámpara de arco.

Consecuentemente, mostramos modestia y cautela al hacer nuestras evaluaciones sobre las orientaciones de la investigación que pueden ser prometedoras y no afirmamos que dichas evaluaciones sean infalibles. También tratamos de no alejarnos demasiado de nuestra propia experiencia y de no especular. Lo anterior significa que no pudimos ser igualmente categóricos en todas las áreas; sí nos aventuramos, no obstante, a emitir opiniones que esperamos contribuyan a hacer más eficaz la investigación.

Un punto de vista profano

En el Grupo llegamos a tres decisiones fundamentales: 1) que las prioridades de la investigación sobre la energía deberían derivar del lugar de esta última en el proceso de desarrollo y no de ninguna de sus características intrínsecas; por ende, 2) que deberíamos incluir en nuestra esfera de acción algunas investigaciones que los analistas especializados en el campo de la energía no siempre toman en consideración y 3) que los factores que deberían indicar las prioridades serían la demanda y el uso de la energía.

Aunque todos somos académicos o profesionales especializados, buscamos trascender nuestros puntos de vista técnicos, alcanzar un consenso amplio y complementar nuestros propios conocimientos mediante el expediente de tener siempre presentes las decisiones que en materia socioeconómica deben tomar las sociedades en desarrollo, así como los intereses creados que constriñen esas decisiones. Así, intentamos llegar a un acuerdo respecto a los supuestos ideológicos que deberían normar nuestros juicios comunes sobre los aspectos socioeconómicos; supuestos que describimos en la sección “Las grandes incertidumbres” de este mismo capítulo.

El alcance de la investigación

De acuerdo con nuestro cometido, tratamos de abarcar todas las formas y todos los usos de la energía, con excepción de aquellas formas que no tienen probabilidades de llegar a ser significativas a mediano y largo plazos (por ejemplo: la conversión de la energía térmica oceánica). Asimismo, dejamos de lado muchos usos de la energía o aparatos que la consumen (como turbinas y motores de reacción), en gran parte, por falta de tiempo, pero también porque su investigación y desarrollo se confinan a menudo a un reducido número de productores y para los observadores exteriores es difícil su seguimiento.

A diferencia de muchos académicos, incluidos algunos de los miembros y revisores del Grupo, no tomamos partido en la cuestión que opone a recursos renovables y no renovables. El uso de estos últimos constituye una decisión que afecta su disponibilidad

para las generaciones venideras y, por lo mismo, entraña un juicio de valor al que no escaparíamos mediante ninguna norma simplista que buscara perfeccionar dicho uso. El principio de Hotelling, que establece que el precio neto (excluidos los costos de extracción y producción) de un recurso no renovable debe aumentar a un ritmo igual que la tasa de interés, es aplicable únicamente en condiciones restrictivas y no es muy útil en situaciones prácticas. No es asunto fácil hacer comparaciones de utilidad que abarquen a varias generaciones (véase Umaña, 1984); sin embargo, la decisión moral deben tomarla aquellos que determinan sobre el aprovechamiento de esos recursos. El grueso de los recursos no renovables es consumido por los países industrializados y, dada la organización de los mercados industriales, el hecho de que los países en desarrollo decidan consumir menos combustibles fósiles no significará en lo absoluto que habrá una mayor disponibilidad de éstos para sus generaciones futuras. Consecuentemente, no corresponde a los países en desarrollo tomar esa decisión, como tampoco el juicio moral que tal decisión impone.

Con todo, ello no significa que esos países no sufrirán las consecuencias del agotamiento de dichos recursos. Por lo tanto, si acaso llegaren a hacerse esfuerzos para regular la tasa a la que deban agotarse los recursos mundiales, es obvio que los países en desarrollo tendrán que interesarse en contribuir a tales esfuerzos. Igualmente, los países que explotan recursos no renovables (incluidos los combustibles fósiles) para uso interno o para la exportación tienen que decidir a qué ritmo agotarán esos recursos, ya que enfrentan el problema de una decisión —acerca de la explotación de dichos recursos— cuyas consecuencias se extienden en el tiempo y que también constituye un tema de investigación, ya sea que lo aborden como un problema de disponibilidad entre generaciones o de balanza de pagos o en cualquier otra forma que elijan; pero es un problema capital para los países que cuentan con recursos no renovables para la exportación.

LOS SUPUESTOS NORMATIVOS

El establecimiento de prioridades para la investigación sobre la energía exige un enfoque práctico, un análisis de los objetivos

prácticos próximos en el tiempo, más que la promesa o la fascinación de la investigación *per se*. No obstante, nos fue imposible adoptar un punto de vista estrecho, orientado a *darle la razón al cliente*, debido a que los clientes potenciales —gobiernos, instituciones patrocinadoras, productores, etcétera— eran muchos y a que, al mismo tiempo, sus objetivos eran discutibles. Lo mejor que pudimos hacer, por ende, fue trabajar con un conjunto de metas que contaran con la aceptación generalizada de los países en desarrollo. De esas metas, que discutimos más adelante, algunas pueden parecer tan loables como la maternidad universal, otras, tan polémicas como el crecimiento cero. Inevitablemente, algunas de las opiniones expresadas en este informe generarán controversias. Damos la bienvenida a la controversia como el espinoso camino que lleva a la verdad; pero para que sea fructífera, la controversia debe basarse en las mismas premisas, por lo que creímos que lo mejor sería que expresáramos las nuestras, primero, para ayudar en el proceso de nuestro propio consenso y, después, con la esperanza de guiar el debate por senderos más constructivos.

En los siglos que precedieron al surgimiento de la industria moderna, la comodidad con que se vivía y la mano de obra que se empleaba para vivir dependían de la relación del hombre con la tierra. Está por demás decir que, para la existencia de las concentraciones urbanas de personas que no producían sus propios alimentos, en todas las épocas fue fundamental que existiera un excedente de alimentos que superara las necesidades de consumo de la población que los producía. Ahí donde alcanzaba altos grados de fertilidad o donde tenía pesca, caza y frutas abundantes, el hombre vivía bien o contaba con bastante tiempo de ocio; en condiciones más difíciles, tenía que trabajar más arduamente para llevar una vida más pobre.

En las regiones donde podía generarse un excedente por sobre las necesidades de subsistencia de la población productora, una parte de ésta buscaba otras ocupaciones, como el comercio, el gobierno, la religión y la guerra, con lo que algunos lograban riquezas y prosperidad considerables. Así, en algunas sociedades preindustriales se crearon mecanismos que generaron la desigualdad económica.

La innovación de las técnicas mecánicas modernas condujo a aumentos enormes en la productividad de la mano de obra huma-

na; y no sólo hicieron posible una concentración de la riqueza y los ingresos inimaginable en el mundo preindustrial sino que incrementaron los ingresos de la población trabajadora a través de la reinversión de esa riqueza en actividades que exigían mano de obra. En la actualidad, ese proceso de crecimiento económico abarca casi por completo a la mayoría de la población de los países considerados como industrializados.

En el resto del mundo, las ventajas de los procesos de crecimiento de la productividad y de los ingresos han recaído sólo en una parte —a menudo muy pequeña— de la población y han generado grandes diferencias en riqueza y modo de vida entre aquellos que se han beneficiado de la ola mundial de crecimiento de la productividad y los que no han obtenido beneficios de ella. A los que no se han beneficiado, les parece que su situación de pobreza y necesidad ya no es inevitable y que constituye una mancha y una vergüenza, vista la situación de prosperidad de sus vecinos, cercanos y distantes.

Naturalmente, si se quiere que mejoren los patrones de vida de los países en desarrollo, es necesario que haya un aumento significativo de la producción de bienes y servicios. La energía, como antes lo subrayamos, es un producto intermedio, y el interés en ella sólo tiene sentido cuando está en relación estrecha con la necesidad de lograr una mayor producción y un mayor consumo. Consecuentemente, el crecimiento en los países en desarrollo es una condición indispensable para el mejoramiento de la situación de sus habitantes.

Por supuesto, estamos convencidos de que en los países en desarrollo existen también mecanismos que provocan una distribución inequitativa de los beneficios del crecimiento. Pero, si bien es cierto que las desigualdades que surgen de la concentración de la propiedad se encuentran tan generalizadas en los países en desarrollo como en los industrializados, no es menos cierto que las fuerzas que incrementan los salarios y reducen la desigualdad no son tan poderosas en los primeros como en algunos de los segundos. Además, existen otras fuerzas que provocan la desigualdad que son características de los países en desarrollo, o cuando menos más poderosas que en los industrializados: la propiedad de la industria y de los negocios tiende a concentrarse en grupos sociales más reducidos; el poder político está en manos de grupos pequeños y es convertido en poder económico; el acceso

a la educación no es equitativo y existen marcadas diferencias en la calidad de la educación, según que esté destinada a los ricos o a los pobres; el crecimiento se restringe a los sectores comercializados de la economía y no llega a aquellos que se dedican a la recolección, la caza y la agricultura de subsistencia; la tierra es un importante medio de enriquecimiento y su propiedad no está al alcance de grandes sectores de la población rural; en las áreas urbanas, en fin, la mala calidad de la vivienda, la inseguridad y la incertidumbre en el empleo se combinan para privar a los pobres de las posibilidades de acumular bienes. Y la consecuencia de todas esas fuerzas se pone de manifiesto en la pobreza, la miseria y la suciedad generalizadas, incluso en algunos de los países en desarrollo más prósperos y dinámicos. En nuestra opinión, no obstante, esas tragedias del crecimiento son a menudo evitables y sus manifestaciones más graves, remediabiles, aun con los actuales recursos de esos países.

No creemos que la pobreza o la desigualdad puedan ser eliminadas, y ni siquiera reducidas significativamente, por medio tan sólo de las acciones que se emprendan en el campo de la energía; sin embargo, la mayoría de las acciones que pueden emprenderse comprenden un componente relacionado con la tecnología, incluso aquellas que influyen en la pobreza y la desigualdad, y toda tecnología contiene un componente relacionado con la energía. Las consecuencias de las acciones que puedan emprenderse para lograr la distribución del ingreso y la satisfacción de las necesidades básicas pueden ser importantes, deberían ser exploradas y deberían ser tomadas en consideración en la formulación de la política sobre energía. Además, las acciones que se emprendan en el campo de la energía pueden mejorar la productividad y proporcionar los medios para mejorar la distribución del ingreso y la calidad de la vida. No debe olvidarse que la pobreza y las desigualdades extremas introducen factores de inestabilidad e inseguridad en las sociedades y hacen imposible su desarrollo rápido y sostenido. Por ello, el alivio de la pobreza debe constituir un componente esencial de la política de desarrollo, de la que forma parte la política sobre energía.

El surgimiento de la industria moderna ha llevado a la aparición de un gran número de nuevos productos, nuevas actividades y nuevas ocupaciones, limitados en su gran mayoría a los países industrializados. Tal especialización, junto con la concentración

de la producción industrial en los países industrializados, otorga a éstos una enorme influencia en la suerte de los que se encuentran en vías de desarrollo, influencia que es ejercida no solamente por sus gobiernos sino también por las grandes corporaciones transnacionales, que tienen sus oficinas matrices en ellos. Es razonable esperar que esos gobiernos, al igual que las corporaciones, ejerzan el poder que tienen sobre los países en desarrollo con mesura, rectitud y justicia, en el comercio, las finanzas y la transferencia de tecnología, por ejemplo. En ese sentido, estamos por el establecimiento de un orden económico mundial más justo.

Reconocemos también, no obstante, que el mundo está dividido en estados-nación y que, sea cual fuere el grado de ayuda internacional, el desarrollo de un país depende en gran medida de los esfuerzos que su propio pueblo lleve a cabo dentro de sus fronteras. Por ende, para los países en desarrollo es fundamental que desarrollen ciertas actitudes, así como su propia capacidad; esto es, deben confiar en sí mismos en lo que se refiere a ciertos aspectos básicos. Cuáles son con precisión esos aspectos y cuál debe ser el límite entre la confianza en sí mismos y la autarquía son temas que dan lugar a grandes diferencias de opinión. Con todo, las concordancias sobre la existencia de cierta clase de actividades fundamentales son mayores. La capacidad y la independencia de un gobierno para tomar decisiones en interés de la nación en materia de política sobre energía es un ejemplo obvio. Y de ello se desprende la necesidad de contar con la capacidad de investigación que se requiere para tomar decisiones bien sustentadas y con la capacidad productiva para sostener y utilizar la investigación. Consecuentemente, la confianza en la capacidad propia es un requisito para que la soberanía nacional cuente con puntales económicos y tecnológicos firmes.

Si no se presta atención a los factores externos, es imposible considerar las grandes cuestiones de política, incluida la política sobre energía. El uso que unos hacen de los combustibles sólidos perjudica a otros de diversas maneras, como es el caso de la lluvia ácida y la contaminación. Creemos que las inequidades e inconvenientes generados por las actividades económicas deben ser tomados en cuenta con determinación en el cálculo de los beneficios netos y que tales actividades deben pasar la prueba de la preservación del medio ambiente.

Los factores externos surgen no sólo entre los actuales habitantes del mundo sino también entre las generaciones. Por ejemplo, la cantidad de combustibles sólidos disponibles en este planeta es estrictamente finita; quien sea que los use en el presente reduce su suministro potencial disponible para las generaciones venideras (Georgescu-Roegen, 1976). Si bien no concluimos de este hecho que deba pasarse rápidamente del uso de los recursos no renovables al de los renovables, sí debemos hacer hincapié en la necesidad de tomar en cuenta los intereses de las próximas generaciones.

Compartimos la preferencia por la eficacia en el sentido de que, si puede emprenderse una actividad con un menor consumo de recursos, debería hacerse. Esa preferencia puede parecer banal; y también es cierto que carece de especificidad, porque no existe una medida única de la eficacia. La medición en función de un solo factor —la productividad de la mano de obra, por ejemplo— puede resultar engañosa ahí donde se cuenta con cierto número de insumos; y existe un número infinito de maneras de ponderar tales insumos para obtener una medida de la eficacia. El ponderarlos mediante sus propios precios es un método convencional conveniente, pero los precios no son invariables. En particular, muchos países en desarrollo dependen de las importaciones de energéticos y enfrentan probabilidades extremadamente desiguales de expandir sus exportaciones. En los países en desarrollo, las variaciones resultantes en el costo oculto de las importaciones pueden hacer que la investigación y la inversión en el campo de la sustitución de importaciones, incluidos los energéticos, valgan la pena, incluso en los casos en que los costos internacionales a los tipos de cambio corrientes no las favorecen. Debe adoptarse una perspectiva muy amplia para prever las crisis futuras cuando se toman esas decisiones; por ejemplo: un país que espera un deterioro de su balanza de pagos puede tomar medidas preventivas y desarrollar tecnologías opcionales relacionadas con la energía aun antes de que sean económicamente costeables en función del tipo de cambio vigente. Desde un punto de vista más general, en el establecimiento de un concepto útil de la eficacia, es necesario tomar en cuenta múltiples insumos y adaptarlo a las condiciones y objetivos nacionales.

LOS GRANDES INTERROGANTES

El consenso en que se basa este informe fue alcanzado mediante un proceso reiterativo. Tomando como referencia el gran número de directrices recibidas y los objetivos propuestos por todo el Grupo, primero dimos cuerpo a un conjunto de proposiciones para definir una posición única; después, ese conjunto fue modificado, expandido y redefinido sobre la base de las reacciones de los miembros a tres borradores sucesivos. Esa interacción no produjo desacuerdos básicos, pero se nos presentó cierto número de situaciones futuras o hipotéticas respecto a las cuales descubrimos que podía sostenerse, con más o menos la misma confianza, un gran número de opiniones opcionales; entre ellas, algunas de las cuestiones fundamentales del debate sobre la energía. A continuación daremos cuatro ejemplos que ilustran lo anterior.

El precio futuro del petróleo. En los últimos doce años, se ha investigado, desarrollado o puesto al día un gran número de tecnologías en prevención de que los precios del petróleo continuaran a la alza. Si tal alza hubiese continuado, un gran número de tecnologías y recursos sustitutos se habrían vuelto competitivos a los diferentes niveles del precio del petróleo; mientras más rápido hubiese sido el aumento en los precios, más pronto se habrían vuelto competitivos esos recursos y tecnologías y más pronto se habrían justificado la investigación y el desarrollo para mejorarlos. Por otra parte, en el supuesto de que los precios permanecieran durante un largo tiempo por abajo del nivel al que los sustitutos se vuelven viables, la investigación y el desarrollo de éstos serían prematuros, si no un desperdicio. Entre los investigadores existe una profunda convicción respecto al curso futuro de los precios del petróleo, la cual, sin sorprender a nadie, se relaciona con su convicción respecto a lo deseable de la investigación de alternativas. No obstante, si examinamos en detalle la cuestión, vemos que el mecanismo de determinación de los precios del petróleo es complejo y oscuro (Singer, 1983, 1985). Aun cuando fuese transparente, en tal mecanismo intervienen variables —como los ritmos del progreso tecnológico y del descubrimiento de yacimientos de petróleo— que hacen de lo más incierto su curso futuro (Adelman *et al.*, 1983). En esas condiciones, también es posible sostener con la misma justificación una amplia varie-

dad de convicciones diferentes respecto a los futuros precios del petróleo.

El ritmo futuro del calentamiento de la tierra. La posibilidad de que el aumento en la concentración atmosférica de dióxido de carbono pueda cambiar radicalmente los climas regionales y provocar la inundación de amplias zonas costeras al fundir la capa de hielo de la Antártida es profundamente perturbadora, y la opinión que cada quien tenga de ese peligro puede influir grandemente su confianza en las fuentes de energía “benignas” como el hidrógeno y la energía nuclear. Sin embargo, el grado de incertidumbre respecto a las futuras emisiones de carbono es alto y aumenta a medida que las proyecciones se extienden en el futuro. Mediante un conjunto de proyecciones basadas en valores plausibles de un número limitado de variables, se llegó a la conclusión de que las desviaciones estándar de las emisiones de carbono proyectadas serían aproximadamente iguales a la media en el año 2025 y de 30 a 60% más altas que la media en el año 2075 (Edmonds y Reilly, 1985b). Como vemos, los valores posibles se distribuyen en un espectro muy amplio. Ahora bien, puesto que algunas de las variables independientes pueden cambiar de acuerdo con la política que se establezca, la cual, a su vez, puede verse influida por la opinión que quienes la elaboran tengan respecto a los peligros del calentamiento de la tierra, las emisiones de carbono son intrínsecamente impredecibles. Empero, aun cuando fuesen predecibles, su relación con el clima mundial también es un tema que provoca fuertes debates, como lo exponemos en la segunda sección del capítulo II; y en este caso, asimismo, es posible sostener con igual confianza un gran número de opiniones.

El crecimiento de la economía mundial y sus ciclos. Hablando en sentido amplio, puede decirse que, entre más rápido sea el crecimiento de la demanda agregada en el resto del mundo, más fácil será para los países en desarrollo exportar y obtener los recursos necesarios para sus importaciones, incluidos los energéticos. Durante los veinticinco años posteriores a la segunda guerra mundial, se produjo un crecimiento relativamente rápido de la demanda mundial y, también, de las importaciones de petróleo hechas por los países en desarrollo. La demanda de petróleo de éstos se vio reducida por las subsecuentes alzas en los precios

de ese producto, pero también por la aminoración del crecimiento de los países industrializados después de 1973. También puede decirse que, en el futuro, entre más lento sea el crecimiento de la economía mundial, más comunes serán los problemas de balanza de pagos en los países en desarrollo y mayores justificaciones tendrán éstos para invertir en sustitutos del petróleo que, a su vez, sustituyan las importaciones, aun cuando dichos sustitutos no sean competitivos en el mercado internacional. De ahí que el atractivo que los sustitutos del petróleo puedan tener para los países en desarrollo dependa no sólo de los precios mundiales de ese bien, como antes se indicó, sino igualmente, del crecimiento económico mundial. Aunque se supone que éste se comporta cíclicamente, no se cuenta con una comprensión suficiente de las fuerzas que le dan impulso como para hacer predicciones confiables (Freeman *et al.*, 1982).

Los subsidios directos contra los indirectos. Uno de los principios razonables de la política económica establece que un subsidio cuya intención es mejorar la distribución del ingreso es mejor cuando se otorga en la forma de un ingreso generalizado que pueda gastarse en una amplia gama de bienes de consumo que cuando se otorga condicionado al consumo de un bien en particular. No obstante, en varios países se tienen graves dificultades para aplicar este principio. Las condiciones de cada país son privativas del mismo, por lo que es necesario evaluar la viabilidad de la aplicación en él de tal principio. La experiencia acumulada con que se cuenta no nos proporciona, tampoco en este caso, las bases suficientes para alcanzar un equilibrio entre lo óptimo y lo viable, por lo que también es posible emitir un gran número de juicios diferentes con igual validez.

Las anteriores son sólo algunas de las cuestiones sobre las cuales pudimos ver que existía una amplia gama de puntos de vista opcionales válidos. Así, la posición neutral de este informe respecto a éstas, al igual que respectó a otras cuestiones, se basa en la admisibilidad de las diferencias razonables, lo cual no impide que algunos de los miembros puedan sostener opiniones más definitivas individualmente.

III. LA INVESTIGACIÓN Y SU ENTORNO

La investigación tiene que ser tan útil como confiable; y la medida en que lo sea depende de la interacción eficaz entre quienes la realizan, la dirigen y la utilizan.

Los gobiernos son instituciones para resolver conflictos, por lo que, cualesquiera que sean sus principios generales, el papel central de la energía, el grado de la inversión en el campo de la energía y los costos de las importaciones de energéticos, o las ganancias de las exportaciones de los mismos, fuerzan a los gobiernos de los países en desarrollo a emprender acciones en dicho campo. En la elaboración de la política sobre la energía debe adoptarse una visión audaz sobre las situaciones futuras viables, elegir entre ellas y seleccionar los instrumentos para alcanzar los objetivos nacionales, y la investigación puede mejorar las decisiones que deban tomarse en cada una de esas etapas. No obstante, para que realmente ayude a la política, es fundamental que la investigación sea llevada a cabo por instituciones de investigación profesionales y bien dotadas, capaces de proporcionar una asesoría independiente. Antes que propietario de la investigación, el gobierno debería ser un comprador de la misma con conocimiento de causa.

En los países en desarrollo, muchas compañías cuentan con la capacidad para observar el ámbito en que operan mediante tecnologías muy complejas, y es necesario estimular esa capacidad. Así, la ayuda gubernamental debería destinarse al mejoramiento de dicha capacidad, no a la investigación y al desarrollo, en cuanto tales, y a la creación de estructuras de mercado competitivas que induzcan a las compañías a innovar, antes bien que a generar innovaciones en particular. Las instituciones de investigación que trabajan para compañías pequeñas deben estar en contacto estrecho con los productores adecuados y perfeccionar las innovaciones hasta el grado en que se reduzcan al mínimo los riesgos de su comercialización.

Para ser eficaces, las instituciones de investigación necesitan acumular experiencia, dar a conocer su capacidad intelectual, ase-

gurar el uso eficaz de su patrimonio intelectual y reunir a especialistas de diversas disciplinas para hacer frente a los problemas. Los fondos que los programas les asignen deben ser aplicados al mejoramiento de su patrimonio intelectual y material en áreas específicas de la investigación y, además, es necesario elaborar proyectos para el aprovechamiento de ese patrimonio. Los directores de las instituciones de investigación desempeñan una función de capital importancia en la coordinación de los investigadores, así como de los problemas, programas y proyectos. La capacitación y las comunicaciones, en fin, son fundamentales para la buena calidad de la investigación.

La función que desempeñan los organismos financieros internacionales en el mejoramiento de la capacidad de investigación de los países en desarrollo va de lo neutro a lo negativo. Mientras que los fondos para la investigación en gran escala relativa a sitios específicos requerida para los proyectos de inversión son proporcionados por los grandes organismos financieros internacionales, los pequeños organismos financieros proporcionan los fondos para la investigación en pequeña escala, que por lo general no se relaciona con la producción o la comercialización. La falta de coordinación característica de los países en desarrollo entre la política establecida, la producción y, por un lado, el uso de la investigación y, por el otro, la investigación misma no es responsabilidad de esos organismos; es producto del dominio que ejercen las corporaciones multinacionales sobre la producción de equipo consumidor de energía que requiere una gran inversión de capital, de la debilidad de las compañías nacionales y del aspecto pasivo de las políticas sobre energía de los gobiernos de esos países. Sin embargo, los organismos financieros internacionales refuerzan esa falta de coordinación, y hacen poco por remediar la debilidad de las instituciones de investigación de los países en desarrollo.

Este capítulo se centra en el tema de la investigación sobre la energía, pero mucho de lo que se dice en él puede aplicarse a temas más generales.

La investigación posee dos características esenciales aunque difíciles de definir: la utilidad y la calidad. Si ha de ser sometida a alguna evaluación social o económica, es necesario decir que la investigación debe servir directa o indirectamente para un uso práctico; pero eso no es suficiente. La investigación que conduce

a conclusiones erróneas puede provocar daños y, entre más importante es su aplicación, mayor es el daño que puede provocar. Por ende, la investigación debe ser útil y confiable.

La investigación es un insumo intermedio que puede ser utilizado en la formulación de políticas y en la producción o en el consumo y que, en cualquiera de esas actividades, debe reducir los riesgos que acompañan a las decisiones, o bien, aumentar las opciones o reducir los costos o mejorar la calidad de los bienes y servicios. Su utilidad sólo puede ser juzgada en función de una o más de sus consecuencias.

Ahora bien, todas sus consecuencias se producen en esferas ajenas a la investigación, por lo que sus beneficios dependen de los usuarios en la cadena: responsables de la formulación de políticas, productores u organismos de financiamiento. Sus usuarios deben tener la capacidad para valerse de ella y traducirla a decisiones prácticas, y esa capacidad requiere cierto conocimiento sobre las disciplinas que participan en la investigación. Haremos énfasis en la importancia que tiene la existencia de usuarios de la investigación profesionales e idóneos para que la generación de esta última en diversas industrias, en especial la del petróleo y la de la energía eléctrica, sea adecuada, pero la cuestión es más general: entre más amplia sea la capacitación de los usuarios de la investigación, mejor será el uso que puedan hacer de ella. Para el profano, por ejemplo, la tensión superficial puede parecer un tema demasiado complejo como para que le sea de uso práctico, pero, precisamente en el campo de la energía, tiene cuando menos dos aplicaciones, a saber: en la prevención de incrustaciones en los tubos de las calderas de las plantas termoeléctricas y en el ahorro de agua en el lavado y la limpieza.

Tan importante como el usuario profesional idóneo es el director de investigación informado, pero éste necesita contar con una buena información por una razón diferente. El conocimiento no está organizado sobre principios de utilidad, sino sobre la base de teorías e instrumentos. Consecuentemente, todo problema práctico exige una decisión sobre el campo del conocimiento que deba aplicarse en su solución y, a menudo, es necesario subdividirlo en problemas más específicos que puedan ser abordados por un solo investigador o por un equipo pequeño de investigadores; a la inversa, los resultados obtenidos deben ser organizados para llegar a soluciones prácticas. Ahora bien, la subdivisión de los

problemas y la organización de los resultados exigen que el director de investigación cuente con una pericia especial.

En las siguientes secciones hacemos un intento por explicar las implicaciones de estos principios en función de las principales instituciones que usan y producen la investigación.

LOS GOBIERNOS

Los gobiernos hacen o encargan una gran cantidad de investigaciones destinadas a la formulación de sus políticas, mientras que una cantidad aun mayor por la que no pagan es hecha para ellos por investigadores que buscan influir en esas políticas. Aunque su información y poder varían mucho, los gobiernos son básicamente instituciones para resolver conflictos y regular la competencia en el campo político. El papel que desempeñan en la solución de conflictos va desde un *laissez-faire* extremo hasta una intervención completa; no obstante, los problemas relacionados con la energía han forzado a casi todos los gobiernos, sin importar su ideología política, a emprender acciones en muchos campos, tales como los que mencionamos a continuación.

La balanza de pagos. Como sabemos, la administración de las reservas en divisas se encuentra siempre en manos del gobierno. Ahora bien, las alzas en los precios del petróleo obligaron a un gran número de gobiernos de los países en desarrollo a adoptar una amplia variedad de medidas correctivas, como la reglamentación y la sustitución de las importaciones, el fomento a las exportaciones, la variación en el tipo de cambio y la solicitud y el otorgamiento de préstamos internacionales. Aun cuando los precios del petróleo han disminuido, muchos gobiernos de los países en desarrollo continúan teniendo serios problemas de capacidad de pago para cubrir, ya sea las importaciones de petróleo, ya las deudas contraídas para pagar el equipo relacionado con el petróleo o con la energía. Los problemas de capacidad de pago de los países en desarrollo se han visto agravados por la caída de los precios reales de los productos primarios y por el aumento de las tasas reales de interés, así como por las restricciones impuestas por algunos países industrializados a sus propias importaciones.

Mientras las importaciones o exportaciones de energía mantengan en situación de vulnerabilidad la balanza de pagos de los países en desarrollo, éstos tendrán que seguir aplicando medidas correctivas energéticas.

La administración de los recursos nacionales. En lo que se refiere a los recursos no renovables o cuya producción sostenida tiene un límite, los gobiernos deben decidir quién los explota, a qué precios, con qué ritmo, cómo deben ser gravados o subsidiados, cómo deben ser racionados en la eventualidad de una escasez y cómo debe abordarse la cuestión de su rentabilidad económica.

Intervalos y obstáculos en la gestión de proyectos. Ciertos proyectos de producción basada en la energía (por ejemplo, la puesta en explotación de minas de carbón, la exploración y producción de petróleo, la construcción de plantas de energía eléctrica, etcétera), así como los cambios en los patrones de consumo que exigen el remplazo de existencias de equipo, toman mucho tiempo y deben ser planeados con mucha anticipación. Asimismo, la gran magnitud mínima de ciertos tipos de inversión en proyectos relacionados con la energía plantea problemas para sincronizar los patrones de tiempo de la demanda con los del suministro. Por lo demás, aun en los casos en que los proyectos son privados, la inversión en ellos se ve influida por las expectativas de ganancia de los empresarios, las cuales, a su vez, se ven influidas por las políticas gubernamentales. Consecuentemente, las acciones gubernamentales basadas en una visión amplia y previsoras pueden propiciar que las inversiones sean más oportunas y menos costosas.

Las necesidades básicas. Los bienes de consumo básico, incluida la energía, deben ser compartidos en caso de escasez o de que un aumento en sus precios provoque una penuria generalizada.

Los monopolios. Éstos exigen una reglamentación, natural o no, para impedir los precios altos o la ineficiencia. Los monopolios, incluidos los estatales, son comunes en el sector de la energía. Además, un gran número de países, en especial los pequeños, deben hacer frente, en la importación de petróleo, a proveedores

que no tienen competidores y, en la exportación de recursos, a compradores similares.

Intereses en conflicto. Los grandes proyectos, como las presas, las minas y las líneas de transmisión, afectan a tantas personas que los gobiernos deben actuar como árbitros entre los grupos sociales y económicos para proteger sus respectivos intereses. Aunque se comprende bien el principio general de que los ganadores compensan a los perdedores, la magnitud de la compensación y los mecanismos para obtenerla y distribuirla permiten muchas variantes.

La política sobre la energía

La importancia omnipresente y capital de la energía en las economías nacionales indica que la identificación de los problemas relacionados con ella y el desarrollo y aplicación de políticas consecuentes constituyen áreas de estudio importantes para los gobiernos y los investigadores, así como para el desarrollo de la comunidad. Los análisis, la planeación y la administración de la política sobre energía deben ser mejorados para asegurar que sus principales iniciativas, programas y proyectos que estén siendo puestos en práctica tengan el mayor efecto benéfico y la mayor eficacia. Debido a que la mayoría de los países en desarrollo dedica un tercio de las inversiones del sector público a la energía y a que, en los años recientes, un gran número de importadores de petróleo gastó el cincuenta por ciento o más de sus ingresos por exportaciones en la importación de petróleo, es deseable que se busque el mejoramiento, por pequeño que sea, en la eficacia del suministro y la utilización del petróleo.

A grandes rasgos, la planeación relacionada con la energía comprende una serie de etapas y procedimientos mediante los cuales puede estudiarse y comprenderse, dentro de un marco analítico explícito, la miríada de interacciones implícitas en la producción y el uso de la misma. Las técnicas de planeación van desde los simples métodos manuales hasta la compleja elaboración de modelos mediante computadora, si bien la complejidad de los problemas relacionados con la energía ha obligado a que cada vez se deba confiar más en este último enfoque.

El análisis de las políticas sobre energía consiste en la investigación sistemática del efecto que una o varias de ellas pueden tener específicamente sobre la economía y la sociedad a todos los niveles. Por su parte, la administración de la energía, que incluye tanto la de su suministro como la de su demanda, comprende la selección y aplicación de un conjunto de políticas e instrumentos de política que permitan alcanzar objetivos deseables en cuanto a la energía misma y en cuanto a la economía.

En los países en desarrollo, una meta importante de la investigación sobre la energía debe consistir en mejorar la calidad de la planeación, del análisis de políticas y de la administración. En particular, tales estudios deben centrarse también en los métodos para mejorar la eficacia en la aplicación de las políticas sobre energía. Para comprender mejor el papel de la investigación sobre la energía, empezaremos por identificar algunas de las metas generales de la política desde una perspectiva nacional.

La razón fundamental implícita en la planeación y en la elaboración de políticas de todo tipo que abarquen el plano nacional en los países en desarrollo es la necesidad de asegurar el mejor uso de los recursos escasos para impulsar el desarrollo socioeconómico general y mejorar el bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos. Por ende, la planeación de la energía constituye una parte fundamental de la planeación de la economía nacional y debe llevarse a cabo y ponerse en práctica en coordinación estrecha con ella (Munasinghe, 1980). Con todo, ya sea aplicada a la economía nacional o al sector de la energía en particular, la palabra planeación no implica necesariamente un marco de referencia rígido a la manera de las directrices que rigen las economías centralizadas y completamente planificadas. La planeación, intencional o por omisión deliberada, se lleva a cabo en toda economía, incluso en aquellas donde reinan incontestables las fuerzas del mercado. En el análisis de la planeación y la política relacionadas con la energía, el énfasis principal se pone en el análisis detallado y desagregado del sector de la energía, en las interacciones de éste con el resto de la economía y en las principales interacciones entre los diversos subsectores del mismo.

El análisis y la planeación de la política sobre energía deben ser llevados a cabo de tal manera que posibiliten alcanzar lo más eficazmente posible los muchos objetivos nacionales generales, los cuales se interrelacionan y a menudo entran en conflicto entre

sí. Las metas específicas deben incluir: determinar en detalle las necesidades de energía de la economía y satisfacer esas necesidades para alcanzar los objetivos de crecimiento y desarrollo; seleccionar las fuentes mixtas de energía para satisfacer los requerimientos futuros a los costos más bajos; disminuir al mínimo el desempleo; conservar los recursos energéticos y eliminar el consumo dispendioso; diversificar el suministro y reducir la dependencia de fuentes de energía externas; satisfacer las necesidades de seguridad y defensa nacionales; básicas de energía de los pobres; ahorrar las escasas divisas; identificar medidas específicas de demanda o suministro de energía para contribuir al posible desarrollo prioritario de regiones o sectores especiales de la economía; obtener de las ventas de energía los recursos suficientes para financiar el desarrollo del sector; estabilizar los precios; preservar el medio ambiente, etcétera.

Como vemos, la intervención de los gobiernos en el campo de la energía y en los demás relacionados con ésta ha de ser inevitablemente grande, y si sus medidas de política se basan en la información obtenida mediante cálculos inteligentes sobre la macroeconomía, los beneficios —en la forma de una mejor distribución de recursos y menores riesgos— pueden ser altos (Munasinghe, 1984a). Tomar las grandes decisiones adecuadas requiere como marco de referencia una política adecuada y, respecto a la energía, tal política debe consistir en una proyección, esto es, una perspectiva previsora; en un plan, es decir, la descripción de los problemas y la proposición de soluciones; y, en fin, en los instrumentos que habrán de emplearse para aplicar las soluciones.

Las proyecciones

Los largos intervalos de gestación de los proyectos de inversión en el campo de la energía, así como los cambios estructurales en su consumo, constituyen la razón primordial para calcular proyecciones. Éstas deben abarcar, cuando menos, los intervalos máximos de gestación, o incluso periodos más largos. Por ejemplo, las proyecciones a entre 15 y 20 años no son inusuales en el caso de la electricidad y, en el caso del carbón, se justifican las que sean similares o que abarquen más tiempo.

Mediante la extrapolación de las tendencias en el pasado, es posible hacer proyecciones simples; los requerimientos de infor-

mación para éstas son menores y no siempre son menos precisas que las que se basan en métodos más complejos. No obstante, el propósito de las proyecciones no consiste simplemente en generar un conjunto de estimaciones sobre el futuro sino en proporcionar también una mejor comprensión de los procesos implicados. Por lo tanto, cuando se hacen proyecciones, es aconsejable utilizar modelos que incluyan tanto los sectores consumidores de energía como las principales restricciones macroeconómicas; en realidad, no tiene mucho caso hacerlas sobre la energía si no se hacen desde una perspectiva sobre el futuro de la economía en su conjunto.

Aunque se trate de un lugar común, vale la pena hacer énfasis en el hecho de que una proyección exige un punto de vista exterior y de que no mejora la opinión del observador, sino que únicamente indica las posibles consecuencias de lo proyectado; hacer conjeturas sobre el futuro continúa siendo un acto de la imaginación, por muy apoyadas que estén en la información. Ésta se refiere al pasado y al presente, y la interpretación de las tendencias históricas forma parte de la habilidad que se requiere para hacer buenas proyecciones; sin embargo, también es indispensable prever e incluir en ellas las discontinuidades existentes entre el pasado y el futuro. Citaremos un ejemplo de discontinuidad mal interpretada: muchos países en desarrollo importadores de petróleo hicieron frente a las alzas de 1973-1974 en los precios del bien mediante el endeudamiento a corto plazo y el aumento de las exportaciones y la sustitución de importaciones a largo plazo. La estrategia tuvo magníficos resultados, así que, cuando los precios del petróleo volvieron a subir en 1979-1980, la repitieron. No obstante, las circunstancias habían cambiado: los porcentajes de importación de petróleo de esos países eran más altos en 1979 que en 1973 y dejaban menos margen para la sustitución de importaciones a largo plazo; asimismo, las posibilidades de crecimiento a largo plazo de las exportaciones eran más limitadas. El resultado fue que no pudieron cumplir con el servicio de la deuda recién contraída y un gran número de ellos se vio enfrentado a problemas de endeudamiento insuperables (Campbell, 1983).

Las discontinuidades provocadas por los precios del petróleo se encontraban fuera del control de los países en desarrollo que se vieron afectados por ellas; no obstante, también hay discontinuidades que son controlables. Desde el punto de vista de la elaboración de modelos, existe una distinción entre variables exógenas y

variables instrumentales; así, si las proyecciones sobre las variables exógenas apuntan hacia futuros impracticables o inaceptables, es necesario introducir en las variables instrumentales discontinuidades que arrojen resultados mejores o más realistas sobre el futuro, lo cual es el fundamento de la planeación. Con todo, el ritmo del cambio depende de la magnitud de las discontinuidades introducidas, y ello constituye a menudo un tema de controversia entre los planificadores. Tal controversia, por ejemplo, influye en las proyecciones a escala mundial que se han hecho recientemente sobre la energía: el mundo enfrenta un futuro inaceptable en la forma de un suministro descendente de petróleo y un incremento en los grados de concentración del dióxido de carbono atmosférico. Así, algunos futurólogos han examinado las exigencias de cambio mínimas —en los actuales estilos de vida y en las proporciones de energía utilizada— necesarias para hacer soportable el futuro, mientras que otros han señalado que es necesario introducir cambios más drásticos (Goldemberg *et al.*, 1985). De manera similar, las proyecciones a escalas nacionales provocarían controversias sobre el futuro deseable para los diferentes países, y el debate al respecto es fundamental para que surjan opciones bien fundamentadas que cuenten con una aceptación general.

Los planes

El propósito de las proyecciones es ayudarnos a separar los futuros posibles de los imposibles; el de los planes, ayudarnos a seleccionar un futuro óptimo de entre los posibles y a dar los pasos necesarios para hacerlo realidad. La planeación cuenta con una larga historia y con una pesada carga de connotaciones heredadas. Para evitar los malentendidos que surgen de tales asociaciones, debemos aclarar que por plan no entendemos los planes quinquenales; si el propósito de un país es administrar la energía, necesitará un gran número de planes vinculados entre sí, relativos a diversos intervalos de tiempo y que abarquen periodos mucho más largos que cinco años. Tampoco nos referimos a la dirección centralizada de todas las actividades económicas. Entre los países en desarrollo, hay algunos en los que se ejerce un grado considerable de dirección central cuyo buen desempeño en el campo de la economía o de la energía ha sido cabalmente reconocido; pero tal

dirección no es esencial. Lo que sí es esencial es la intervención estatal selectiva en ciertos campos en los que los gobiernos deben mostrarse activos para impedir que la mala administración de la energía provoque perturbaciones significativas; ese tipo de perturbaciones ha sido demasiado grave en la historia reciente como para que creamos necesario insistir en ellas.

La experiencia reciente obtenida de la elaboración de modelos, para la planeación de la energía y el análisis de políticas integrados a escala nacional, ha permitido el establecimiento de un marco de referencia analítico más jerárquico en el que se reconocen cuando menos tres distintos planos de análisis, los cuales incluyen: *a)* la macroeconomía de la energía; *b)* el sector de la energía, y *c)* los subsectores de este último, así como las interacciones entre ellos. Este enfoque proporciona, asimismo, una mejor visión de la política. Más recientemente, la facilidad de disponer de microcomputadoras ha puesto al alcance de los analistas de los países en desarrollo una herramienta relativamente barata, poderosa y flexible para desarrollar y aplicar algunas de esas ideas (Munasinghe *et al.*, 1985). En el plano más alto y más agregado del enfoque jerárquico de la elaboración de modelos, debe reconocerse con claridad que el sector de la energía forma parte del sistema socioeconómico en su conjunto; por lo tanto, la planeación de la energía exige que se analicen los vínculos entre dicho sector y el resto del sistema. En el segundo plano, se aborda el sector de la energía como una entidad separada compuesta por subsectores; por ejemplo: la electricidad, los productos del petróleo, la biomasa, etcétera; ello permite hacer análisis detallados de usos finales específicos, poniendo un énfasis particular en la interacción de los diferentes subsectores de la energía, las posibilidades de sustitución y la solución de los conflictos resultantes de la aplicación de la política. El tercer plano de la jerarquía, el más desagregado, se refiere a la planeación en cada uno de los subsectores de la energía; así, por ejemplo, el subsector de la electricidad debe elaborar sus propios pronósticos sobre la demanda del producto y sus propios programas de inversión a largo plazo.

Los instrumentos

La planeación debe dar como resultado el desarrollo de una estrategia flexible y siempre al día que pueda ayudar a alcanzar los objetivos nacionales antes discutidos en materia de energía.

Dicha estrategia nacional puede ser puesta en práctica mediante un conjunto de políticas y programas de administración de la oferta y la demanda (Munasinghe, 1983).

Para lograr los objetivos nacionales deseados, los instrumentos de política con que cuentan los gobiernos del Tercer Mundo para administrar la energía de una manera óptima incluyen: 1) controles físicos; 2) métodos técnicos; 3) inversiones directas o, bien, políticas para influir en la inversión; 4) educación y promoción, y 5) precios, gravámenes y subsidios y otros incentivos fiscales. Dado que todos esos instrumentos de política se relacionan entre sí, es imperativo coordinar estrechamente su empleo para lograr que su efecto sea el óptimo.

Los controles físicos. Son de la mayor utilidad en el corto plazo, cuando se da una escasez imprevista de energía. En esta categoría se incluyen todos los métodos para limitar el consumo mediante controles físicos: disminución de potencia, cortes rotativos en el suministro de electricidad, reducción o racionamiento del suministro de gasolina, prohibición del uso de vehículos de motor durante periodos específicos, etcétera. Por lo demás, los controles físicos también pueden ser utilizados como instrumentos de política en el largo plazo.

Los métodos técnicos. Los que se emplean para administrar el suministro de energía incluyen: la determinación de los medios más eficaces para producir una forma específica de energía; la selección de los combustibles de menor costo o de su mezcla más barata; la investigación y el desarrollo de combustibles sustitutos, como carbón, gas natural o petróleo de yacimientos bituminosos, la sustitución de gasolina por alcohol, etcétera. Además, la tecnología también puede ser utilizada para influir en la demanda de energía; por ejemplo: mediante el fomento a la introducción —en automóviles, estufas de leña, etcétera— de dispositivos más eficaces en el uso y la conservación de la energía, mediante la investigación sobre calentadores solares y el fomento a su uso, etcétera.

Las políticas de inversión. Éstas ejercen su principal efecto sobre los patrones de suministro y consumo de energía en el largo plazo. La extensión de las redes de distribución de gas natural, la construcción de nuevas centrales eléctricas basadas en combustibles de

más fácil obtención, como el carbón, o el desarrollo de redes de transporte urbano público son sólo algunas de esas políticas. Debemos hacer notar que, también, muchas de ellas pueden ser aplicadas por sectores diferentes al de la energía; ejemplos de ello son: las inversiones en la infraestructura para el transporte, la instalación sistemática de bombas de riego para pozos profundos o la electrificación necesaria para ese tipo de bombas. Evidentemente, para ello se hace necesaria la cooperación estrecha entre las autoridades de planeación y administración de la energía de esos otros sectores.

La educación y el fomento. Estos instrumentos de política pueden ayudar a mejorar la situación del suministro de energía mediante esfuerzos para informar a los ciudadanos sobre los diversos métodos existentes que ayuden a reducir el consumo de energía, sobre la manera como ciertos aparatos electrodomésticos o automóviles influyen en el consumo de la energía y sobre las posibilidades de sustitución de la energía por capital (esto es, mediante la inversión en aislamientos adecuados, por ejemplo).

Los gravámenes y los subsidios. Éstos son instrumentos de política útiles que, en el largo plazo, también pueden influir profundamente en los patrones de consumo de energía. Por ejemplo: los países que han impuesto altos gravámenes a la gasolina han obtenido en general resultados significativos que se reflejan en un menor uso del automóvil, en el desarrollo de flotillas más eficaces de vehículos automotores, etcétera. De manera similar, los subsidios han alentado las inversiones destinadas al ahorro de energía.

La investigación aplicada a la formulación de políticas

Cuando se crea un marco de referencia para la elaboración de políticas que comprenda los tres elementos antes mencionados —proyecciones, planes e instrumentos—, dicho marco genera una cantidad importante de necesidades de investigación. Ahora bien, la investigación aplicada a la formulación de políticas no es rara en los países en desarrollo; pero, si bien ya antes existía en un gran número de ellos, muchos más reconocieron su necesidad a

raíz de los graves problemas relacionados con la energía que surgieron en los años 1970 y otros más se vieron obligados a elaborar planes para justificar sus proyectos de inversión ante los organismos financieros internacionales y, así, obtener los fondos necesarios para dichos proyectos. Por su parte, los organismos financieros internacionales acogieron favorablemente la investigación aplicada a la elaboración de políticas como un medio relativamente poco costoso de colaborar con los formuladores de estas últimas. Como vemos, ese tipo de investigación no ha sido descuidado; no obstante, su calidad podría mejorarse, y el mejoramiento de la calidad exige la introducción de cambios en el plano de la organización.

Si se organizara adecuadamente, el marco de referencia a que hemos hecho mención tendría un efecto muy positivo en la investigación y ésta en la política. Sin embargo, nuestros revisores han observado que la relación entre las prioridades nacionales y las actividades de los centros de investigación es débil, cuando no inexistente (Bhushan, 1984; Torres, 1984). En los países en desarrollo, el Estado es quien patrocina la mayor parte de la investigación, pero cuando el gobierno desea resultados de la investigación para incorporarlos a sus políticas, invariablemente los quiere de prisa, aunque no los obtiene con la rapidez que desearía de las instituciones de investigación independientes. (En la investigación, los intervalos de gestación de los proyectos son mayores que en la formulación de políticas y, a menudo, la relación entre rapidez y calidad no significa lo mismo para los investigadores que para los encargados de elaborar las políticas.) Muchos gobiernos también buscan influir en las instituciones de investigación, por lo que tienden a desalentar a las que son independientes y a establecer institutos de investigación dependientes de ellos o a contratar consultores. En estos dos últimos casos, los gobiernos obtienen respuesta a sus exigencias inmediatas con mayor rapidez, pero ello redundaría en detrimento de la calidad de la investigación.

Entre mayor sea la exigencia de obtener resultados rápidos, menor será el tiempo disponible para una investigación que aporte conocimientos nuevos y mayor tendrá que ser la dependencia respecto al conocimiento ya existente. Desafortunadamente, ni los consultores ni los organismos de investigación oficiales cuentan con una buena organización para acumular conocimientos de

manera extensiva y detallada; ambos tienden a examinar superficial y rápidamente áreas poco relacionadas entre sí, según las necesidades, para recabar la información disponible y ninguno de los dos acumula el conocimiento sistemáticamente en bibliotecas, bancos de datos o personas. El resultado es un trabajo repetitivo y sin originalidad; y, en especial en la investigación socioeconómica, la repetición significa generalmente una redundancia del conocimiento convencional.

La primera necesidad para realizar una investigación adecuada que ayude a la formulación de políticas en los países en desarrollo es el establecimiento de instituciones de investigación profesionales que puedan actuar como depositarias del conocimiento. El hecho de que las actuales instituciones independientes no satisfagan las necesidades de la formulación de políticas constituye una falla de organización y política que puede ser corregida. De entre las medidas correctivas necesarias, las que mencionamos a continuación son las más importantes.

Primero, el patrocinio gubernamental no debe ser canalizado primordialmente hacia las instituciones de investigación dependientes y, en las instituciones de investigación que los reciban, los fondos gubernamentales no deben cubrir indiscriminadamente todo tipo de gastos. El patrocinio gubernamental debe servir para financiar la infraestructura de las instituciones de investigación, en especial aquellos rubros esenciales para la calidad de la investigación, como la biblioteca, los instrumentos, las instalaciones para experimentación y cómputo y la preparación del personal. El financiamiento para la obtención de los recursos humanos debe dedicarse, en primerísimo lugar, a la contratación de especialistas en investigación aplicada a la formulación de políticas; tales especialistas y sus proyectos deben ser adscritos a instituciones de investigación adecuadamente equipadas. Los salarios y otras prestaciones deben ser uniformes para estimular un intercambio activo de información entre quienes formulan las políticas, quienes investigan para ayudar en su formulación y otros investigadores.

Segundo, es importante que el gobierno se convierta en un comprador de investigación capaz. Esto quiere decir que los empleados gubernamentales responsables de comprar y evaluar la investigación deben contar con los conocimientos y la experiencia

necesarios; en realidad, deben ser intercambiables con las personas que producen la investigación para ellos e intercambiar posiciones con ellas de cuando en cuando. A menudo, los gobiernos contratan personal experimentado de las empresas e instituciones de investigación, pero lo contrario es igualmente importante si se desea que los responsables de formular las políticas tengan la capacidad necesaria para juzgar la calidad de la investigación. La formulación de políticas es un trabajo de responsabilidad y a menudo técnico, por lo que muchos gobiernos de los países en desarrollo tratan de asegurar para dicho trabajo un suministro de recursos humanos de alta calidad reuniendo un personal administrativo con privilegios especiales o contratando costosos consultores del exterior. Sin embargo, ello no es suficiente para asegurar un alto coeficiente de inteligencia en el gobierno; también es necesario alimentar la inteligencia con conocimientos adquiridos fuera de éste de tiempo en tiempo.

Tercero, la investigación socioeconómica proporciona un campo fértil para la investigación aplicada a la formulación de políticas, aun cuando no se relacione directamente con la política gubernamental o sea contraria a ella. Los costos del acopio de información socioeconómica en gran escala pueden ser muy altos y, a menos que el gobierno subsidie ese tipo de investigación, la coordinación de la investigación en el plano macroeconómico se verá afectada negativamente, como ocurre en muchos países en desarrollo. El gobierno puede estimular la investigación en el campo socioeconómico mediante el acopio y publicación de información estadística y de otro tipo, tanto directamente como a través del financiamiento de esas actividades en las instituciones de investigación.

En este punto, debemos referirnos a la cuestión de la investigación aplicada a la formulación de políticas y la crítica. La investigación en cuanto insumo directo para la formulación de políticas es sólo una parte de la investigación socioeconómica; otra parte importante de la investigación surge también como resultado de las actividades rutinarias de los investigadores, así como de la crítica a las políticas. En sociedades que cuentan con mecanismos para introducir cambios pacíficos entre quienes formulan las políticas y en las políticas mismas, la crítica pone a prueba la fuerza de éstas y amplía la gama de políticas opcionales

disponibles; pero, en las sociedades donde el cambio no está institucionalizado, la crítica política es considerada a menudo como una amenaza para la autoridad y, por lo mismo, suprimida. Puesto que estamos en favor del cambio sistemático y pacífico en nuestras sociedades, apenas necesitamos decir que los regímenes frágiles y no representativos no cuentan con nuestra simpatía. La capacidad para hacer avanzar el conocimiento y utilizarlo en política es un recurso del que no disponen fácilmente los gobiernos que no toleran el disenso intelectual.

La libertad de maniobra

En términos generales, entre mayor es un país, menor es su dependencia del mundo exterior y mayor su libertad de maniobra para la formulación de sus políticas. Más aún, los beneficios económicos de la investigación dependen de la escala de aplicación de ésta; lo cual constituye uno de los motivos principales de que la investigación tienda a concentrarse en los países grandes. Así las cosas, la mayoría de los países en desarrollo son pequeños, por lo que, si desean adquirir una mayor libertad para formular sus políticas, deberán mantener una relación más estrecha con la investigación que hacen sus vecinos y tendrán que coordinar sus políticas entre sí. Además, si desean adquirir una mayor capacidad para utilizar y realizar investigaciones, tendrán que compartir sus costos, instalaciones y beneficios. Dado que casi todos los países en desarrollo se concentran en África, Asia y América Latina y que la mayoría de sus vecinos son otros países en desarrollo, la cooperación regional entre esos países implica también la cooperación Sur-Sur.

LOS PRODUCTORES

Los productores son quienes aplican la tecnología de producción y sus principales depositarios; no obstante, no todos los productores de bienes y servicios son productores de tecnología nueva o mejorada. La investigación tecnológica intensiva tiende a concentrarse en las instituciones de I&D, mientras que, en el sector

industrial, la innovación tecnológica tiende a concentrarse en aquellos subsectores donde, mediante los mismos o similares procesos, se puede fabricar una amplia gama de productos, a saber: los subsectores de ingeniería, de productos eléctricos y electrónicos y de biotecnología.

La inexistencia o la magnitud relativamente pequeña de esos subsectores innovadores en los países en desarrollo es una de las razones de su participación también relativamente insignificante en las innovaciones. Ahora bien, aunque existen otras razones, en nuestra opinión, son más remediables; nos referimos a las posibilidades de emprender acciones en tres campos: la investigación y el desarrollo, la capacidad tecnológica y la infraestructura tecnológica.

La investigación y el desarrollo

En los países en desarrollo, es costumbre lamentar la tendencia de los productores a confiar en la tecnología importada y no en desarrollar la propia (Cooper, 1973; Stewart, 1977). En el campo de la energía, hemos encontrado algunos ejemplos excelentes de innovaciones producto de la I&D, como los automóviles impulsados por alcohol y la fundición de hierro con carbón vegetal en Brasil (Torres, 1984). Con todo, tanto la extensión como la efectividad de la I&D pueden mejorar mucho en esos países.

Como se entiende comúnmente, la I&D posee dos componentes. El primero abarca la prueba de procesos en pequeña escala o de prototipos producidos individualmente o en lote con el propósito de disminuir al mínimo los costos y reducir los riesgos del desarrollo en gran escala. El segundo consiste en el desarrollo para incorporar los resultados de la investigación a un sistema viable de producción. Los países en desarrollo saben muy bien lo que es la investigación aplicada, y ésta es común en ellos; en realidad, puede afirmarse que hay demasiada investigación aplicada y muy poco desarrollo. Lo anterior lo sugieren los 365 proyectos de investigación sobre fuentes de energía nuevas y renovables en América Latina enumerados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Instituto para la Integración de América Latina (IIAL) en 1981: sólo el 7% de ellos estaba destinado al

“desarrollo en masa”, esto es, a la comercialización, y sólo el 28% consistía en proyectos de gran envergadura que, una vez finalizados, podían tener efectos importantes en la sustitución de energía; por lo demás, muchos de ellos se referían a áreas en las que aún no se estaba en condiciones de comercializar los resultados de la investigación.

La mayoría de los proyectos mencionados en el cuadro 1 —quizá todos— son proyectos en los que no intervienen los productores. Una de las razones del desequilibrio entre la investigación aplicada y la comercialización en los países en desarrollo es que los fondos públicos se ponen con mayor liberalidad a disposición de instituciones de investigación, muchas de las cuales son propiedad del Estado, que no tienen vínculos con los productores. A éstos se les otorgan incentivos fiscales para que inviertan en I&D, pero raramente reciben un patrocinio directo. Las razones expuestas son varias; por ejemplo: que la I&D de los productores contribuiría a sus ganancias y, por ende, son ellos quienes deben financiarla; que los resultados de la I&D no estarían disponibles para el público en general; que los productores son propietarios privados, etcétera.

Las políticas de las economías de mercado desarrolladas son diferentes; en muchas de esas economías, los fondos públicos son asignados liberalmente a la I&D en las firmas privadas. La razón es que la ventaja competitiva que así obtienen las compañías privadas es considerada como una ventaja nacional en la competencia internacional. Además, si la financian directamente, los gobiernos pueden influir en la orientación de la investigación, lo cual no ocurre si le canalizan fondos a través de incentivos fiscales. Así, los gobiernos de Estados Unidos, Francia y Japón han logrado influir con particular eficacia en el curso del desarrollo tecnológico para dirigirlo hacia algunas de sus industrias del sector energético.

Como vemos, el uso de fondos públicos para financiar la cadena completa de I&D en compañías productoras privadas constituye un instrumento que los países en desarrollo podrían utilizar con mayor determinación para generar tecnologías nuevas que sean adecuadas a sus propias condiciones. Sin embargo, esa estrategia podría no dar resultado si las compañías productoras son transnacionales, ya que podrían ignorar las necesidades nacionales de I&D y concentrar estas actividades en sus países de origen.

El florecimiento de las compañías productoras nacionales es un requisito de toda estrategia nacional de I&D (cuadro 1).

Por lo demás, el desarrollo no sólo requiere financiamiento adecuado sino habilidades administrativas especiales. En el caso de las industrias de procesamiento, implica la instalación de grandes plantas y, en el de las industrias de productos, instalaciones para la producción en gran escala. También, las plantas exigen casi siempre grandes volúmenes externos de insumos, y la tarea del gerente de desarrollo consiste en coordinar los insumos de tal manera que se obtenga de las plantas una producción de alta calidad al menor costo posible. Tal coordinación exige, a su vez, la combinación de la experiencia tecnológica con la comercial, esto es, que dicho gerente sea un comprador capacitado. Por esta razón, es imposible separar el desarrollo del productor.

Consecuentemente, es necesario que, en los países del Tercer Mundo, se desplace el énfasis que se hace en los proyectos de I&D y se ponga en el mejoramiento de la capacidad de los productores para investigar y desarrollar ellos mismos o para crear, comercializar y difundir productos basados en la investigación de otros (Munasinghe, 1984b).

La capacidad tecnológica

La I&D es una categoría estadística creada en la búsqueda de las fuentes de innovación. Ahora bien, el hecho de que un productor innova o no, no depende invariablemente de si cuenta con un departamento de I&D o de cuánto gasta en él. Lo que importa es que observe y reaccione al ámbito de su ramo en función de sus necesidades de tecnología. Entre más veloz sea el ritmo del cambio tecnológico y menor la compañía, más importante será la observación de esa función. Los cambios en la ciencia, la tecnología y el mercado provocan modificaciones muy rápidas en el ámbito externo de una compañía, por lo que toda empresa que no observa ni se anticipa a los cambios los experimenta como víctima de trastornos inesperados, mientras que la compañía que los estudia puede adaptar su tecnología a las nuevas circunstancias y convertir las amenazas en oportunidades. Un departamento de I&D es un recurso —aunque no el único— para preparar y acelerar las

CUADRO 1. Distribución porcentual^a de 365 proyectos sobre fuentes de energía nuevas y renovables en América Latina, 1981

	<i>Argentina</i>	<i>Brasil</i>	<i>Colombia</i>	<i>Costa Rica</i>	<i>México</i>	<i>Uruguay</i>	<i>Promedio</i>
Tipo de investigación							
Básica	22	14	27	23	25	45	26
I&D (Investigación y desarrollo)	66	81	61	73	68	55	67
Desarrollo generalizado	12	5	12	4	7	0	7
Tipo de tecnología							
Simple, pequeña y de efecto reducido	55	21	58	35	46	41	41
Compleja, intermedia y de gran efecto	32	44	4	27	27	4	31
Compleja, de gran tamaño y de gran efecto	12	35	38	38	27	55	28

^aLos totales pueden no ser igual a 100 debido al redondeo.

Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo e Instituto para la Integración de América Latina, 1981.

respuestas en el campo de la tecnología a las mutaciones externas (Freeman, 1982).

Los beneficios del seguimiento de los cambios que se originan en el medio exterior y de su aplicación en los productos y procesos son evidentes incluso cuando una empresa depende en gran medida de fuentes externas para su tecnología. Por ello, y dado que muchas compañías de los países en desarrollo cuentan con la capacidad para llevar a cabo un seguimiento tecnológicamente complejo, éste merece ser estimulado directa e indirectamente a través, por ejemplo, de la cooperación de centros de seguimiento industrial, consultores, bibliotecas, etcétera.

Uno de los aspectos de ese seguimiento especializado consiste en aprender del mercado. La interacción en el campo de la tecnología entre compradores y vendedores es fuente importante de innovación en los países industrializados y constituye una característica muy marcada del desarrollo tecnológico en las industrias del petróleo, el carbón y la energía eléctrica, por ejemplo. Por lo tanto, para los países en desarrollo sería útil mejorar la capacidad para aprender de la experiencia, no sólo en las industrias manufactureras de equipo sino también en las compañías productoras de petróleo, en las empresas mineras del carbón y en las compañías generadoras de electricidad.

Las condiciones externas

En las dos secciones anteriores hicimos énfasis en la I&D y en la capacidad tecnológica como dos aspectos de la adaptación a los avances tecnológicos que se producen en el medio exterior. De esos dos aspectos, el desarrollo de la capacidad tecnológica está al alcance de una mayor proporción de productores; pero, tanto para éstos como para los que hacen I&D, las fuentes externas de ideas son muy importantes en el proceso de innovación, más, en realidad, que su propia contribución (Pavitt, 1984). Sin embargo, el vínculo entre la innovación y la información que se requiere para lograrla no es directo ni predecible; antes bien, la información clave se obtiene a menudo a través de investigaciones no relacionadas con la innovación (Munasinghe, 1984b). Así, la investigación hecha fuera del sector comercial puede contribuir grandemente a la innovación (como lo expondremos en seguida),

pero para ello, es fundamental que exista una interacción frecuente entre los tecnólogos de la industria y los especialistas que participan en la investigación científica. Esa interacción se ve facilitada por las relaciones previas que se establecen en las universidades entre el estudiante y el maestro o entre los dos grupos de tecnólogos, y es mucho más frecuente y eficaz cuando es oral. Se sabe que tanto la disponibilidad de los científicos para consultarlos fuera de las compañías como su participación directa contribuyen a la innovación (Price y Bass, 1969).

Las grandes innovaciones son pocas y espaciadas en el tiempo; lo más frecuente es que se detecte y explote durante largos periodos una línea de mejoramiento tecnológico. Así es como se ha mejorado el rendimiento de las centrales termoeléctricas —aumentando progresivamente la temperatura y la presión del vapor—, el de las celdas fotovoltaicas o la capacidad de los cables de arrastre en las minas de carbón. En este tipo de cambio gradual, el ejemplo y la emulación son importantes, y la emulación es más factible si el productor puede observar a competidores que cuenten con una tecnología compleja. Las numerosas discusiones sobre los efectos de la estructura del mercado y el cambio tecnológico no han llegado a su fin (Kamien y Schwartz, 1982); sin embargo, lo importante no es la estructura del mercado en sí, sino el hecho de si los productores deben tomar o no en consideración a los competidores que cuentan con una tecnología compleja.

Si pensamos en los países en desarrollo, difícilmente podemos decir que un tipo de propiedad es superior a otro; existe una gran variedad de modelos de propiedad, y las variaciones en el desempeño parecen ser tan grandes en el seno de cada tipo de propiedad como entre ellos. Sin duda alguna, no obstante, el tipo de propiedad afecta la capacidad tecnológica de una compañía a través de la autonomía de administración de ésta, de su complejidad tecnológica, de su apertura a la información del exterior y de la flexibilidad necesaria para introducir cambios rápidos en su organización.

Los pequeños productores

Lo anterior se refiere a los grandes productores industriales que pueden solventar por sí mismos los gastos que implican la mano

de obra experimentada y los recursos tecnológicos, pero son mucho más numerosos los pequeños productores para quienes la investigación está llena de riesgos. Los resultados de la investigación son inciertos: algunos proyectos pueden producir grandes beneficios, mientras que otros pueden provocar pérdidas; por ello, un productor pequeño sólo puede emprender unos cuantos proyectos de investigación y es más vulnerable a las pérdidas inesperadas que ésta puede acarrear (Casimir, 1983).

No obstante, lo más común en los países en desarrollo es que en muchos sectores exista una multiplicidad de productores que son demasiado pequeños como para que siquiera puedan pensar en la investigación. Sería erróneo suponer que las innovaciones sólo son el resultado de la investigación o de los grandes productores; pero, si se emprende la investigación para los pequeños productores, es importante que éstos puedan utilizar sus resultados. En el campo de la energía, por ejemplo, cuando menos tres tipos de programas de investigación han sido desarrollados pensando en los pequeños productores: los programas sobre carbón vegetal, estufas de leña y áreas de conservación de bosques; por lo que debemos preguntarnos cuáles son los requisitos para lograr mejorar cierto tipo de tecnología que pueda ser utilizado por un gran número de pequeños productores con una baja capacidad tecnológica.

En primer lugar, pocas innovaciones se limitan a una única etapa en el proceso de producción. Por lo general, la innovación de un producto exige algún cambio en alguna etapa del proceso y, a su vez, el cambio en alguna etapa del proceso exige cambios consecuentes en otras etapas. En una compañía grande en la que se lleva a cabo todo el proceso de las innovaciones, esos ajustes estructurales son producidos por la coordinación entre sus diferentes departamentos; por ejemplo: el departamento de I&D y los de ingeniería, compras y otros que intervienen en la producción. En realidad, la capacidad de una compañía grande para innovar depende sustancialmente del grado de coordinación entre los departamentos que generan ideas y los que incorporan éstas a la producción. Cuando los productores son pequeños, esas dos funciones están necesariamente separadas —las ideas deben venir de las instituciones de investigación externas y los productores deben ponerlas en práctica—, lo cual hace más difícil su coordinación, aunque no menos necesaria. Por lo tanto, es fundamental

que, desde el principio, los investigadores estén en estrecho contacto con algunos productores y, así, reciban información respecto a los usuarios potenciales de la investigación. La falta de ese contacto estrecho entre investigadores y productores conduce a menudo a la transferencia prematura de innovaciones —esto es, antes de que estén listas para su desarrollo comercial— y, por ende, al fracaso.

En segundo lugar, una compañía grande que lleva a cabo todo el proceso de una innovación asegura para sí los beneficios de ésta mientras los imitadores no aparezcan en el mercado; es decir, existe una relación directa entre la inversión necesaria para la innovación y los beneficios de ésta. Cuando los productores son pequeños, la cadena se rompe: los costos de las innovaciones son solventados por los centros que se dedican a su investigación, mientras que los productores cosechan los beneficios. Es cierto que las instituciones de investigación pueden tratar de obtener una parte de las ganancias producidas por sus innovaciones a través de regalías; sin embargo, la magnitud de las ganancias que logren obtener dependerá del tiempo que los productores a quienes transfieran las innovaciones puedan mantener la exclusividad de su uso. En general, las innovaciones son copiadas con tal rapidez por los productores en pequeña escala que es difícil restringir su uso a unos cuantos; y aunque esto fuese posible, puede argumentarse que, en el interés público, debe haber una rápida difusión de la innovación y un igual derecho de acceso a ella para todos los productores. Así, tanto el interés público como la dificultad para obtener los beneficios de la innovación son argumentos en favor del subsidio estatal a la I&D destinada a las empresas pequeñas.

En tercer lugar, la introducción de innovaciones es a menudo riesgosa. Además de que la capacidad de los pequeños productores para correr riesgos es limitada, el costo del fracaso es mayor para ellos debido a su pobre capitalización y a la aguda competencia que enfrentan. Consecuentemente, la transferencia de innovaciones a los pequeños productores debe hacerse mediante un mecanismo que elimine o reduzca los riesgos inherentes. Las innovaciones destinadas a los pequeños productores deben ser sometidas a pruebas y controles de calidad más exigentes y eficaces que las destinadas a los grandes productores y, aun en ese caso, pueden requerir el apoyo de mecanismos que ayuden a los primeros a evitar o compartir los riesgos.

Finalmente, puesto que la introducción de una innovación exige capital o capacidad técnica, el acceso que los pequeños productores puedan tener a la innovación variará en función de su dominio de esos dos factores. En general, los productores fuertes y tecnológicamente más capaces son los que con mayor facilidad pueden adquirir las innovaciones; por ende, los beneficios de éstas tienden a distribuirse desigualmente y a aumentar la inequitativa distribución de los recursos entre los pequeños productores.

Como vemos, la investigación destinada a los pequeños productores enfrenta problemas específicos. En un gran número de países en desarrollo —e incluso en algunos industrializados—, los responsables de la formulación de políticas son conscientes de esos problemas y han tratado de resolverlos de diversas maneras. Un estudio comparativo de sus experiencias sería de un gran valor práctico.

Los fabricantes de equipo

El mercado internacional de centrales eléctricas convencionales es extremadamente oligopólico y poco competitivo. El 70% de las exportaciones mundiales de esa clase de equipo proviene de 14 compañías de cinco países industrializados: Estados Unidos, Francia, Japón, el Reino Unido y la República Federal de Alemania; y a través de empresas subsidiarias, esas compañías establecen esferas de influencia en los países en desarrollo. Además, la competencia es incluso menor en los mercados nacionales que en los internacionales (Surrey y Chessire, 1984), por lo que, en esas circunstancias, para un país industrializado es menos necesario —que en mercados más competitivos— promover las exportaciones de las compañías nacionales, las cuales pueden sentirse más o menos satisfechas por el financiamiento imparcial que las instituciones multilaterales otorgan a los proyectos. No obstante, la ayuda bilateral nacional es utilizada ampliamente en los países en desarrollo para financiar compras de equipo proveniente del país que otorga el préstamo o el crédito (véase el cuadro 2).

La concentración del mercado es aún mayor en el caso de las centrales nucleoelectricas. De los 194 reactores construidos en economías de mercado hasta 1984, 132 fueron fabricados por cuatro compañías: dos de Estados Unidos, una de Francia y una de

Canadá, países todos con programas propios de centrales nucleoelectricas (Desai, 1984). El mercado de Europa del Este es proveído por la Unión Soviética, la cual cuenta también con una amplia capacidad nuclear (Chung, 1985). En los países de los fabricantes, la influencia de los gobiernos sobre la exportación de equipo y tecnología es mucho mayor en el caso de las plantas nucleoelectricas que en el de las convencionales debido a las consecuencias que podría tener la proliferación nuclear. De ello la dificultad para obtener tecnología que ha llevado a numerosos países en desarrollo, incluidos Argentina y la India, a desarrollar su propia capacidad para la construcción de centrales nucleoelectricas.

Los mercados de equipo de gas y petróleo son más competitivos, pero en la mayoría de los equipos para la explotación del petróleo predominan las compañías estadounidenses. Con todo, el desarrollo de pozos petrolíferos de los años recientes en el Mar del Norte, el Sudeste de Asia y China ha provocado el surgimiento de fabricantes de equipo petrolero en Francia, Japón y el Reino Unido, y esos fabricantes se ven apoyados a menudo con préstamos oficiales y extraoficiales de sus países para ayudarlos a penetrar en el mercado mundial.

En la minería del carbón, las condiciones específicas varían mucho, y tanto la adaptación local de la maquinaria como la capacitación de los usuarios son importantes; la producción de maquinaria se relaciona directamente con las condiciones locales de cada país y los mercados de equipo son nacionales en una gran medida; Japón, no obstante, cuya producción local de carbón es reducida, ha desarrollado una fuerte industria de equipo de minería basada en las exportaciones. Los principales países exportadores de este equipo son Japón, el Reino Unido y la República Federal de Alemania, y las compañías exportadoras de cada país son apoyadas por los gobiernos y los bancos nacionales.

Como vemos, los fabricantes de equipo relacionado con la producción de energía derivan su fuerza competitiva del dominio que poseen de uno u otro tipo de tecnología; dependen en grados diversos de las exportaciones y, en general, las que hacen a los países en desarrollo constituyen una pequeña proporción de sus exportaciones totales. A menudo, los mercados se dividen en esferas de influencia y, cuando esos mercados son competitivos, las compañías exportadoras son ayudadas en sus propios países mediante préstamos oficiales y extraoficiales.

CUADRO 2.A Préstamos y créditos de exportación a países en desarrollo para inversiones en energía:
1975-1981 (millones de dólares de E. U.)

	<i>Carbón mineral</i>	<i>Uranio</i>	<i>Petróleo y gas</i>	<i>Electricidad</i>	<i>Otros</i>	<i>Total</i>
<i>Instituciones multilaterales</i>	376	17	1 748	14 511	528	17 180
Banco Mundial	92	—	1 357	8 491	451	10 391
Banco Africano de Desarrollo	—	—	—	234	—	234
Banco Asiático de Desarrollo	51	—	120	1 779	—	1 950
Banco Interamericano de Desarrollo	233	—	262	3 141	77	3 713
Banco Europeo de Inversiones	—	17	9	866	—	892
<i>Créditos de exportación</i>	493	45	9 687	24 548	591	35 364
Austria	—	—	28	490	—	518
Bélgica	43	41	184	206	—	474
Canadá	123	—	473	2 995	—	3 591
España	—	—	328	140	—	468
Estados Unidos	75	—	2 256	5 320	34	7 685
Francia	10	4	4 653	3 201	15	7 883
Italia	—	—	53	369	—	422

Japón	24	—	1 052	1 279	538	2 893
Países Bajos	—	—	3	601	4	608
Reino Unido	36	—	524	4 806	—	5 366
República de Corea	—	—	—	6	—	6
República Federal Alemana	182	—	113	4 415	—	4 710
Suiza	—	—	20	720	—	740
<i>Total</i>	<i>869</i>	<i>62</i>	<i>11 435</i>	<i>39 059</i>	<i>1 119</i>	<i>52 544</i>

Fuentes: Informes anuales de los Bancos Africano, Asiático e Interamericano de Desarrollo; Duersten, 1983, y World Bank, 1980a y 1983a.

CUADRO 2. B Préstamos y créditos de exportación a países en desarrollo para inversiones en energía: 1980-1982^a
(millones de dólares de E.U.)

	<i>Desarrollo de la energía</i>	<i>Petróleo</i>	<i>Gas</i>	<i>Carbón mineral</i>	<i>Energía nuclear</i>	<i>Hidro- electrici- dad</i>
<i>Instituciones</i>						
<i>multilaterales:</i>	197	1 494	842	1 135	50	2 639
Banco Mundial	189	1 244	324	504	—	1 473
Asociación Internacional para el Desarrollo	8	142	123	525	—	203
Banco Africano de Desarrollo	—	29	—	31	—	23
Fondo Africano para el Desarrollo	—	—	—	—	—	2
Banco Asiático de Desarrollo	—	—	158	—	50	175
Fondo Especial del Banco Asiático de Desarrollo	—	5	66	—	—	8
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	—	50	155	75	—	682
Operaciones Especiales del BID	—	24	16	—	—	73
OPEP:	—	117	47	23	—	401
Blandos bilaterales	—	75	47	1	—	332
Blandos multilaterales	—	42	—	12	—	56
Ordinarios multilaterales	—	—	—	10	—	13
<i>Gobiernos:</i>	70	660	449	1 775	61	1 930
Australia	3	—	—	3	—	3
Austria	—	22	—	—	—	7
Bélgica	—	—	—	—	—	—
Canadá	6	57	—	—	—	76
Dinamarca	—	7	—	—	—	—
Finlandia	—	—	—	—	—	2
Francia ^c	13	63	11	40	35	179
República Federal Alemana	—	65	3	170	—	310
Italia	—	—	—	—	—	—
<i>Instituciones</i>						
Japón ^c	—	203	371	1 169	9	884
Países Bajos	—	6	5	1	—	6
Nueva Zelanda	4	—	—	—	—	—
Noruega	—	3	1	—	—	13
Suecia	—	—	2	—	—	61
Suiza	2	—	—	—	—	8
Reino Unido ^c	—	165	41	273	—	97
Estados Unidos	42	11	—	5	—	94
Comisión Económica Europea ^d	—	58	15	114	17	190
<i>Créditos de exportación^e</i>	—	5 553	1 325	411	2 123	1 685
<i>Total</i>	267	7 824	2 663	3 344	2 234	6 656

^a Las fuentes de energía nuevas y renovables incluyen también, además de las listadas por separado —hidroeléctricas, leña, alcohol y geotermia—, el biogás, la solar, la eólica, la oceánica, la turba, el aceite de rocas bituminosas, las arenas con alquitrán y los animales de tiro; para estas últimas categorías, no obstante, el Sistema de Información de Acreedores (Creditor Reporting System; CRS), en el que se basa este cuadro, sólo consigna pequeñas sumas, las cuales fueron incluidas en el rubro de "no especificados".

^b El CRS sólo consigna datos parciales sobre la cooperación técnica, por lo que las cifras sobre ésta fueron estimadas a partir de OCDE, 1984, pero no pueden ser distribuidas por subsectores. En el caso de las instituciones multilaterales, sus costos fueron incluidos en los costos de proyectos.

CUADRO 2. B (Continuación)

<i>Transmisión y distribución de electricidad</i>	<i>Leña y carbón vegetal</i>	<i>Alcohol</i>	<i>Energía geo-térmica</i>	<i>Cooperación técnica</i>	<i>Biogás</i>	<i>Energía solar</i>	<i>No especificados</i>	<i>Total</i>
4 157	122	276	85	—	—	—	771	11 768
1 898	—	250	76	—	—	—	506	6 464
752	100	—	—	—	—	—	172	2 025
30	—	—	—	—	—	—	1	114
29	12	—	—	—	—	—	10	53
580	—	—	—	—	—	—	52	1 015
207	10	—	—	—	—	—	29	325
489	—	26	9	—	—	—	1	1 496
163	—	—	—	—	—	—	—	276
131	—	—	—	—	—	5	872	1 596
83	—	—	—	—	—	—	616	1 154
48	—	—	—	—	—	5	219	382
—	—	—	—	—	—	—	37	60
1 231	26	11	172	(807)	8	2	1 440	8 642
—	—	—	—	12	—	—	1	22
—	—	—	—	—	—	—	144	173
—	—	—	—	—	—	—	13	13
106	—	—	—	(30)	2	—	64	341
30	—	—	—	2	—	—	1	40
7	—	—	—	—	—	—	3	12
56	3	—	—	(90)	6	1	196	693
234	—	—	—	111	—	—	217	1 110
—	—	—	5	(18)	—	—	82	105
339	—	11	132	(244)	—	—	387	3 749
48	11	—	—	(52)	—	—	19	148
—	—	—	4	6	—	—	4	18
2	—	—	—	(36)	—	—	5	60
5	1	—	—	(6)	—	—	25	100
—	—	—	—	1	—	—	1	12
27	5	—	22	(118)	—	—	27	775
77	6	—	—	(75)	—	—	206	516
300	—	—	9	6	—	1	45	755
850	—	42	63	—	—	—	6 834	18 437
6 369	148	329	320	(807)	8	7	9 467	40 443

^c Incluye también los préstamos ordinarios: Francia, 170 millones de dólares estadounidenses; Japón, 1 514 millones; Reino Unido, 150 millones.

^d Incluye al Banco Europeo de Inversiones (413 millones de dólares estadounidenses).

^e Sólo incluye créditos garantizados oficialmente con vencimiento a más de cinco años.

Fuentes: Compilado a partir de los cuadros 5, 6 y 7 de OCDE, 1984.

Con todo, aun en esas condiciones, algunos de los mayores países en desarrollo pueden extender su producción nacional de equipo cerrándose a las importaciones; pero, debido a lo pequeño de sus propios mercados, las compañías locales siguen siendo dependientes en cuanto a la tecnología se refiere, por lo que su ingreso al mercado internacional se ve constreñido tanto por esa dependencia como por las relaciones que existen entre los fabricantes de equipo y las agencias de financiamiento de sus propios países. Los fabricantes de equipo de aquellos países en desarrollo que cuentan con una gran producción nacional de energía podrían cambiar esa situación y, finalmente, ingresar a los mercados internacionales, pero, para hacerlo, sería necesario que desarrollaran su propia capacidad tecnológica y que los gobiernos y bancos de sus propios países los ayudaran a obtener créditos internacionales importantes. En vista de las economías de escala que deben participar y de lo importante que es la intervención de los gobiernos, la cooperación entre países en desarrollo vecinos puede ser particularmente benéfica en este campo.

LAS INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN

Ya antes dijimos que la capacidad tecnológica de un productor consiste en su capacidad para dar respuestas tecnológicas a su entorno socioeconómico y que las instituciones de investigación y capacitación son las depositarias del conocimiento acumulado y de la capacidad necesaria para lograr avances en él. Por lo tanto, es necesario que los problemas que esas instituciones aborden sean aquellos que surjan de las condiciones específicas de su país y su sociedad y que las soluciones que busquen provengan de su conocimiento acumulado y de su experiencia. Además, para la aplicación de los resultados de su investigación, deben estar en contacto con el gobierno y la industria y, también, desempeñar cierto número de funciones:

La acumulación de experiencia. La calidad de la investigación depende estrechamente de la experiencia que acumulan los investigadores, lo cual logran a partir de una aplicación constante a la investigación meticulosa; y, para llevar a cabo una investigación

meticulosa, es necesario que cuenten con las mejores instalaciones. Ahora bien, puesto que los gobiernos y los productores poseen un enfoque del conocimiento relativamente orientado hacia la aplicación práctica de éste en el corto plazo y están pobremente capacitados para su acumulación, son las instituciones de investigación las que deben funcionar como depósitos de acumulación del conocimiento a los que otros puedan recurrir. Con todo, es necesario que las instituciones de investigación concentren cierta cantidad de conocimientos que pueda servir como mínimo suficiente.

La difusión del conocimiento. La cantidad de trabajo que puede realizar un investigador durante su vida es limitada; por lo tanto, para lograr avances en el conocimiento, es esencial que los investigadores trabajen juntos, mejoren su conocimiento y lo transmitan a generaciones subsecuentes de investigadores y eduquen a los que no se dedican a la investigación. Consecuentemente, las instituciones de investigación y capacitación deben proporcionar los mecanismos adecuados para la transmisión del conocimiento.

El uso eficaz de la riqueza intelectual. El conocimiento depositado en las instituciones de investigación debe ser de fácil acceso al público, por lo que su emplazamiento debe planearse de tal manera que permita la utilización más amplia y completa de su riqueza: bibliotecas, aulas, instrumental, etcétera.

La yuxtaposición de disciplinas diversas. Muchos problemas prácticos requieren que se pongan en contacto diversos campos del conocimiento, ya que a menudo, la confrontación de ideas provenientes de disciplinas que no se relacionan directamente provoca el surgimiento de soluciones radicales; por ello, es necesaria la existencia de instituciones de investigación con una base amplia que sirvan como lugares de reunión para los especialistas de diversas disciplinas.

El financiamiento de la investigación

Lo que distingue, o debería distinguir a las instituciones de investigación de las instalaciones para investigación de las empresas y

del gobierno es la mayor vitalidad y profundidad del conocimiento que aquéllas aplican a la solución de los problemas. Ahora bien, la amplitud y la profundidad del conocimiento deben tener como base instalaciones de investigación excelentes: bibliotecas, laboratorios, equipos de cómputo, etcétera; pero éstos son, precisamente, los bienes que menos favorecidos resultan cuando el financiamiento de los proyectos se ve condicionado básicamente por los resultados. Los organismos financieros nacionales e internacionales buscan comprar la investigación a su costo marginal, que consiste principalmente en los costos relacionados con los recursos humanos; ello tiene como consecuencia que el personal no se vea apoyado por la infraestructura, lo cual, a su vez, va en detrimento de la calidad de la investigación. Ese tipo de financiamiento también provoca que los investigadores se dediquen a una serie de proyectos de investigación a corto plazo sin relación entre sí y les impide que puedan profundizar en su trabajo.

Ese enfoque utilitario da lugar a que las instituciones se especialicen demasiado en áreas cada vez más reducidas, a que las áreas prioritarias de la investigación cambien constantemente y a que las instituciones muestren una tendencia natural a perpetuarse. Si se otorgan fondos para nuevas áreas de investigación a instituciones viejas con especializaciones pasadas de moda, se corre el peligro de que los fondos sean desviados hacia las áreas antiguas, de ahí que la tendencia sea a crear nuevas instituciones para nuevas áreas de investigación; sin embargo, las disciplinas no responden a las prioridades sociales, sino que, en busca de la eficacia en la investigación, son constantemente redefinidas. A la abundancia de temas, se responde dividiéndolos y subdividiéndolos, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser analizado por un pequeño número de investigadores que pueden comunicarse, verificar y aprender entre sí (Menard, 1971). Así, la proliferación de instituciones aferradas a especializaciones definidas en función del utilitarismo tiene como resultado una investigación pobre y una baja productividad.

La necesidad de invertir a largo plazo en el conocimiento y lograr que la investigación responda a las cambiantes necesidades de la sociedad son dos objetivos de igual importancia difíciles de combinar. Muchas soluciones han sido probadas a todo lo largo y ancho del mundo, pero ninguna de ellas es ideal. A menudo se ha aparentado estar de acuerdo con el financiamiento de progra-

mas; sin embargo, los organismos financieros de los países industrializados occidentales tienen que responder ante sus gobiernos y ante los ciudadanos de sus países respecto a la utilidad de sus actividades y, además, tienen que ser capaces de evaluar y demostrar sus resultados en periodos de tiempo razonables. Así, prefieren el financiamiento de proyectos porque éstos son más fáciles de seguir y controlar en el corto plazo que los programas. Consecuentemente, si lo que se busca es persuadir a los organismos financieros de que inviertan en el financiamiento de programas, es necesario que éste sea combinado también con algún método de evaluación.

En nuestra opinión, las anteriores consideraciones apuntan hacia un sistema de financiamiento que cuente con los siguientes elementos.

El crecimiento por acumulación. Las grandes instituciones multidisciplinarias tienen la ventaja de que en ellas se comparten las instalaciones y de que ofrecen mayores posibilidades de colaboración entre los investigadores; consecuentemente, la investigación adquiere en ellas una mayor vitalidad. Con todo, las instituciones deben cambiar para dar respuesta a la variante orientación de la demanda, si bien la solución a este problema no debe ser la proliferación de nuevas instituciones de investigación pequeñas, sino el crecimiento de las ya establecidas mediante la acumulación de programas diseñados para satisfacer las nuevas demandas.

Los fondos para los programas como una inversión. Las instituciones deben recibir financiamiento a largo plazo para cubrir todas las necesidades, materiales y humanas, de las nuevas áreas que se requieran. Sólo deben iniciarse nuevos programas si se cuenta con un apoyo adecuado en lo concerniente a las instalaciones materiales necesarias para una investigación de calidad.

Los proyectos para la recuperación de la inversión. Los proyectos no deben ser considerados como un método de financiamiento de la investigación, sino como un medio para utilizar la inversión en la forma de financiamiento de programas. Cuando se considere el desarrollo de nuevos programas, debe evaluarse el volumen de los proyectos que puedan atraer. La elección entre programas y la

distribución de fondos entre ellos deben basarse en el volumen de proyectos que pueda esperarse que generen tales programas.

La dirección descentralizada de los programas. Si lo que se busca es que los programas tengan éxito, la autonomía y la continuidad de su dirección revisten una importancia capital. Las instituciones de investigación deberían ser dirigidas como cooperativas de programas. Al mismo tiempo, es esencial que la administración de los programas sea activa, para que pueda impulsarlos hacia una aplicación práctica y eficaz de los proyectos.

La planeación centralizada y la asignación de recursos. La asignación a corto plazo de investigadores y otros recursos móviles debería hacerse de acuerdo con las exigencias de los proyectos. Sin embargo, si se busca obtener el máximo rendimiento de los investigadores y que sus carreras hagan de ellos personas de recursos, capaces y experimentadas, deberá hacerse una selección de programas sucesivos para que los investigadores adquieran experiencia en áreas y orientaciones de la investigación que sean útiles. Por lo demás, la investigación requiere tiempo, mientras que sus usuarios quieren resultados rápidamente. Esa brecha entre lo que se necesita y lo que es posible puede ser cerrada parcialmente anticipándose mediante el inicio de los programas de investigación a la demanda proyectada de los mismos. Este tipo de acumulación de experiencia y conocimientos exige que haya una previsión adecuada en el manejo de los recursos, y ésa es la tarea de la administración institucional.

La dirección de la investigación

En nuestra opinión, la unidad de administración de la investigación debe ser un programa, el cual debe contar con un financiamiento a un plazo razonablemente largo —de 5 a 10 años— y, después, sobre la base de los proyectos que atraiga, debe ser continuado o expandido o bien, cancelado. También creemos que debe ser el instrumento para lograr que la inversión hecha en él se convierta en fuente de generación de proyectos. Ahora bien, si lo que se busca es que cumpla con esa función, un programa debe

contar con una gran autonomía en la manera de gastar su presupuesto, reclutar su personal y buscar proyectos y llevarlos a cabo; por ende, consideramos que la mayoría de las funciones y facultades de la administración deben quedar en manos de los directores de programa, quienes deberán contar con autonomía y capacidad de control.

La posición de los directores de programa sería de una gran responsabilidad, ya que tendrían a su cargo, por una parte, la división de los programas en tareas de investigación que pudieran ser ejecutadas, individualmente o en equipo, por los investigadores y, por otra, la coordinación de los resultados y la elaboración de éstos de tal manera que puedan ser útiles para el cliente. De ahí que los directores de programa tendrían que contar con una gran experiencia, tanto técnica como administrativa; pero los especialistas de ese tipo no abundan en ninguna parte, por lo que es imperativo estimularlos cuidadosamente.

Si la dirección de los programas funciona bien, la dirección global de las instituciones de investigación se verá aliviada de la mayor parte de la administración cotidiana y su tarea consistirá fundamentalmente en el manejo de los recursos comunes —incluidos los fondos que deban asignarse a cada programa, que pueden provenir de financiamientos externos o de ingresos internos producidos por los proyectos— y en la planeación a futuro.

La investigación y la capacitación

Entre la investigación y la capacitación existen varias diferencias importantes:

- El objetivo de la investigación consiste en producir resultados de alta calidad para los usuarios; el de la capacitación, en mejorar la capacidad intelectual de los estudiantes. La investigación ejerce un efecto sobre la capacitación y ésta puede contar con un componente de investigación. Si la investigación se utiliza en la capacitación, existe el peligro de que los resultados sean pobres y antieconómicos; si, por otra parte, se utiliza a los estudiantes en la investigación, se corre el riesgo de que su trabajo cuente con muy pocos elementos de capacitación.

- Los tiempos son diferentes. Generalmente, para asegurar y controlar el progreso de los estudiantes, el tiempo de la capacitación es dividido en periodos cortos y uniformes; por el contrario, el tiempo de la investigación es más flexible y, en general, abarca periodos más largos.
- En fin, aunque en este caso no se trata de una diferencia absoluta, la atención de la capacitación se centra en el estudiante y el profesor como individuos; en la investigación, por el contrario, generalmente es fundamental formar grupos y coordinar el trabajo de los individuos. Para que sean útiles en la capacitación, los problemas deben ser lo suficientemente pequeños para que puedan ser abordados por un solo estudiante en un periodo relativamente corto. Tal restricción no puede imponerse a las verdaderas tareas de la investigación; en ésta, el tamaño del equipo de trabajo es decidido en función de la magnitud del problema.

Así, una integración exagerada de la investigación y la capacitación sólo redundaría en perjuicio de ambas; no obstante, su separación tampoco es deseable, ya que son complementarias. Ahora bien, puesto que ambas requieren instalaciones materiales similares y puesto que la investigación puede permitir que la capacitación sea reestructurada en direcciones más pertinentes e, inversamente, la capacitación puede permitir que un investigador ponga en tela de juicio y a prueba sus propias ideas, es deseable que investigación y capacitación se hagan en instituciones relacionadas que compartan instalaciones e intercambien personal.

La comunicación y la informática en la investigación

La investigación tiene como objetivo el aumento del conocimiento, pero también puede ocurrir que sólo lo descubra de nueva cuenta; por ello, el hecho de que aporte conocimientos nuevos depende de lo bien informados que estén los investigadores sobre el estado actual del conocimiento. Mientras que uno de los propósitos de la educación y de la capacitación consiste en dar a todos los investigadores un conjunto inicial mínimo de conocimientos, el grado de éstos varía considerablemente entre investigadores del

mismo campo. El acceso a bibliotecas con un amplio acervo y a colegas experimentados es muy desigual entre las instituciones de investigación, por lo que los investigadores de los países en desarrollo sufren a este respecto. Por lo demás, la pobre calidad de los sistemas de comunicaciones de esos países contribuye a aumentar la desigualdad en el acceso a la información.

Es necesario hacer notar que, aunque los recientes avances tecnológicos en el campo de la informática constituyen una posibilidad de reducir la desigualdad (Munasinghe *et al.*, 1985), ya que en las bibliotecas se están aplicando las nuevas técnicas de almacenamiento y recuperación de la información basadas en las computadoras, los sistemas actualmente disponibles son pequeños y su capacidad limitada, o grandes, diseñados para propósitos específicos y caros. Además, una de las razones por las que no han sido desarrollados sistemas más baratos y de aplicación generalizada reside en el hecho de que las principales bibliotecas de los países industrializados son anticuadas y grandes, por lo que la conversión de sus sistemas de clasificación manuales implica costos muy altos e impone exigencias especiales a los sistemas computarizados que podrían remplazar a los manuales. Tales restricciones son menos aplicables a las bibliotecas más recientes y más pequeñas comunes a los países en desarrollo, por lo que, si éstos promovieran el desarrollo y la adopción de sistemas de clasificación basados en las computadoras, de mayor versatilidad y facilidad de uso para los investigadores, ello redundaría en su propio beneficio.

Esas mismas tecnologías basadas en las computadoras y en la informática están provocando también que la transferencia de la información sea más fácil y más barata. El uso de satélites ha reducido considerablemente los altísimos costos de las redes de comunicación; además, la información que se transmite a través de ellos puede ser auditiva, visual o codificada (*e.g.*, escrita). Es cierto que la extensión de esos sistemas de comunicación baratos y convenientes a los países en desarrollo debe esperar la renovación de las actuales redes de telecomunicaciones de dichos países y la instalación en ellos de equipo terminal, pero ello no hace menos evidentes los enormes beneficios potenciales que tendría una mejor aplicación de las computadoras y de los sistemas de comunicación a la investigación sobre la energía, lo cual también redundaría en el mejoramiento de su calidad y evitaría su duplicación.

Impedir la duplicación reviste un interés aun mayor para los usuarios y para los organismos financieros que para los investigadores, ya que una mayor familiaridad con el estado del conocimiento puede ahorrar gastos inútiles en investigaciones repetitivas. Por ende, los usuarios de la investigación y los organismos financieros deben considerar los gastos en bibliotecas, sistemas de comunicación y redes de investigación como maneras de incrementar la efectividad de su gasto total en la investigación.

LOS ORGANISMOS FINANCIEROS INTERNACIONALES

Resulta paradójico, pero los organismos financieros internacionales constituyen el único grupo sobre el cual contamos con una abundante información estadística, misma que arroja una luz interesante sobre las actividades de esas instituciones.

La inversión

Los organismos financieros internacionales proporcionan fondos para dos tipos de actividades: inversión e investigación. El total de préstamos blandos y duros otorgados de 1975 a 1981 por las economías de mercado desarrolladas a los países en desarrollo para la inversión en programas de energía sumó 92 000 millones de dólares, de los que 17 000 millones correspondieron a préstamos multilaterales, 10 000 millones, aproximadamente, a préstamos blandos bilaterales y alrededor de 30 000 millones a préstamos bancarios comerciales; los 35 000 millones restantes consistieron en créditos duros otorgados por los propios proveedores (según estimaciones basadas en World Bank, 1983a). Con excepción del equipo manufacturado por unos cuantos de los mayores países en desarrollo, principalmente Brasil, China, India, México y la República de Corea, virtualmente todo el equipo de producción y transformación de energía en gran escala fue importado por los países en desarrollo y, casi todo, financiado en una medida importante mediante préstamos y mediante créditos para la exportación. Como vemos, los préstamos de un tipo u otro financiaron una alta proporción de la inversión en programas de energía de muchos países en desarrollo.

Aunque deficientes, otras dos fuentes proporcionan estimaciones más detalladas, las cuales se encuentran resumidas en el cuadro 2. Para el periodo 1975-1981 no contamos con detalles sobre los préstamos bilaterales oficiales, mientras que, para el periodo 1980-1982, las cifras de créditos para la exportación incluyen únicamente los créditos con garantía oficial a un plazo de más de 5 años; no se incluyeron los créditos con garantía oficial a plazos menores de 5 años, estimados en alrededor de la mitad de aquellos a plazos mayores de 5 años, ni los créditos sin garantía oficial, sobre los que no existen datos disponibles.

Lo sorprendente de esas cifras es que casi todos los préstamos multilaterales fueron canalizados hacia la producción de energía (y no a programas para el ahorro de la misma) y, de ellos, una gran proporción se utilizó para la producción de electricidad. La proporción de préstamos otorgados por los organismos financieros también es más alta para la electricidad que para otras industrias, ya que la industria eléctrica posee ciertas características que la hacen atractiva para dichos organismos: las centrales constituyen un conjunto de equipo totalmente integrado, por lo que es fácil predecir los costos de capital; su tecnología ha sido uniformada, lo que hace más difícil (aunque no imposible) manejarlas erróneamente; en la mayoría de los países en desarrollo, la demanda de electricidad ha crecido rápida y constantemente durante los últimos años, por ende, es menos probable que una central eléctrica sufra por falta de demanda; las centrales eléctricas, en fin, se conectan simplemente a las redes y, así, mientras la demanda de electricidad continúe creciendo, no es necesario hacer esfuerzos de comercialización especiales. Aunque tales características harían atractivo el financiamiento de la industria eléctrica para todo tipo de organismo financiero y no solamente para las instituciones multilaterales, los países en desarrollo prefieren pedir prestado a las instituciones multilaterales debido a las tasas de interés un tanto más bajas y a los plazos apreciablemente más largos que éstas les ofrecen; por lo demás, en su calidad de prestamistas preferidos, esas instituciones cuentan con el privilegio de seleccionar los mejores préstamos para centrales eléctricas.

Por otra parte, debido a lo favorable de los plazos de sus préstamos, las instituciones multilaterales no son bien vistas entre los organismos financieros competidores, ya sean éstos organismos nacionales oficiales o bancos privados, los cuales ejercen una

presión política que mantiene a las instituciones multilaterales fuera de los mercados en los que dichos competidores se interesan especialmente.

Los préstamos internacionales para inversiones en formas no convencionales de energía son extremadamente reducidos y se restringen principalmente a las industrias del carbón, el alcohol y la geotermia, todas las cuales son relativamente de gran escala. Gran parte del financiamiento para esas industrias proviene de instituciones multilaterales.

La investigación

La información sobre el financiamiento de la investigación no es de ninguna manera tan detallada como aquella sobre el financiamiento de la inversión. Los únicos datos que nos proporcionaron el tipo de información comparativa que necesitábamos se relacionan con un conjunto de proyectos en los países miembros del Banco para el Desarrollo Asiático (Asian Development Bank; ASDB; cuadro 3). Dividimos los organismos en cinco tipos: 1) los bancos internacionales; 2) las agencias de la ONU; 3) las instituciones submultilaterales; 4) los organismos nacionales de los principales países industrializados que fabrican centrales eléctricas, y 5) los pequeños organismos nacionales que participan en el negocio del financiamiento de la investigación *per se*.

La única área de investigación atractiva para todos los organismos financieros es la que se relaciona con los estudios macroeconómicos. Tal énfasis en ese tipo de estudios tiene su razón de ser: son fundamentales para situar en perspectiva las proposiciones de inversión e investigación en el plano microeconómico. Es comprensible que un organismo financiero quiera tener una idea sobre la macroeconomía y los flujos de energía en el plano macroeconómico antes de decidir qué es lo que va a financiar en el microeconómico. No obstante, el enfoque macroeconómico refleja también la relación simbiótica existente entre los organismos financieros y los gobiernos y nos permite ver que los primeros prefieren, con mucho, trabajar en relación estrecha con los gobiernos y utilizar la fuerza de éstos para que los proyectos se lleven a cabo. Los gobiernos, por su parte, acuden a los organismos

financieros en busca de dinero, empleos y viajes al extranjero para su personal. Naturalmente, la investigación que puede hacerse en las agencias gubernamentales o en las instituciones relacionadas con el Estado tiene un claro nexo con la política, por ende, los intereses de los gobiernos y los organismos financieros coinciden en ese tipo de investigación.

La ONU cuenta con agencias especializadas y comisiones económicas regionales. De ellas, las primeras tienden a concentrar sus esfuerzos en temas de su propia especialización: la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en los recursos humanos y la capacitación; la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en lo concerniente a la agricultura, los bosques y la leña, etcétera. La escasez de fondos que sufrió la ONU en los decenios de 1970 y 1980 provocó una gran competencia entre sus agencias, bajo la forma de áreas de penetración atractivas para los organismos financieros, con vistas a obtener fondos del exterior. En los años 1970, la energía fue una de esas áreas.

Debido a que un gobierno nacional está organizado en ministerios especializados, como la ONU lo está en agencias especializadas, su financiamiento a la inversión e investigación en energía tiende a depender también de la influencia y el poder de negociación de los ministros y ministerios; la única diferencia consiste en que la economía relacionada con la energía interfiere con la acción del gobierno en la forma de demandas de los sectores productivo y consumidor. Sin embargo, la distancia entre estos últimos y la ONU es mucho mayor.

Sin contar la intervención de las agencias de la ONU, los organismos de financiamiento a la investigación se dividen en dos grupos: los pertenecientes a países productores de centrales eléctricas y otros. La diferencia en los patrones de financiamiento a la investigación es digna de hacer notar. Una alta proporción de los proyectos de los primeros se relaciona con áreas en las que ellos esperaban financiar inversiones. La electricidad es, con mucho, el área más importante, pero también están incluidos el petróleo, el gas y el carbón. Entre las fuentes renovables de energía, se ven favorecidas aquellas en las que se han desarrollado o pueden desarrollarse tecnologías de gran escala; por ejemplo: la geotermia o el alcohol.

Por otra parte, la atención de los organismos independientes de financiamiento a la investigación se centra resueltamente en las

CUADRO 3. Análisis de proyectos de investigación sobre la energía en Asia^a financiados con fondos provenientes del exterior (número de proyectos)

	<i>Bancos</i>	<i>Agencias de las Naciones Unidas</i>	<i>Submulti-laterales^b</i>	<i>Instituciones nacionales</i>		<i>Total</i>
				<i>Países grandes^c</i>	<i>Países pequeños</i>	
Energía	23	38	4	11	11	87
Información, asesoramiento y planeación	14	13	1	3	6	37
Demanda y precios	1	2	0	0	0	3
Energía rural	0	2	0	1	1	4
Recursos, equipo y tecnología	1	2	0	3	2	8
Conservación	2	3	2	1	0	8
Personal y capacitación	5	14	1	2	1	23
Estudios socioeconómicos	0	2	0	1	1	4
Industria	0	3	0	1	0	4
Transporte	2	7	0	0	0	9
Petróleo	11	2	1	0	0	14
Exploración	4	0	1	0	0	5
Refinación	2	0	0	0	0	2
Generales	5	2	0	0	0	7
Electricidad	37	16	3	38	10	104
Generación	4	2	1	1	3	11
Hidroeléctricas pequeñas	3	3	2	4	1	13
Distribución	4	0	0	1	0	5
Electrificación rural	3	2	0	4	1	10
Energía nucleoelectrica	0	1	0	0	0	1
Otros (incluida la capacitación)	23	8	0	28	5	64
Gas natural	7	1	0	4	4	16
Carbón mineral, lignito y turba	5	9	0	4	6	24

Energía renovable	1	5	1	8	3	18
Energía de la biomasa	2	4	1	3	1	11
Combustibles provenientes de la madera	4	14	3	5	6	32
Leña	4	13	0	5	6	28
Carbón vegetal	0	1	1	0	0	2
Estufas de leña	0	0	2	0	0	2
<i>Biogás</i>	0	1	3	0	1	5
Gas de generador	0	0	1	0	1	2
Etanol	0	1	0	2	0	3
Aceite vegetal	0	0	2	0	0	2
Solar	1	3	7	2	1	14
Fotovoltaica	0	0	3	1	0	4
Otros	1	3	4	1	1	10
Eólica	0	2	0	0	6	8
Geotérmica	3	1	0	3	4	11
OTEC ^d	0	0	0	0	1	1
Almacenamiento	0	1	0	0	0	1
Total	96	108	26	81	55	366

^aCon excepción de China, Mongolia y la República Popular Democrática de Corea.

^bLos financiamientos submultilaterales incluyen el Fondo de la Commonwealth para la Cooperación Técnica, la Reunión Regional de Jefes de Gobierno de la Commonwealth, la CEE, la OPEP y la Comisión del Pacífico Sur.

^cSe define como países grandes a aquellos que cuentan con capacidad para la manufactura de centrales eléctricas (*i. e.*, Canadá, Japón, el Reino Unido y Estados Unidos).

^dOTEC (Ocean Thermal Energy Conversion): conversión de energía térmica oceánica.

Fuente: Compilado a partir de Banco Asiático de Desarrollo, 1984.

tecnologías únicas de pequeña escala: la biomasa, la leña, el biogás y la energía solar. En este caso, se trata también de tecnologías con pocos productores establecidos en países en desarrollo a los cuales deban proveer, por lo que la investigación en esas áreas corre el riesgo de quedarse sin aplicación y, por lo mismo, resultar inefectiva.

En vista de lo anterior, es necesario plantearse la siguiente pregunta: ¿por qué los organismos financieros independientes no intervienen en el campo de los grandes proyectos sobre la energía? La respuesta es doble. Primero: en ese campo existe una cadena ininterrumpida que va desde los fabricantes de equipo de los países industrializados hasta los productores de los países en desarrollo. Los gobiernos de estos últimos participan en la cadena como propietarios de empresas que compran equipo o como garantes de sus deudas. Por su parte, los organismos de financiamiento a la inversión participan como prestamistas y financian, en primer lugar, la investigación que necesitan para tomar sus decisiones sobre financiamiento. Debido a que ese tipo de investigación se refiere a lugares específicos, se presenta como investigación en países en desarrollo; sin embargo, antes bien que ser genérica, se trata de una investigación sobre proyectos específicos y a menudo la realizan consultores extranjeros. Los organismos independientes de financiamiento a la investigación no desempeñan función alguna en la cadena de la inversión. Segundo: dichos organismos son también mucho más pequeños que los de financiamiento a la inversión, por lo que sus fondos sólo podrían cubrir el costo de unos cuantos estudios de factibilidad o de preinversión o informes detallados sobre proyectos.

Así, el campo de la investigación sobre la energía resulta dividido entre los grandes organismos de financiamiento a la inversión y los pequeños. La investigación en gran escala sobre sitios específicos que se requiere para los proyectos de inversión es financiada por los grandes organismos de financiamiento a la inversión, mientras que la investigación en pequeña escala, sin relación por lo general con la producción o la comercialización, es financiada por los pequeños organismos financieros. Éstos no son responsables de la falta de coordinación característica de los países en desarrollo entre, por un lado, las políticas, la producción y el uso de la investigación, y la investigación misma, por el otro; tal falta de coordinación tiene su origen en el dominio que ejercen

las corporaciones transnacionales sobre la producción de equipo con uso intensivo de capital, en la debilidad de las compañías nacionales de esos países y en las políticas energéticas pasivas de sus gobiernos. Sin embargo, también los organismos financieros internacionales refuerzan esa falta de coordinación, y es muy poco lo que hacen para remediar la debilidad de las instituciones de investigación de los países en desarrollo.

IV. EL ANÁLISIS Y LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA

La demanda de energía aumenta con el proceso de desarrollo porque implica una expansión de la producción y del consumo y porque la estructura económica tiende a requerir energía con mayor intensidad, de ahí que sea importante el estudio de los factores que determinan la demanda.

En la mayoría de los países en desarrollo, las estadísticas relacionadas con la energía se encuentran dispersas y mal organizadas, además de que sólo permiten efectuar análisis agregados e imprecisos. Dentro de los límites establecidos por la información disponible, debería llevarse a cabo su investigación a corto plazo, pero también deben hacerse esfuerzos para mejorar la base de datos y así poder estimar relaciones más detalladas y confiables. Los balances de energía son una de las formas en que pueden organizarse estadísticas detalladas sobre la energía, pero, por sí mismos, esos balances no proporcionan ningún resultado analítico.

La elasticidad del consumo de energía con respecto al ingreso resume una relación, pero no dice nada sobre los factores que la deciden o la hacen cambiar. Lo mismo puede decirse de las funciones translogarítmicas con las que se busca medir la posibilidad de sustitución entre la energía y otros insumos. Los modelos basados en los insumos y la producción representan con grandes detalles la relación entre, por una parte, la producción y el consumo y, por la otra, el uso de la energía y permiten el estudio de una gran cantidad de situaciones hipotéticas; no obstante, excluyen otras influencias y, puesto que miden los flujos en función del valor, confunden las variaciones de la cantidad con las de los precios. Los modelos de gestión y tecnicoeconómicos buscan desenmarañar la confusión mediante el manejo de esos dos factores en función de cantidades físicas; sin embargo, el comportamiento de los productores y los consumidores no puede ser representado con precisión desde un punto de vista físico, ya que

depende del valor del dinero y es voluble por definición. Por lo tanto, no existe una manera perfecta de estudiar la demanda agregada de energía.

Esa volubilidad y complejidad del comportamiento humano que vuelve inestables las relaciones de la demanda agregada afecta de manera semejante ciertas relaciones más desagregadas mediante las cuales es más fácil estudiar un gran número de influencias en conjunto, aunque no siempre es fácil aclarar el efecto de cada una de ellas. Al nivel microeconómico, existe un campo particularmente amplio para dos tipos de estudios de la demanda, esto es, los que sitúan la demanda de energía en el ámbito de las decisiones de consumo doméstico total y los que consideran la recolección de leña como parte de la distribución del trabajo en las familias rurales.

Los modelos de demanda de energía pueden ser utilizados para estudiar y manejar la intensidad total de la energía a través de las medidas de política, de las que los impuestos y los subsidios son las principales. No obstante, el establecimiento de impuestos y subsidios mediante los cuales se logre una adecuada combinación de la justicia social con la precisión del efecto exige ingenio y constituye un desafío para la investigación, ya que los impuestos y los subsidios aplicados a cada uno de los combustibles tienen a menudo efectos de sustitución no buscados. Por lo tanto, es necesario que los investigadores diseñen medidas más neutras y certeras.

En las industrias energéticas de gran escala, es común la práctica de basarse en sus costos históricos para fijar los precios promedio de sus costos actuales, lo cual distorsiona los niveles de utilidades, los patrones de inversión y la competencia entre fuentes de energía. Por ello es necesario llevar a cabo cierto tipo de investigación que ayude a mejorar las medidas que se utilizan para controlar los precios y a valerse de las estructuras del mercado para aplicar dichas medidas y estimular el cambio tecnológico.

Para alimentar a la población que no participa en la agricultura, es fundamental que exista un excedente agrícola. En muchos países de África y algunos de Asia, no obstante, la productividad de la mano de obra agrícola es demasiado baja para generar un excedente significativo, por lo que, en los programas de desarrollo de esos países, debe otorgarse una alta prioridad al aumento de la productividad agrícola. Ello requeriría, en algunos casos, el uso

de energía proveniente de fuentes inanimadas para ayudar al trabajo humano y, en otros, la sustitución de éste. Los estudios sobre la relación existente entre la producción agrícola y los insumos totales de energía no son útiles; es necesario que se hagan sobre una base desagregada y que se introduzcan innovaciones conceptuales. Además, es necesario que los estudios se extiendan a los sistemas agrícolas periféricos, como el cultivo de cereales secundarios en tierras áridas y el de tubérculos perennes. Los estudios sobre la mecanización podrían beneficiarse si en ellos se distingue entre las operaciones que requieren una actividad máxima y aquellas que requieren una actividad mínima. La investigación para mejorar la eficacia de las técnicas mecánicas y no mecánicas reviste un interés especial; por ejemplo: la elaboración de estudios para introducir la agricultura de labranza mínima en los países en desarrollo. La eficacia en el uso de la energía también puede elevarse mediante un mejor aprovechamiento de los insumos agrícolas de uso intensivo de energía; por ejemplo: fertilizantes, agua y pesticidas. Otra manera de aumentar la eficacia en el uso de la energía consiste en la creación de nuevas especies vegetales con ese propósito.

En los países desarrollados se ha hecho un gran esfuerzo de investigación para lograr la conservación de la energía en la industria y han sido identificadas las industrias que usan energía intensivamente. De manera similar, mediante la identificación de los grandes usuarios de energía entre sus industrias y la adaptación del conocimiento disponible, los países en desarrollo pueden aumentar la eficacia industrial en el uso de la energía.

El transporte constituye el vínculo entre la política energética, la política comercial y la política ambiental, por lo que la investigación debe crear las bases para la coordinación de esos tres tipos de política. Los patrones de emplazamiento determinan las necesidades de transporte, pero sus relaciones no son muy flexibles; además, es difícil aumentar la capacidad de transporte de los caminos y ferrocarriles en áreas ya desarrolladas; por ende, es mejor planear con décadas de anticipación el emplazamiento de las actividades y de la población para reducir las necesidades finales de transporte. Los mejores patrones de emplazamiento dependen de dos consideraciones opuestas entre sí: no permitir que las ciudades crezcan demasiado puede reducir el tráfico suburbano, pero la concentración de las actividades económicas en

unos cuantos lugares puede hacer que la inversión en infraestructura para el transporte sea más económica. La administración a corto plazo del tráfico plantea ciertos problemas, que podrían investigarse, en cuanto al racionamiento, cuando se cuenta con una capacidad de tráfico limitada, y en cuanto al uso coordinado de la fijación de precios e impuestos a los combustibles, vehículos y caminos. La investigación respecto a las variaciones en la intensidad del transporte, la economía del tamaño de los vehículos y la competencia de los ferrocarriles también es prometedora. Por ser de uso intensivo de energía, los ferrocarriles ofrecen un buen tema de investigación para lograr el mejoramiento de su utilización; esto es, podría investigarse, en especial, la programación y comunicación del tráfico, así como la estructura de las tarifas y la calidad del servicio.

Los consumidores domésticos de energía, que pueden ser clasificados como recolectores, productores y compradores de la misma, difieren en sus patrones de comportamiento, por lo que los métodos para estudiarlos también deben ser diferentes. La teoría de la demanda elaborada en los países industrializados puede aplicarse a los compradores, pero para el estudio de los recolectores, así como para el de los consumidores domésticos que producen su propia energía, llamados productores de subsistencia, es necesario desarrollar nuevos conceptos. La asignación del trabajo humano a los distintos usos de la energía es un factor de capital importancia para comprender el comportamiento de los recolectores y los productores. En el estudio de estos últimos, es necesario que los límites de sus sistemas sean suficientemente amplios para que abarquen las transacciones que unos y otros llevan a cabo con las localidades vecinas y para que, así, sea posible comprender las variaciones entre las regiones y las clases. También es necesario que la investigación sobre la recolección de leña se vea acompañada de observaciones más directas del medio ambiente y que se vincule con la investigación sobre la relación entre el uso de la leña y su producto; por ejemplo: la calidad y composición de los alimentos cocinados con ella.

Para sostenerse, el aumento de la producción de bienes y servicios, parte fundamental del desarrollo, exige normalmente aumentos correspondientes en el consumo de energía. Además, el desarrollo comprende cierto número de cambios estructurales que

tienden a aumentar la intensidad en el uso de energía relacionada con el ingreso nacional.

- A medida que la gente prospera, aumenta su consumo de energía para alumbrado y aparatos eléctricos. Algunas personas comienzan a adquirir dichos aparatos (ventiladores, radios, etcétera) cuando su nivel de ingresos es aún muy bajo; otras, cuando sus ingresos son ya un poco más altos. Así, aunque no aumente el consumo doméstico de energía para la preparación de alimentos, su consumo para otros propósitos continúa aumentando con el ingreso, y la nueva demanda corresponde principalmente a la electricidad, la cual también es la principal fuente de fuerza motriz de la industria. Debido a que, en su transformación en electricidad, se desperdicia entre el 60 y el 70% de la energía de los combustibles, el cambio para que la termoelectricidad ocupe un lugar más importante en la combinación final de la energía implica un crecimiento más rápido de la demanda de combustibles primarios.
- Muchos países en desarrollo enfrentan la necesidad de intensificar la producción de alimentos agrícolas para una población en crecimiento, al mismo tiempo que deben hacer frente a una creciente disminución de tierras cultivables, y todos los principales medios para intensificar la agricultura —agua, fertilizantes, pesticidas, maquinaria, etcétera— consumen energía.
- El incremento sostenido de los patrones de vida generales exige el aumento de la productividad de los trabajadores, y muchos de los medios conocidos para aumentar la productividad implican el uso de más energía por trabajador.
- A medida que aumenta el ingreso de los países en desarrollo, las estructuras de su demanda y los patrones de su producción se orientan hacia la industria, y el crecimiento de la industria exige un aumento en el consumo de energía.
- El incremento del patrón de vida implica un mayor consumo de alimentos y, por ende, más transportes. Además, la urbanización y la industrialización aumentan la distancia entre el productor y el consumidor y entre el trabajador y su lugar de trabajo. Por lo tanto, las necesidades de transporte aumentan en una proporción mayor que la que guardan con la producción.

Como hemos visto, la energía es un insumo vital que puede restringir el desarrollo; no obstante, sus efectos restrictivos se pueden reducir de varias maneras: a) mediante cambios estructurales que disminuyan el consumo de energía para la producción total; b) mediante la sustitución entre combustibles para reemplazar las formas de energía escasas con otras más abundantes, y c) mediante métodos de conservación de la energía para aumentar la eficacia global en su aprovechamiento. En el siguiente capítulo nos ocuparemos de la conservación de la energía; en éste, abordaremos el análisis de su demanda, primero en el plano agregado y, después, en el de los sectores que la consumen: la agricultura, la industria, el transporte y el sector doméstico.

LA DEMANDA AGREGADA DE ENERGÍA

Para analizar la demanda de energía, los investigadores deben elegir entre los métodos con pocas exigencias de información y de uso de sistemas de computación, los cuales ofrecen resultados rápidos aunque limitados, y aquellos más eficaces, que pueden proporcionar resultados más detallados y uniformes, pero que exigen inversiones en la recolección de datos y en sistemas de computación y que pueden sufrir por la calidad de los datos y de los modelos desarrollados en computadora. Mediante la aplicación del primer tipo de métodos se han elaborado estudios sobre la relación entre la energía y el producto interno bruto (PIB) y sobre la demanda al nivel microeconómico; mediante la aplicación de los segundos, se han obtenido modelos macroeconómicos basados en el insumo y la producción, así como modelos técnico-económicos diseñados para el análisis del uso final de la energía. La elección del método adecuado no depende tanto de que sea rápido y poco confiable o lento y confiable. En los estudios microeconómicos es posible aprovechar más completamente los datos disponibles o utilizar datos provenientes de investigaciones especialmente diseñadas para un problema específico, mientras que, en los grandes modelos macroeconómicos, a menudo se utilizan datos de calidad y confiabilidad variables reunidos únicamente con miras a abarcarlo todo. En los estudios microeconómicos también es posible incluir una mayor variedad de formas funcionales, lo cual permite, por lo tanto, una mayor aproximación de las relaciones

fundamentales, mientras que, hasta ahora, los grandes modelos con ecuaciones múltiples están restringidos en gran medida a las formas funcionales lineales y a las relaciones simples. Los recientes avances en la capacidad y en la miniaturización de las computadoras beneficiarán seguramente a los dos tipos de estudios y, debido al surgimiento de las microcomputadoras de bajo costo, el efecto benéfico de esos avances será quizá mayor en los países en desarrollo, por lo que el futuro próximo de los estudios de la demanda en ambos planos económicos promete progresos.

A corto plazo, la disponibilidad de datos constituye una limitación para la elección de los métodos; a largo plazo, no obstante, deberá hacerse un esfuerzo por eliminar esa limitante mediante la obtención de información más detallada para su uso en modelos más complejos. Los balances de energía ofrecen una forma posible de recolección de información detallada sobre sus flujos.

Los balances de energía

Cuando está desagregada, la información nacional sobre la energía puede ser tabulada en la forma de un balance. En un balance de energía, los componentes de ésta se desagregan y, para cada componente, se iguala el consumo con la suma de la producción, el comercio internacional y las variaciones en las existencias. Asimismo, se desagrega el consumo conforme a los diversos usos, haciendo una distinción entre la energía utilizada para su transformación y la de uso final.

A partir de los años 1950, la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) ha publicado balances de energía para sus países miembros. En el decenio de 1970, la Agencia Internacional para la Energía (IEA), afiliada a la OECD, estimuló el interés de los países en desarrollo encargándoles a algunos de ellos que elaboraran balances de energía. En 1978, los balances encargados fueron presentados y discutidos en una reunión de estudio y, recientemente, fueron puestos al día hasta 1982 (International Energy Agency, 1979a, 1979b, 1984).

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), fundada en 1973, ha estimulado de manera similar el interés de los países latinoamericanos por los balances de energía. Como resultado de sus

esfuerzos, se ha logrado compilar balances de energía para todos los países miembro de la OLADE, excepto Barbados, Cuba y Paraguay, y en algunos casos existen balances anuales disponibles a partir de 1970. La calidad de las estadísticas también ha mejorado con el tiempo; sin embargo, el grado de detalle disponible varía de país a país (véase, v. g., El Salvador, 1980; Organización Latinoamericana de Energía, 1981; Chile, 1982; Instituto de Economía Energética, 1982, 1983). Los balances de energía elaborados bajo la dirección de la OLADE están siendo ampliados mediante la incorporación de estimaciones de energía útil.

Un balance de energía consiste básicamente en una representación tabular de las estadísticas de producción y consumo de energía. En su preparación, es necesario responder a las interrogantes referentes al detalle y la uniformidad de los datos, de tal manera que los balances proporcionen un punto de partida útil para los estudios nacionales sobre la energía. En sí mismo, un balance de energía no contiene ninguna información sobre las determinantes del consumo final de energía y, por lo tanto, no es suficiente para realizar ejercicios de proyección, de planeación o de elaboración de modelos; sin embargo, las series de tiempo de los balances de energía arrojan series de tiempo del consumo por sector que pueden utilizarse para estudiar el comportamiento y las determinantes de dicho consumo. A su vez, los estudios por sectores pueden proporcionar submodelos que, en conjunto, pueden utilizarse para proyectar o planear la producción, la transformación y el consumo nacionales de energía (véase, v. g., Moscoso y Barbalho, 1983). Las técnicas aplicadas a cada sector pueden ser adaptadas a la disponibilidad de los datos y a los mecanismos causales que intervienen; por ejemplo: es posible utilizar modelos muy diferentes para los sectores de la agricultura, la industria, el transporte y el doméstico. Así, si se aplica en su elaboración una metodología uniforme a lo largo de varios años, los balances de energía proporcionan un marco de referencia flexible para realizar los estudios nacionales sobre la misma; si, por el contrario, se desarrollan modelos independientes por sectores, es muy probable que las estimaciones que esos modelos proporcionen no sean mutuamente compatibles, por lo que tendría que introducirse otro tipo de mecanismo para asegurar su mutua compatibilidad.

La relación energía-PIB

Al nivel de mayor agregación, puede considerarse que el consumo de energía depende del PIB, el cual mide el valor de la producción de bienes y servicios finales en una economía. La relación energía-PIB ha sido analizada en una gran cantidad de estudios mediante comparaciones entre países al igual que entre periodos de tiempo. Los resultados varían mucho y arrojan una amplia gama de elasticidades, tanto superiores como inferiores a la unidad. Según esos estudios, las elasticidades fueron menores en general durante los años 1970 que durante los años anteriores (Siddayao, 1985; Leach *et al.*, 1986); sin embargo, muestran como rasgo común que la elasticidad del consumo de energía respecto al ingreso es más alta en los países con bajos niveles de ingresos que en los de altos ingresos. Tal resultado es la base de proyecciones que predicen un incremento de la participación de los países en desarrollo en el consumo mundial de energía (Martín y Pinto, 1979); no obstante, antes de extraer ésta o cualquier otra conclusión de la elasticidad del consumo de energía respecto al PIB, es necesario preguntarse qué significa esa elasticidad y cómo se determina.

En un proceso en el que no se diese ningún cambio técnico ni sustitución alguna entre insumos, el consumo de energía sería proporcional a la producción y su elasticidad respecto a la misma sería exactamente igual a 1; por ende, si la elasticidad difiere de la unidad, necesariamente se debe a una o varias de las siguientes cuatro causas posibles:

- Las mejoras tecnológicas pueden provocar un descenso en la intensidad del consumo de energía para la producción —ésta es la razón principal de que las elasticidades respecto a la energía sean inferiores a la unidad en los países industrializados—, tendencia que puede contrarrestarse mediante la introducción de tecnologías con un uso más intensivo de energía.
- Los cambios en la estructura del PIB pueden provocar un desplazamiento hacia sectores con una mayor o menor intensidad en el consumo de energía; por ejemplo: el crecimiento relativamente acelerado de la industria y el transporte en los países en desarrollo es uno de los factores que explican lo alto de las elasticidades de su consumo de energía respecto al PIB.

- Las variaciones en la composición del consumo de energía pueden provocar un cambio en la eficacia promedio de su uso. En los países en desarrollo, es común que la energía comercial reemplace a la no comercial, pero este hecho casi nunca es registrado en las estadísticas; así, sólo existe un aumento meramente estadístico del consumo de energía y de la elasticidad estimada del mismo con respecto al PIB a lo largo del tiempo. Por ejemplo; la inclusión de la leña en el consumo de energía provoca un descenso significativo de las elasticidades respecto al PIB en todo el país (Strout, 1983); aunque se incluya la leña en el consumo de energía, su remplazo por keroseno, gas o electricidad provoca generalmente un aumento en la eficacia en el uso de la energía y reduce la elasticidad respecto a la producción.
- Los cambios en el estilo de vida pueden provocar un cambio en la intensidad (directa o indirecta) del consumo de energía. Si bien este efecto se vería reflejado en la elasticidad, se origina en el consumo antes bien que en la producción.

Dado que los efectos de los cuatro fenómenos mencionados están entremezclados en las relaciones energía-PIB, es difícil atribuir significados específicos a las elasticidades, de las cuales se ha demostrado que son inestables y poco confiables para todo propósito de predicción precisamente en los casos en que se ha tratado de las grandes rupturas estructurales; como durante las crisis del petróleo, por ejemplo.

La sustitución entre insumos

El uso de las elasticidades de la energía respecto al PIB supone una relación estable entre este último y el consumo total de la primera; sin embargo, existen posibilidades de sustitución entre las diversas formas de la energía y entre ésta y otros insumos. La sustitución entre insumos puede ser considerada explícitamente entre las funciones de producción, de las cuales se utiliza un gran número. De ellas, la que se ha aplicado con mayor frecuencia a la energía en muchos países industrializados es la función translogarítmica desarrollada por Christensen *et al.* (1973), la cual ha generado una

amplia gama de estimaciones de elasticidades respecto a los precios y de elasticidades de sustitución (Hudson y Jorgenson, 1974; Berndt y Wood, 1975, 1979; Griffin y Gregory, 1976; Ozatalay *et al.*, 1979; Pindyck, 1979, 1980). La principal diferencia entre los resultados obtenidos por los autores mencionados consiste en que algunos de ellos llegan a la conclusión de que la energía y el capital (esto es, las plantas y el equipo) son sustitutos, mientras que otros los consideran complementos. Consecuentemente, sus predicciones respecto al efecto de un alza en los precios de la energía son diferentes; los primeros predicen mayores inversiones en bienes de capital; los segundos, menores inversiones. Recientemente, Gibbons (1984) buscó la explicación de la diferencia de los resultados en las variaciones de calidad entre los bienes de capital.

Los modelos translogarítmicos tienen aplicaciones muy limitadas en los países en desarrollo (de cualquier manera, véase Uri, 1981; Apte, 1983). No existe dificultad para aplicarlos en el ámbito de la industria, sobre el que esos países cuentan con información relativamente abundante; sin embargo, dada la dificultad para interpretar las elasticidades de sustitución que se obtienen mediante ellos, existen serias dudas respecto a su utilidad funcional.

El análisis insumos-productos

Un cuadro sobre insumos y productos, llamado también matriz insumos-productos, muestra los flujos de unos y otros a través de toda la economía, al igual que un balance de energía muestra los flujos de ésta en la economía. Puede considerarse que un balance de energía consiste en las columnas de una matriz insumos-productos relacionadas con las fuentes de energía, si bien existen dos diferencias: por un lado, las unidades utilizadas en un balance de energía son, ora unidades físicas, ora unidades de energía, mientras que, en una matriz insumos-productos, lo que se consigna es el valor de los mismos; por el otro lado, un balance de energía proporciona cifras sobre los sectores energéticos en forma más desagregada que una matriz insumos-productos.

Puesto que una matriz insumos-productos muestra las ventas entre sectores o industrias, recibe el nombre de matriz de transacciones. Ahora bien, si los insumos que absorbe cada industria se

dividen entre la producción de la misma, se obtiene una matriz de coeficientes insumos-productos, a la que se denomina también matriz tecnológica; ésta es una herramienta muy versátil:

- Puede utilizarse para calcular los efectos, tanto directos como indirectos, de un cambio en la producción.
- Muestra el vínculo entre la producción de bienes finales (es decir, bienes de consumo o de inversión) y la de bienes intermedios (es decir, bienes que se utilizan para producir otros bienes), por lo que puede utilizarse para deducir las consecuencias que un cambio en la producción de una industria puede tener para todas las demás.
- Puesto que un cambio en la tecnología puede ser representado como un cambio en los coeficientes insumos-productos, sus posibles consecuencias para el conjunto de la economía pueden ser deducidas mediante la modificación de la matriz tecnológica. Así, ésta puede ser utilizada para estimar el efecto que ejercen sobre la economía las tecnologías diseñadas para ahorrar energía o la sustitución entre combustibles.
- Asegura la coherencia entre la información relacionada con la producción de diversas industrias.
- Finalmente, como parte de los modelos de programación lineal, la matriz tecnológica puede ser utilizada para perfeccionar la información de toda la economía en su conjunto y para analizar los efectos de las restricciones; por ejemplo: la necesidad de equilibrar el comercio o de racionar los bienes de oferta limitada.

Como resultado de estas ventajas de la matriz tecnológica, el análisis de los insumos y la producción constituye la base de los modelos utilizados en las economías de mercado desarrolladas para hacer predicciones en el plano macroeconómico. Los balances de materiales, que pueden ser considerados como una variante de la matriz insumos-productos, han sido la base para la planeación en la Unión Soviética y en otras economías de planeación centralizada.

La aplicación de los análisis insumos-productos a los problemas de la energía, análisis insumos-productos/energía, fue iniciada por el Grupo de Investigaciones Energéticas de la Universidad de Illinois (Bullard y Herendeen, 1975); a partir de su metodolo-

gía, surgió un pequeño conjunto de obras especializadas (Bullard *et al.*, 1978; Casler y Wilbur, 1984). La principal aplicación del análisis insumos-productos/energía ha sido en el cálculo de la intensidad del uso de energía: intensidades directa e indirecta, e intensidad incorporada en los bienes y desincorporada de ellos (Costanza y Herendeen, 1984).

La aplicación del análisis insumos-productos al caso de los países en desarrollo se ha llevado a cabo principalmente en dos instituciones: el MIT Energy Laboratory y el Brookhaven National Laboratory. Los modelos insumos-productos elaborados por Blitzer y sus colegas para la planeación del desarrollo (Blitzer *et al.*, 1975; Taylor, 1979) han sido aplicados a los casos de Egipto (Choucri y Lahiri, 1984), Jordania (Blitzer, 1984) y México (Blitzer y Eckhaus, 1983). En las matrices tecnológicas desarrolladas por el grupo Brookhaven, el análisis del sector de la energía es muy elaborado: los flujos de energía se miden en unidades de la misma y el consumo, en función de la energía útil (esto es, la energía final consumida multiplicada por la eficacia en su utilización). Este último enfoque ha sido aplicado a los casos de Egipto, Perú, Portugal y la República de Corea (Mubayi y Meier, 1981).

Las computaciones en gran escala exigidas por los detallados modelos insumos-productos son una de las razones del porqué ni siquiera en los países desarrollados ha sido común la aplicación de dichos modelos a los países en desarrollo (véase, no obstante, Subba Rao *et al.*, 1981; Vanin y Graça, 1982; Behrens, 1984), si bien ahora ya también es factible en estos últimos gracias a la miniaturización y a la reducción del costo de las computadoras (*cf.* Munasinghe *et al.*, 1985).

Los enfoques técnicos

Los enfoques de los problemas de la energía desde el punto de vista económico se caracterizan por la importancia que se da a los efectos del ingreso en los productos y los precios; sin embargo, esas relaciones económicas básicas son muy inestables, primero, porque reflejan el comportamiento humano, que, como ya dijimos, es muy voluble, y, segundo, porque deben formularse desde el punto de vista del valor, lo cual hace imposible distinguir los

cambios en la cantidad y en el precio. Así, la insatisfacción provocada por esa inestabilidad ha llevado al desarrollo de modelos basados en constantes tecnológicas.

En esos modelos, el consumo final de energía F se descompone como sigue:

$$F = uA/e$$

donde A es el grado de actividad, u la energía útil requerida por unidad de actividad y e la eficacia en la utilización de la energía. La ventaja de esta descomposición reside en que se espera que u sea invariable respecto a la forma de energía y que la tasa de sustitución entre combustibles sea igual a 1 cuando los insumos de combustibles son calculados como energía útil.

El grado de actividad puede ser el grado de producción de un bien o servicio, o una "necesidad", en el caso de un consumidor. Como vemos, en esos modelos se busca remplazar el comportamiento por una exigencia definida normativamente como determinante de la demanda de energía. Quizá el más importante de ese tipo de modelos sea la serie llamada MEDEE (Chateau y Lapillone, 1978, 1979, 1984; Lapillone, 1983), los cuales han sido aplicados, entre otros, a los casos de la Comunidad Europea (Comisión de Comunidades Europeas, 1983), Brasil (Prado, 1981), Ecuador (Instituto Nacional de Energía, 1984), Portugal (Neto *et al.*, 1980) y Quebec (Quebec, 1984).

El parecido de los modelos MEDEE con otros enfoques normativos de los problemas de la energía es evidente; por ejemplo: con los enfoques flexibles, que abogan por un alejamiento de los combustibles fósiles, y con los conservacionistas, que hacen énfasis en las posibilidades de la conservación de la energía independientemente de los costos (*v. g.*, Goldemberg *et al.*, 1985). La tecnología determina lo que es posible, las variables sociales y económicas, cuál de las posibilidades se hará realidad. Por una parte, la convicción de que el mundo debe cambiar más radical o más rápidamente es inherente a un enfoque tecnológico; por la otra, la comprensión de que existen factores de comportamiento e institucionales que limitan la tasa a la que el mundo puede cambiar se relaciona a menudo con enfoques económicos y sociológicos. Ambos tipos de enfoques son necesarios, pero ninguno es suficiente por sí mismo para cambiar el mundo; esto es recono-

cido, por ejemplo, en el modelo MEDEE-3, en el cual se incorpora una función correspondiente a la elección del consumidor. Los avances que se logren en los modelos macroeconómicos elaborados para estudiar los problemas de la energía dependen más de que se perfeccionen las especificaciones de las funciones correspondientes al comportamiento que del hecho de descubrir constantes físicas.

LA DEMANDA EN EL PLANO MICROECONÓMICO

La teoría económica tradicional de la demanda es una teoría completa y ha cambiado poco en los últimos años (*cf.* Goldberger, 1967). Se sabe que las principales determinantes de la demanda del *consumidor* son el ingreso y los precios, a los cuales es posible añadir variables especiales relativas a cada situación; por ejemplo: el tamaño y composición de la familia, en la que la demanda es personal, antes bien que basada en el grupo familiar; o el precio y la oferta de bienes sustitutos, cuando éstos son importantes. Las determinantes de la demanda *industrial* se relacionan con los objetivos económicos de la industria, así como con los procesos específicos en que se utilizan los insumos, y pueden ser estudiadas en el marco de un modelo global de la producción industrial, llamada función de producción, o en el de modelos de procesos específicos de alguna industria. Debido en especial a la escasez crónica de energía de los países en desarrollo, recientemente surgió una prometedora área de investigación: los efectos de la calidad de la oferta de energía sobre la demanda (Munasinghe y Schramm, 1983). En este trabajo, analizaremos los modelos de demanda del consumidor.

Aunque la teoría de la demanda ya está bien establecida, la estimación de las funciones de la demanda presenta serios problemas, que pueden ser de cuatro tipos (Deaton, 1978; Deaton y Muellbauer, 1980; Wold, 1982).

- Primero: lo que en realidad se observa son las cantidades compradas y vendidas; y, a partir de ellas, es difícil desentrañar las influencias que provienen de los compradores y las que provienen de los proveedores.

- Segundo: las técnicas de regresión disponibles para hacer la estimación restringen las formas funcionales que puede suponerse existen entre la demanda y sus determinantes. Si se requiere utilizar una pequeña medida de influencia, como la elasticidad, la forma funcional se restringe aún más. Es posible utilizar las técnicas gráficas para investigar la forma funcional de las relaciones, pero no siempre son eficaces cuando el número de variables que intervienen es muy grande.
- Tercero: cuando son muchas las variables determinantes que intervienen, existe el problema de desentrañar la influencia relativa de cada una de ellas; a menudo, este problema es difícil y, en ocasiones, insoluble.
- Finalmente, las relaciones entre múltiples variables exigen una gran cantidad de datos y la aplicación de técnicas de regresión que requieren un apoyo relativamente intenso de la computación y que, hasta el surgimiento de la microcomputadora, sólo estaban al alcance de los investigadores que trabajaban en el reducido número de instituciones que contaban con unidades de procesamiento central.

La consecuencia es que, en los países en desarrollo, en una gran proporción de los estudios de la demanda de energía se aplican métodos de dos variables en los que se utilizan la tabulación y las gráficas bidimensionales (Desai, 1985; Howes, 1985; Leach, 1985). Esas técnicas son muy productivas cuando se aplican a las encuestas de campo; si una encuesta genera información sobre n características, es posible obtener de ella $n(n-1)/2$ tablas de dos variables —la variación de los intervalos de frecuencia puede aumentar aún más la serie— y es muy probable que al menos unas cuantas de ellas indiquen alguna relación. Así, las técnicas de dos variables son una manera relativamente segura de obtener resultados; pero, por la misma razón, no son muy rigurosas. Siempre existe la posibilidad de que, mediante esas técnicas, se pase por alto alguna relación entre múltiples variables o se obtenga una impresión errónea de tal relación.

Como vemos, ambas técnicas, de dos y de múltiples variables, arrojan aproximaciones cuya calidad también es variable. Durante los últimos sesenta años, los especialistas en estadística y econometría han dedicado grandes esfuerzos al perfeccionamiento de las técnicas de estimación; y si éstas no han alcanzado

un grado más alto de confiabilidad, la dificultad se debe tanto a la complejidad y variabilidad de los fenómenos socioeconómicos como a las propias técnicas. Con todo, abordaremos dos áreas de la investigación que son prometedoras respecto al análisis de los problemas de energía de los países en desarrollo.

La primera de esas áreas es la investigación sobre el problema de la distribución del ingreso del consumidor. Los consumidores no pueden gastar más de lo que ganan durante periodos de tiempo sostenidos; en este sentido, existe una restricción presupuestaria sobre su gasto total. Además, el consumo de diferentes bienes indica relaciones específicas con el ingreso; por ejemplo: si un bien constituye una necesidad, los consumidores pobres gastan en él una proporción más alta de su ingreso que los ricos, y viceversa en el caso de los bienes superfluos, como lo hizo notar Engels en 1857 (Houthaker, 1957). Esta doble observación forma la base de cierta teoría sobre la distribución del presupuesto del consumidor (Pollak y Wales, 1978); en su aplicación a los países en desarrollo, no obstante, también es necesario tomar en cuenta los efectos de los cambios en los precios (Weisskopf, 1971; Sener, 1977). Los efectos del ingreso y de los precios sobre los diferentes grupos de bienes, incluidos los combustibles y la electricidad doméstica, han sido estudiados en los casos de Filipinas, la República de Corea, Taiwan, China y Tailandia (Lluch *et al.*, 1977). En un estudio sobre la India, se estimaron también los diferentes efectos del tamaño de la familia (Ray, 1980). El conjunto de obras mencionadas muestra que el consumo doméstico de energía puede ser considerado como el resultado de una decisión del consumidor respecto a la distribución de su presupuesto; no obstante, en ulteriores aplicaciones a los países en desarrollo, sería necesario modificar los modelos. En particular, no siempre puede suponerse que el límite presupuestario en esos países sea un límite monetario, sino que puede ser un límite en función del tiempo de trabajo o del área cultivable, como lo veremos más adelante en la sección "El transporte". El carácter de los límites puede variar a en los diferentes grados de ingreso; pero lo que debe subrayarse es la necesidad de darle su lugar al consumo doméstico en el ámbito de las decisiones de consumo globales de las unidades familiares.

La segunda de las áreas de investigación mencionadas se refiere al estudio de la familia como una unidad en la que se toman decisiones. Se sabe que, comúnmente, las granjas familiares utilizan más mano de obra por hectárea que las que la contratan

(véase, v. g., Deolalikar y Vijverberg, 1983) y que, entre los recolectores de leña, predominan las mujeres y los niños de la familia (Reddy, 1982; Cecelski, 1984). Es evidente que, entre los distintos miembros de la familia, existen reglas sociales y económicas de consumo y de distribución del trabajo, las cuales son diferentes de las que rigen en una empresa, por ejemplo. Además, esas reglas dependen también del grado de ingresos; en las familias pobres, la distribución del trabajo es muy diferente a la que se hace entre los ricos. Ahora bien, la posibilidad de incorporar a la teoría ese conjunto de observaciones, frecuentes pero dispersas, ha atraído a investigadores de diversas disciplinas, incluidas la economía (Simon, 1957; Pollak y Wachter, 1975; Becker, 1981; Mack y Leigland, 1982; Pollak, 1985), la sociología (Demos y Boocock, 1978), la antropología (Pryor, 1977) y la historia (Laslett, 1972). Todavía no ha surgido un cuadro uniforme de esos diversos enfoques; sin embargo, la recolección de leña puede considerarse como un aspecto de la distribución del trabajo en el seno de la familia, y es verosímil que puedan lograrse avances en su estudio mediante una síntesis de varios enfoques teóricos de la familia.

LAS POLÍTICAS BASADAS EN LA DEMANDA

En principio, la relación entre el uso de la energía y la demanda final puede ser utilizada para reducir la proporción que tiene el gasto en energía en el gasto nacional bruto mediante el desplazamiento del mismo, de componentes de la demanda final con más intensidad de uso de energía, a componentes con menos intensidad. Ello puede hacerse como sigue:

- influyendo en los componentes mismos de la demanda final; por ejemplo: a través de la aplicación de impuestos y subsidios a los bienes finales (esto es, bienes de consumo o de capital);
- influyendo en las determinantes de la demanda final; por ejemplo: mediante la aplicación de impuestos y subsidios al ingreso;
- influyendo en la distribución regional de la demanda final y, así, reduciendo los insumos de transporte; por ejemplo: a través del control de la ubicación.

Los impuestos directos y los indirectos

En aras de la simplicidad, restringiremos esta discusión a los impuestos, pues los subsidios podrían considerarse como impuestos negativos.

Conforme a ciertos supuestos razonables respecto a las preferencias del consumidor, es posible demostrar que un impuesto proporcional sobre su ingreso le parecería mejor que los impuestos sobre los bienes que compra si el ingreso fiscal proveniente de ambos fuese el mismo. Esta conocida proposición de la teoría de las finanzas públicas, junto con el hecho de que un impuesto relacionado con el ingreso puede ser progresivo, es un argumento en favor de una preferencia por los impuestos directos sobre los indirectos (Newbery y Stern, 1985).

En la práctica, no obstante, todos los países confían mucho en los impuestos a los bienes, probablemente más los países en desarrollo que las economías de mercado industrializadas. Esa preferencia se basa en una conveniencia administrativa: a menor número de contribuyentes, mayor facilidad de recaudación; los productores, procesadores o comerciantes gravados con impuestos son menos y ofrecen un blanco más certero que la población en general. La base impositiva para los impuestos directos puede reducirse mediante la introducción de un límite alto a la exención, pero, si una gran parte de la población queda exenta, se agravan los problemas para identificar a nuevos causantes, así como para impedir que los causantes no identificados evadan el pago de impuestos. Además, el ingreso es una base mucho más imprecisa que el volumen de bienes producidos o comercializados.

También pueden darse más razones de peso de la preferencia por el enfoque basado en los bienes; puede argüirse, por ejemplo, que la pobreza provoca una privación indeseable, pero que la privación de ciertos bienes, como los alimentos, el vestido y la vivienda, es una privación más seria que la privación en general; tal es el fundamento del enfoque centrado en las necesidades básicas. Recíprocamente, puede argüirse que la privación de ciertos bienes, como las bebidas alcohólicas, no es grave para nadie y que la reducción en el consumo de bienes superfluos no es grave para los ricos. Este argumento puede constituir la base para aplicar los impuestos a los bienes superfluos y los subsidios a los básicos; sin embargo, no es fácil limitar tales impuestos y subsi-

dios específicos a una clase de ingreso específica; afectan a todos los compradores por igual, ricos o pobres.

Un subsidio a los bienes básicos presenta un inconveniente más, esto es, que en su aplicación no se toma en cuenta el hecho de que, a medida que una persona o familia consume más de esos bienes, las cantidades adicionales de los mismos se vuelven menos esenciales. De manera ideal, un subsidio a un bien básico debería ser específico para el consumidor pobre y aplicarse únicamente a cierta compra mínima. La mejor manera de aproximarse a esa situación ideal es mediante el racionamiento, el cual asegura una cantidad mínima fija para todos a un precio subsidiado; por lo demás, la restricción que el racionamiento impone a la libre elección del consumidor puede evitarse haciendo que las cuotas de racionamiento sean vendibles y, así, permitiendo que los pobres que no necesitan la ración puedan convertirla en un ingreso del que dispongan libremente. Con todo, aunque el racionamiento es de administración más simple que un subsidio basado en el ingreso personal, exige un aparato administrativo que establezca una relación directa con cada familia; además, el racionamiento de bienes subsidiados provoca la aparición de un mercado paralelo, por lo que la administración debe ser lo suficientemente fuerte como para impedir la fuga de bienes subsidiados hacia el mercado no subsidiado. Por lo tanto, la administración eficaz de los subsidios exige del gobierno un grado de integridad y complejidad que no está al alcance de todos los países en desarrollo.

En todo país hay muchos más consumidores que productores, por lo que hacer felices a los consumidores ayuda a todo tipo de gobierno, ya sea democrático o dictatorial; es por ello que los gobiernos controlan los precios —lo cual implica subsidiar al consumidor a expensas del productor— o subsidian los bienes de consumo. El ingreso fiscal destinado a los subsidios proviene generalmente de los impuestos a las mercancías, ya que es más fácil gravar a un pequeño número de productores (o importadores) que a un gran número de consumidores. Ésa es la razón de que los impuestos y subsidios indirectos, así como los subsidios cruzados, a través del control de precios, se conviertan en la norma en los países en desarrollo, y si los subsidios benefician a los pobres, se torna difícil reducirlos o eliminarlos. De esa mane-

ra, se introducen en la estructura de los precios rigideces que la tornan inútil para la distribución de recursos.

Para evitar ese peligro y poder regular la distribución del ingreso, es necesario pasar de los impuestos y subsidios indirectos a los directos. Es la gente la que es pobre, no los bienes, por lo que es la pobreza de la gente la que debe ser aliviada. Y, si bien es cierto que existen dificultades prácticas —el ingreso es fácil de ocultar y difícil de estimar; los pobres son demasiado numerosos para beneficiarlos directa e individualmente; impuestos y subsidios crean incentivos que reducen su eficacia, etcétera—, también deben existir, no obstante, soluciones prácticas. Los ricos son pocos, y existen ciertas características que los identifican: casas, automóviles, bienes de consumo duradero, educación de los hijos, etcétera; por lo que un índice compuesto de tales características puede ser tan preciso como una estimación directa de su ingreso. Los pobres son muchos, pero los sectores de ellos particularmente vulnerables —por ejemplo: padres solteros, viudas, huérfanos, etcétera— no son muy numerosos y sí fácilmente identificables. El registro del empleo no es una tarea administrativa demasiado difícil, por lo que, cuando todos los que cuentan con un empleo están registrados, la aplicación de un subsidio anual, siempre y cuando se mantenga simple, tampoco es de administración difícil. Estas sugerencias no son necesariamente buenas o de aplicación generalizada; pero sin duda alguna, el desarrollo de métodos que sean mejores, más ingeniosos y prácticos que los impuestos y subsidios indirectos para aliviar la pobreza no está más allá de la capacidad de los investigadores.

Los impuestos sobre las fuentes de energía

En los países en desarrollo son comunes las políticas que afectan los precios de las fuentes de energía, en especial los productos del petróleo y la electricidad. Aunque no siempre son instituidas teniendo en mente la administración de la demanda, sus efectos sobre esta última son evidentes; y, a menudo, imprevistos e indeseables. Generalmente, el gobierno influye en los precios a través de impuestos y subsidios; pero no son raros los controles directos

sobre los precios, en particular cuando las industrias energéticas son de propiedad pública.

Las diferentes fuentes de energía —derivados del petróleo, gas, electricidad, carbón y leña— presentan distintas estructuras de mercado y, por ende, ofrecen diferentes condiciones para gravarlos y subsidiarlos.

Los derivados del petróleo son vendidos por lo general por un reducido número de compañías que extienden sus actividades de distribución hasta el consumidor, al menos en lo que concierne a los combustibles para el transporte; además, constituyen el producto conjunto de las refinerías, por lo que es imposible determinar sus costos de producción con exactitud; de ahí que exista una gran flexibilidad en la fijación de sus precios. La única restricción que tiene la fijación de sus precios relativos consiste en que el patrón de demanda resultante no debe diferir mucho del patrón de oferta de las refinerías. Sin embargo, es posible cambiar los patrones de cada uno de los productos de una refinería, hasta cierto grado, introduciendo cambios pequeños aceptables en las especificaciones de los productos, y también es posible, aunque costoso, cambiar más esos patrones mediante la instalación de procesos auxiliares como el termofraccionamiento catalítico o el fraccionamiento de la viscosidad. Asimismo, es posible equilibrar los patrones de oferta y demanda mediante la importación o exportación de productos refinados. Como vemos, existe una gran libertad de maniobra para fijar de los precios relativos de los productos refinados, así como para gravarlos o subsidiarlos.

Generalmente, la manera como se ejerce esa libertad de maniobra consiste en la aplicación de impuestos a la gasolina —considerando que es utilizada por los ricos, propietarios de autos— y de subsidios al kerosén —tomando en cuenta que es utilizado por los pobres para iluminación—. Ambas aplicaciones ejercen grandes efectos de sustitución. En el caso en que los impuestos a los motores de gasolina son altos, el uso y el desarrollo de esos motores se ven restringidos. Puesto que es posible reducir más el tamaño de los motores de gasolina que el de los de diesel, su uso se podría generalizar más en aplicaciones a pequeña escala —bombas de riego, por ejemplo— si el precio de la gasolina fuese cercano al del diesel. El desarrollo de los vehículos automotores de diesel se ha visto estimulado por los impuestos más bajos que

se aplican a ese combustible; pero, a medida que se igualan, el carácter progresivo del impuesto a la gasolina se erosiona. En este caso, se cuenta con una mejor base para la aplicación de los impuestos, esto es, los vehículos automotores; el paso del gravamen sobre la gasolina al gravamen sobre los vehículos automotores estaría mejor dirigido hacia los ricos y sería más difícil de evitar.

El subsidio al kerosén provoca que aquellos que no son tan pobres lo usen para propósitos menos fundamentales y que el diesel sea adulterado —el diesel puede mezclarse hasta con un 20% de kerosén sin que se noten efectos secundarios—; además, impide el surgimiento de alternativas del kerosén, como la electricidad, que produce una luz de mejor calidad. A diferencia del caso de la gasolina, sería imposible lograr que el subsidio al kerosén fuese más específico desplazando su aplicación al equipo que lo usa, ya que el número de lámparas de kerosén es demasiado grande. Se puede dudar de que la iluminación en sí misma sea una base adecuada para hacer llegar el subsidio a los pobres, pero si así se decidiese, el efecto del subsidio podría hacerse más específico para los pobres mediante cuotas de racionamiento vendibles que darían a éstos acceso al subsidio. Aun en este caso, no obstante, el subsidio al kerosén provocaría que éste sustituyera a otras formas de iluminación, y ese efecto de sustitución únicamente podría evitarse aplicando un subsidio neutro a todos los productos para iluminación (cf. Reddy, 1978).

Cabe preguntarse si no debería aplicarse un impuesto a todos los derivados del petróleo para estimular su remplazo por formas de energía renovables (Lovins, 1977), puesto que el problema que se deriva de preferir el uso de las fuentes de energía no renovables es el relacionado con la equidad intergeneracional, esto es, entre más petróleo se consuma ahora, menor será su disponibilidad para las generaciones futuras. Ahora bien, el efecto directo de un impuesto consiste en no transferir nada de una generación a otra, sino en transferir al gobierno el poder de compra de los consumidores de petróleo durante la misma generación; pero sólo en la medida en que el impuesto reduzca la demanda de petróleo, dirigiéndola hacia otras formas de energía, se logrará realmente la transferencia de ese bien no renovable a las generaciones futuras. Por ende, en los casos en que sea necesario y adecuado, es mejor organizar

directamente la sustitución entre combustibles y aplicar a éstos los impuestos y los subsidios adecuados que simplemente aplicar un impuesto a las fuentes de energía no renovables. Aun más, el hecho de que un país en desarrollo redujera el consumo de petróleo durante una generación no aumentaría la disponibilidad del bien para las generaciones futuras (excepto en el caso de un país productor de petróleo, pero éste es un argumento tanto para importar petróleo como para reducir su consumo). Consecuentemente, no se justifica la aplicación diferenciada de un impuesto al petróleo basada en los argumentos anteriores; sin embargo, la idea de aplicar un subsidio a las fuentes de energía renovables o a los combustibles importados puede tener un fuerte fundamento en ciertas circunstancias nacionales.

A diferencia de lo que ocurre con los impuestos a los derivados del petróleo, la aplicación de gravámenes a otras fuentes de energía no es generalizada ni sistemática. No son raros los impuestos al carbón o la electricidad, pero su propósito se confina por lo general a la captación de ingresos. En cambio, aunque existen los impuestos a la leña y al carbón de leña, cuya quema provoca mucho humo y una gran contaminación, esos impuestos no son muy comunes, por lo que creemos que, en este caso, se desperdicia quizá una oportunidad, ya que sería fácil gravar los cargamentos de combustible a su ingreso a la ciudad y, así, la aplicación diferenciada de impuestos a la leña y al carbón de leña podría utilizarse para estimular el uso de carbón vegetal y de carbón bituminoso.

La fijación de precios

En muchos países en desarrollo, el Estado posee la propiedad completa, o una gran parte de ella, de las principales industrias productoras de energía, como son las del carbón, el petróleo y la electricidad; incluso donde no es así, la estructura de mercado de esas industrias obliga al gobierno a intervenir a menudo en la determinación de los precios; por ello, la fijación de éstos es el instrumento más utilizado para la administración de la demanda en esos países (Munasinghe, 1983). No obstante, el uso de ese

instrumento se ha viciado debido a que los precios se fijan basándose en un promedio de los costos históricos.

Entre otras cosas, la fijación de precios basada en un promedio de los costos provoca estímulos erróneos (o negativos) en los productores. Una vez que los precios dejan de ser un indicador de los requerimientos de inversión, es necesario tomar en consideración otros factores. Es común el hecho de que, cuando disminuyen las ganancias o cuando se presenta un exceso de demanda, los costos promedio sean inferiores a los marginales, por lo que los precios establecidos sobre la base de los costos promedio son demasiado bajos para justificar la inversión que haría crecer la capacidad en la misma proporción que la demanda. Para convencer a las empresas de que inviertan lo suficiente en tales circunstancias, los gobiernos introducen diversos incentivos a la inversión; por ejemplo: tasas de interés bajas y estables, cuotas altas de depreciación e inversión y subsidios cruzados a la producción de alto costo. Todos esos incentivos distorsionan el patrón de inversión en favor de las industrias que se ven favorecidas con ellos y, dentro de esas industrias, en favor de las tecnologías y proyectos de uso intensivo de capital.

La fijación de precios basada en los costos históricos provoca un desequilibrio entre las reservas de depreciación y los fondos de inversión necesarios para remplazar equipos. Cuando aumentan los precios del equipo, las reservas de depreciación no son suficientes para cubrir las necesidades de remplazo, lo que provoca entonces que la inversión requiera incentivos del tipo antes descrito. En el caso opuesto, menos común, la depreciación excede los requerimientos de remplazo.

En el caso de las fuentes de energía a gran escala, la fijación de precios geográficamente uniforme favorece a aquellas cuyos costos de transporte son bajos; por ello, es probable que las prácticas de fijación de precios hayan contribuido a que el petróleo penetrara en los mercados del carbón. Recíprocamente, si se hiciera que los costos de transporte se reflejaran en los precios, habría una menor monopolización de los mercados de la energía y una mayor disponibilidad y variedad de fuentes de energía para los diferentes segmentos del mercado.

La fijación de precios y costos menores para la energía que producen las grandes empresas centralizadas reduce la competitividad de las pequeñas empresas descentralizadas productoras de

energía renovable y les impide capturar mercados a los que tendrían acceso en condiciones de competencia más justas. Como se expuso en la sección sobre la demanda agregada, reducir los precios de ciertos bienes en particular no es la mejor manera de ayudar al consumidor o de fomentar la equidad; es necesario apartarse de la fijación de precios basada en los costos promedio y reconsiderar el establecimiento de controles de los precios que cobran los monopolios creados natural o políticamente.

En esas condiciones, la regla de los economistas consiste en la fijación de precios basada en los costos marginales a largo plazo (CMLP) —los costos marginales son aquellos que varían con la producción—. A largo plazo, no obstante, todos los costos se vuelven variables, por lo que la diferencia entre costos promedio y costos marginales a largo plazo reside básicamente en el hecho de que, mientras que en general se entiende que los primeros son los costos que ya se han tenido, los segundos son aquellos que probablemente se tendrán. La principal inferencia de lo anterior es que la estimación de costos debería hacerse con miras al futuro en lugar de basarse en el pasado. Es probable que la diferencia carezca de importancia en el caso de los insumos de adquisición frecuente, como las materias primas; sin embargo, puede ser de gran importancia en el de los bienes duraderos, como la maquinaria. En el caso de las empresas con múltiples productos, la fijación de precios basada en los CMLP implica, además, que los precios de sus productos deban ser al menos iguales a los costos que pueden atribuirse a cada uno de los productos, esto es, que no debe haber subsidios cruzados entre productos. Finalmente, así como las empresas de servicios públicos están obligadas a cargar los costos marginales por lo que venden, también deben estar dispuestas a pagar los costos marginales o evadidos por lo que compran.

Así, aunque la fijación de precios basada únicamente en los CMLP pueda parecer esotérica y sólo inteligible para los economistas más versados, constituye un instrumento importante para acercarse a los precios reales y tiene una serie de implicaciones prácticas, por ejemplo: los precios de los productos deben reflejar los costos de los mismos: los precios deben variar de un lugar a otro para reflejar los costos de transporte; las empresas deben estar preparadas para pagar los costos evadidos por todo lo que compran, y las amortizaciones por depreciación deben basarse

en los costos de replazo, no en los costos que se tuvieron.

Estas reglas no son más complicadas que la fijación de precios basada en los costos promedio; son aplicables y los auditores pueden garantizar su cumplimiento. No son las únicas reglas posibles, y no podemos saber con seguridad cómo funcionarían en la práctica. El hecho es que se requieren nuevas investigaciones sobre los principios de la regulación de precios y sus aplicaciones en la industria de la energía.

La estructura del mercado

Las reglas que acabamos de discutir sirven para poner en vigor precios mínimos que protejan a los pequeños productores de energía; generalmente, la preocupación de los gobiernos es fijar los máximos precios para proteger al consumidor. Las autoridades prefieren la fijación de precios basada en los costos promedio porque la consideran como una fijación de precios basada en los costos mínimos; no obstante, existen muchas maneras de incrementar los precios sin aumentar las ganancias. La inflación de costos no es desusada en los casos en que existen precios controlados, y su remedio debe buscarse, no tanto en el control de precios, sino en la competencia; además, ésta no tiene que existir siempre, ya que a menudo basta la posibilidad de su existencia para mantener bajos los precios (Baumol *et al.*, 1982; Spence, 1983). El medio para mantener bajos los precios debe buscarse en la estructura del mercado, no en el control de precios, y la búsqueda de estructuras de mercado que aseguren una competencia efectiva debe extenderse también a las industrias energéticas.

Uno de los corolarios de la competencia es que el ingreso a ella debe ser libre y que no deben existir favores especiales para una empresa en detrimento de otra; sin embargo, esta condición es violada a menudo en los países en desarrollo. Separar los negocios de la política es virtualmente imposible en cualquier país, pero, en los países en desarrollo, donde los políticos fundan o "capturan" empresas para enriquecerse a sí mismos, o viceversa, es imposible. Es común el establecimiento de empresas estatales para mantener fuera del mercado nacional a las compañías extranjeras o para tratar con ellas en términos de mayor igualdad; pero, una vez establecidas, gozan de una situación de privilegio e impiden el desarrollo de competidores.

Consecuentemente, para que exista una competencia leal, sin importar quién sea el propietario, es fundamental que la relación entre el gobierno y los negocios sea de independencia y no de dominio.

LA AGRICULTURA

La agricultura puede ser considerada como una actividad que produce biomasa útil, la cual puede aprovecharse en una amplia gama de usos: alimentación, forraje, combustible, fertilizante y materia prima industrial. Su producción es tan variada que puede satisfacer la mayoría de las necesidades de la población rural donde se produce. Muchos sistemas agrícolas de los países en desarrollo son autosuficientes en un alto grado (aunque a menudo los propios países no son autosuficientes en agricultura). Los flujos comerciales de los sistemas agrícolas con otras regiones son reducidos, por lo que el costo de la infraestructura necesaria para dar apoyo a dichos flujos, es decir, caminos y suministro de energía eléctrica, es alto. Si bien los costos de la infraestructura varían y son relativamente más manejables para los países de altos ingresos y para las zonas densamente pobladas, representan una restricción importante para el ritmo de desarrollo rural. La tendencia en un país donde se invierte en infraestructura rural es que los resultados sean bajos desde el punto de vista de la producción y el comercio; en uno donde se invierte en infraestructura urbana, el desarrollo de la producción industrial y del comercio puede ser más rápido, pero es posible que se presenten problemas de duplicación entre las zonas urbana y rural y de migración del campo a la ciudad.

Los sistemas agrícolas de los países en desarrollo poseen dos características comunes: una alta proporción de población en la agricultura y un valor reducido de la producción por trabajador, que, a su vez, impone un límite a los patrones de vida rurales. En esos países en desarrollo donde la mayor proporción del consumo de alimentos proviene de cereales y tubérculos, se requieren 0.25 ton/año por adulto de esos productos para que proporcionen una dieta cuantitativa aunque no cualitativamente adecuada, por lo que una producción de una tonelada por trabajador agrícola proporcionaría lo suficiente para, aproximadamente, cuatro adultos o para una familia compuesta por el padre, la madre y tres

hijos. En la práctica, la población agrícola de los países con una producción menor a una tonelada por trabajador agrícola se dedica en una gran medida a la producción de subsistencia, mientras que, en los países con grados muy altos de urbanización e industrialización, la producción por trabajador agrícola es de más de una tonelada.

En el cuadro 4 ofrecemos una lista de los países donde la productividad alimentaria por trabajador agrícola es menor a 1 ton/año. El cuadro es imperfecto; para sumar las raíces y tubérculos a los granos, dividimos entre tres la producción de raíces y tubérculos y dedujimos su equivalente seco aproximado. Las cifras disponibles se referían a todos los trabajadores agrícolas, no a aquellos dedicados a la producción de alimentos, por lo que, para poder comparar ambas cifras, tratamos de estimar los alimentos que serían producidos si toda la tierra agrícola fuese dedicada al cultivo de alimentos: dividimos la producción de alimentos por la superficie dedicada al cultivo de los mismos y la multiplicamos por la superficie dedicada a todo tipo de cultivos. No logramos obtener una estimación directa de esta última, por lo que nos valimos de dos sustitutos imperfectos: la superficie dedicada a los cultivos principales y la superficie en cultivo. Ambos sustitutos constituyen estimaciones incompletas de la superficie dedicada a todo tipo de cultivos, por lo que nuestra estimación de esta última y, por ende, de la productividad alimentaria nacional es menor de lo que debería ser, si bien la subestimación no es demasiado grave. Más serio es el supuesto de que la superficie dedicada a otros cultivos podría rendir la misma producción de alimentos si fuese dedicada a producir cultivos comestibles. Con todo, creemos que, para los propósitos meramente indicativos que nos animan, las cifras que obtuvimos son razonables.

Pero el panorama que revelan no es tan razonable. Excepción hecha de un país de América Latina (Haití) y cuatro de Asia (Bangladesh, Bhutan, Nepal y Vietnam), todos los países de baja productividad agrícola se encuentran en África, dispersos por todo el continente. Otros cinco países africanos (Chad, Comores, Costa de Marfil, Malawi y Zaire) tienen una productividad de entre 1 y 1.1 toneladas.

Sin duda alguna, el cuadro 4 no es exhaustivo, pues las cifras de la parte superior son tan bajas que las familias no podrían sostenerse únicamente con la producción agrícola; es evidente,

CUADRO 4. Productividad potencial por trabajador agrícola expresada en función de la productividad alimentaria y de la superficie cultivada, 1983

<i>País</i>	<i>Trabajadores agrícolas (miles) [1]</i>	<i>Producción alimentaria ponderada (miles de toneladas)^a [2]</i>	<i>Productividad alimentaria [3 = 2/1]</i>	<i>Superficie con cultivos alimentarios (miles de hectáreas) [4]</i>	<i>Superficie cultivada^b (miles de hectáreas) [5]</i>	<i>Superficie cultivable^c (miles de hectáreas) [6]</i>	<i>Productividad potencial I^d (toneladas) [3 × 5/4]</i>	<i>Productividad potencial II^e (toneladas) [3 × 6/4]</i>
Botswana	315	31.0	0.099	164	166	1 360	0.100	0.820
Mauritania	436	54.5	0.125	173	174	208	0.125	0.150
Cabo Verde	59	9.8	0.166	15	17	40	0.188	0.443
Lesotho	604	148.8	0.246	154	154	298	0.246	0.476
Somalia	1 563	261.7	0.167	344	536	1 116	0.260	0.542
Gambia	239	65.8	0.275	87	90	160	0.284	0.506
Mali	3 416	975.2	0.285	1 789	1 899	2 058	0.303	0.328
Bután	619	186.9	0.302	132	136	98	0.311	0.224
Burkina-Faso	3 117	1 219.7	0.391	2 559	2 658	2 633	0.406	0.402
Guinea	1 867	687.2	0.368	637	708	1 574	0.409	0.909
Haití	1 981	694.4	0.351	783	947	897	0.425	0.402
Mozambique	2 560	983.0	0.384	1 535	1 808	3 080	0.452	0.771
Swazilandia	190	62.1	0.327	66	98	138	0.486	0.684
Rwanda	2 394	1 139.8	0.476	736	791	1 034	0.512	0.669
Burundi	1 746	1 104.2	0.632	850	900	1 306	0.669	0.971
Nepal	6 612	4 506.0	0.682	2 543	2 605	2 332	0.699	0.625
Kenya	5 248	3 278.5	0.625	2 890	3 349	2 310	0.724	0.500
Liberia	532	358.0	0.673	307	367	371	0.805	0.813

Tanzania	6 269	5 211.8	0.831	4 460	5 210	5 200	0.971	0.969
Bangladesh	26 804	23 598.3	0.880	11 669	12 889	9 136	0.972	0.689
Vietnam	17 703	16 569.0	0.936	7 413	7 737	7 585	0.977	0.958

^aLa producción de cultivos alimentarios fue sumada en miles de toneladas. Las raíces y tubérculos fueron estimados en 0.3 veces el tonelaje de otros cultivos alimentarios, en proporción con su bajo contenido de calorías por unidad de peso.

^bSuma de todas las superficies dedicadas a los cultivos listados en FAO, 1984, sobre las que había cifras disponibles. La información sobre la superficie con cultivos de frutos y nueces no estaba disponible.

^cSuperficie definida por la FAO, 1984 (cuadro 1), como tierra cultivable más tierra con cultivos permanentes. La tierra cultivable se define como "tierra con cultivos temporales (las superficies de doble cosecha son consideradas una sola vez^b), pastizales temporales para siega o pastura, tierra dedicada al cultivo de hortalizas comerciales y familiares (incluidos los cultivos en invernadero) y tierra temporalmente en barbecho u ociosa"; FAO, 1984:3.

^dProductividad potencial I = productividad alimentaria x superficie en cultivo/superficie con cultivos alimentarios.

^eProductividad potencial II = productividad alimentaria x superficie cultivable/superficie con cultivos alimentarios.

Fuente: Compilado a partir de FAO, 1984.

por lo tanto, que los trabajadores agrícolas de esos países se dedican verosímelmente a otras actividades también y que deben de contar con otras fuentes de alimentación; la cría de ganado doméstico, por ejemplo.

Sea lo que fuere, las cifras de productividad de muchos países africanos —y algunos asiáticos— parecen extremadamente bajas y, con tan bajos niveles de productividad, no existen muchas esperanzas de que puedan reestructurar su economía. El aumento de su productividad agrícola debe ser una de las principales prioridades de esos países, así como de la investigación.

En cualquier caso, una vez que se alcance la productividad de 1 ton/año, la agricultura no debe dejar de ser un área prioritaria. Gran número de países densamente poblados que se encuentran en vías de industrialización —China, Egipto y la India, por ejemplo— muestran productividades de entre 1 y 2 ton/año; para ellos, es muy importante que se siga impulsando a la alza el grado de productividad.

Los patrones de vida bajos provocan que la población rural sea sensible a la atracción urbana cuando la demanda de mano de obra aumenta en las ciudades. La migración a las áreas urbanas no es indeseable en sí misma, pues constituye una de las principales causas del aumento general de la productividad y de los patrones de vida y es característica del desarrollo de todos los países industrializados. No obstante, cuando el aumento del empleo urbano se ha dado en el sector de los servicios antes bien que en el de la producción de bienes, algunos países han experimentado una caída de la producción agrícola sin un aumento compensatorio de otros tipos de producción y, consecuentemente, una creciente dependencia de las importaciones de alimentos; además, el empleo urbano sólo se ha distribuido en la forma de empleo de tiempo parcial entre los migrantes rurales. Por lo tanto, un aumento sostenido de la producción agrícola por trabajador hace más practicable el desarrollo.

Ahora bien, todo aumento de ese tipo implica consecuencias para la demanda de mano de obra: un incremento de la productividad del trabajo reduciría los requerimientos de mano de obra y provocaría un desempleo creciente, a menos que la producción total aumentase. Por otra parte, un incremento de la productividad provocaría normalmente un aumento del ingreso real, de la demanda total de bienes y servicios y de la producción y el empleo. Pero

sus efectos positivos y negativos sobre el empleo no tienen por qué ser excluyentes, ni se producen siempre en el mismo lugar; de ahí que sería necesario investigar las consecuencias que tendría para el empleo el aumento de la productividad y tomarlas en consideración en cualquier programa de desarrollo.

Más aún, el aumento de la producción y de la productividad podría tener serias consecuencias para la distribución del ingreso. La agricultura es una industria de uso intensivo de tierras y, salvo en los países socialistas, la propiedad de la tierra no es comunal ni está distribuida en partes iguales. En los casos en que la propiedad de la tierra es desigual y la mano de obra asalariada lo común, los beneficios del aumento de la productividad irían a los propietarios de la tierra, a menos que los salarios aumentasen también de manera concomitante o se aplicara alguna otra forma de redistribución (de la tierra, por ejemplo). Así, vemos que el desarrollo agrícola puede provocar un grave deterioro de la distribución del ingreso, por lo que siempre es necesario estudiar y tomar en consideración las consecuencias que los programas de desarrollo puedan tener para la distribución del ingreso.

En los últimos años, el aumento de la productividad agrícola en gran número de países en desarrollo se ha visto acompañado por rápidos incrementos en el consumo de energía comercial, en especial de petróleo. Esa dependencia del petróleo ha provocado que los sistemas agrícolas se vuelvan tan vulnerables a los trastornos externos como otros sectores de la economía y ha hecho de la agricultura una parte del problema global de la formulación de políticas para hacer frente a tales trastornos.

Los tipos de insumos energéticos

En un gran número de estudios anteriores, los insumos energéticos para la agricultura son presentados en forma agregada; en algunos, la producción de la agricultura también es presentada en forma agregada en función de la energía (véase, *e. g.*, Makhijani y Poole, 1975; Leach, 1976; Pimentel, 1980). Esos estudios altamente agregados muestran que los sistemas de producción de alimentos que han logrado una alta productividad de la mano de obra han requerido también altos insumos de otros tipos de energía para la

producción. Es probable que la elaboración de análisis más detallados permita llegar a conclusiones más precisas (*cf.* Smil *et al.*, 1983), pero también es necesario que las nuevas formulaciones conceptuales y los nuevos modelos vayan más lejos para que el análisis del uso de la energía en la agricultura sea más fructífero.

Quizá el punto de partida de esa formulación debería ser la desagregación de la información sobre los procesos agrícolas y sobre los insumos energéticos inherentes a ellos; Reddy (1985) desarrolló y aplicó al cultivo del arroz una metodología que desagrega los procesos e insumos. Cuando nos referimos a los sistemas agrícolas en general, debemos distinguir primero entre los insumos energéticos directos y los indirectos —el más importante entre los segundos es la energía utilizada en el riego, en los fertilizantes y en los pesticidas—; además, los insumos energéticos directos pueden ser divididos en insumos móviles y estacionarios. El tipo de insumo determina las posibilidades de sustitución entre combustibles y entre insumos y la totalidad de los procesos, junto con las posibilidades de sustitución en cada uno de ellos, determina las opciones tecnológicas disponibles.

Los insumos no medidos

La agricultura depende esencialmente de insumos naturales, esto es, de la absorción de energía solar, bióxido de carbono, nitrógeno y agua provenientes del medio ambiente. Medir esos insumos sólo sería posible en condiciones experimentales sometidas a un estricto control, por lo que la mayoría de quienes elaboran estudios agrícolas no llevan a cabo la medición de dichos insumos y únicamente trabajan desde el punto de vista de modelos parciales.

Hace ya mucho tiempo que se reconoció la existencia de insumos no medidos y no controlados y, para poder analizarlos, se desarrollaron técnicas estadísticas de análisis de factores. Dicho de manera simple, es posible aislar la influencia de esos factores e investigar por separado si sus variaciones se reflejan en muestras diferentes; después, las variaciones entre éstas son utilizadas para estudiar el efecto de los factores no controlados y las variaciones de cada una, para deducir el efecto de los controlados.

La conclusión que puede extraerse de lo anterior es que resulta de utilidad que en los estudios agrícolas se abarque una amplia gama de variaciones y se clasifiquen las observaciones para hacer

resaltar el efecto de las variables no controlables, como el clima y los suelos. Existe cierto tipo de colaboración entre los estudios microeconómicos y macroeconómicos que exclusivamente esos mismos estudios pueden pasar por alto, lo cual ocurre con los estudios sobre la energía utilizada en la agricultura. Si bien, para un investigador o un pequeño equipo de investigadores, es más fácil manejar estudios sobre un solo pueblo o una entidad más pequeña y obtener fondos más fácilmente también para ese tipo de estudios, llevar a cabo una gran cantidad de estudios simultáneos y comparables en circunstancias variables sería más ilustrativo (*cf.* Dumont, 1957).

Los tres principales sistemas de producción de alimentos del mundo —la agricultura cerealera de temporal del continente euroasiático, la agricultura de tubérculos perennes del África húmeda, del sudeste de Asia y del Pacífico y la agricultura de cereales secundarios de temporal del África árida— constituyen un eje de variación que se ha pasado por alto en la investigación agrícola. El sistema euroasiático, desarrollado a través de milenios, ha sido adaptado a una amplia gama de hábitats y sus tecnologías también se han diversificado como resultado de su mecanización en los países industrializados. En cambio, los otros dos sistemas han permanecido estancados en cuanto a tecnología y productividad se refiere y se encuentran en declinación ante la competencia de los productos del primer sistema. La disminución de la producción agrícola en algunas regiones de África y el aumento de las importaciones de alimentos por parte de los países africanos y algunos del Pacífico son un reflejo de ese estancamiento tecnológico. Por ello, las posibilidades de adaptación y mejoramiento de los sistemas agrícolas periféricos constituyen un área de investigación de enorme trascendencia para un gran número de países en desarrollo.

Los insumos móviles

Los insumos móviles son los que se requieren para la preparación del suelo, la siembra, la escarda, la dispersión de estiércol, fertilizantes y pesticidas, la cosecha y el transporte de la producción. En esas operaciones, el trabajo humano es fundamental para dirigir las y tomar decisiones, pero, en las tareas físicas, puede ser

reemplazado por equipos mecánicos o de tracción animal y, así, aumentar su productividad.

Cuando la duración de la temporada agrícola la determinan el clima o la sucesión de varias cosechas, la disminución del tiempo que se emplea en la preparación del suelo y en las cosechas puede aumentar los rendimientos. Consecuentemente, esas operaciones tienden a concentrar los requerimientos máximos de insumos energéticos, y su aceleración puede aumentar las ganancias.

El empleo de animales en el labrado de la tierra acelera la preparación del suelo, y ésa es su utilización principal en la mayoría de los sistemas agrícolas. Si bien las primeras segadoras de Estados Unidos eran tiradas por caballos, el empleo de dispositivos de tracción animal es prácticamente desconocido en los países en desarrollo; los animales son empleados, sobre todo, en las operaciones previas a la cosecha (y para trillar, en algunas regiones) y su utilización alcanza un máximo muy marcado durante esa temporada.

Los insumos de trabajo humano muestran dos máximos: durante la siembra y durante la cosecha. Por ello, ésas fueron las primeras operaciones para las que se desarrollaron dispositivos mecánicos —en la forma de tractores y segadoras combinadas, respectivamente— con el objeto de elevar la productividad humana en los países industrializados. Los tractores y, menos comúnmente, las segadoras han sido introducidos en algunas regiones de los países en desarrollo, en particular en Brasil, China, la India y Turquía.

Los efectos de la mecanización sobre el uso de la mano de obra son diferentes, según si es introducida en las operaciones de máxima demanda de trabajo o en las de demanda menor a la máxima. En todas las operaciones reduce los requerimientos de horas/hombre, pero no libera trabajadores si es introducida en operaciones de demanda de trabajo menor a la máxima. No obstante, si la mecanización es introducida en las operaciones de máxima demanda de trabajo, libera trabajadores durante todo un año. En otras palabras, la mecanización utilizada en operaciones de demanda de trabajo menor a la máxima provoca un desempleo de temporada, mientras que la mecanización empleada en operaciones de máxima demanda de trabajo provoca un desempleo permanente. Ésa es la razón de que los tractores y las segadoras hagan surgir temores de desempleo que no provocan otras formas de mecanización. La mecanización de las operaciones de máxima

demanda de trabajo puede elevar la productividad por trabajador de una manera que no puede hacerlo la mecanización de otras operaciones, pero para que se logre ese aumento de la productividad, es necesario que la plusvalía producida por los trabajadores sea absorbida en empleos creados por los incrementos en la producción o en alguna otra área.

Como antes se indicó, un aumento de la productividad provocará un aumento del ingreso, de la producción y del empleo reales y tenderá a compensar los efectos de desplazamiento de mano de obra de la mecanización, de ahí que los efectos directos de la mecanización, que siempre desplazarán mano de obra, puedan ser diferentes de sus efectos totales. Por ello no es sorprendente que el gran volumen de investigación que se ha hecho sobre esta área no sea conclusivo (véase, e. g., Hayami y Ruttan, 1971; Poleman y Freebairn, 1973; International Labour Organization, 1974; Binswanger, 1978; Berry y Cline, 1979). A pesar de que mucho se ha hecho en esta área de investigación, la misma podría beneficiarse de estudios nuevos basados en una conceptualización de los efectos directos e indirectos de la mecanización.

Las posibilidades de la mecanización agrícola se ven restringidas por la topografía, las características del suelo y el suministro de agua; por ejemplo: la tierra plana con suelos ligeros o quebradizos es más fácil de arar mecánicamente. Las diferencias en esos factores de la tierra provocan un desequilibrio en la expansión de la mecanización, por lo que la adaptación de sistemas tecnológicos a la diversidad de condiciones locales de los países en desarrollo exige aplicaciones generalizadas de la investigación.

Las interrelaciones del diseño de equipo, condiciones de labranza y desempeño del equipo ya han sido estudiadas y han llevado a mejoras progresivas en el diseño de tractores, segadoras e implementos de labranza; además, debido al aumento de los precios del petróleo, se añadió el rendimiento del equipo a los parámetros en estudio (Taylor, 1977). En cuanto al tema de los animales de tiro y los aperos de labranza, los estudios comparables con los anteriores son muy escasos y poco conocidos (*cf.* Ramaswamy, 1979; Ward *et al.*, 1980).

Finalmente, la labranza en sí misma constituye un insumo de la agricultura que puede mejorarse al máximo. También en este caso, debido al aumento de los precios del petróleo, las posibilidades de reducir el insumo de labranza han provocado que la atención se

dirija mucho hacia los sistemas agrícolas mecanizados (cf. Wittmus *et al.*, 1975). Sin duda alguna, en los sistemas agrícolas de los países en desarrollo existen posibilidades similares de mejorar al máximo la labranza, y esas posibilidades exigen ser exploradas.

Los insumos estacionarios

Las actividades agrícolas posteriores a la cosecha son estacionarias, por lo que sus insumos de energía pueden llamarse insumos estacionarios. De entre ellas, las de uso intensivo de energía son tres operaciones poscosecha: el secado, el trillado y la molienda.

De esas tres, el trillado y la molienda son operaciones mecánicas similares a la del bombeo por aspiración y pueden utilizar las mismas formas de energía. El número de investigaciones que se han hecho sobre ellas es mucho menor que el de las efectuadas sobre el riego, pero todas las tecnologías y formas de energía para el bombeo son aplicables a esas operaciones. En la próxima sección discutimos más detalladamente el bombeo; la discusión sobre las secadoras solares se encuentra en el capítulo IX.

Los insumos indirectos

Los insumos indirectos consisten en la energía consumida para producir los bienes y servicios utilizados, en este caso, en la agricultura. Los principales son el agua, los fertilizantes y los pesticidas. Una manera de reducir los insumos energéticos indirectos consiste en incrementar la respuesta, en rendimiento, al agua y otros insumos. La diferencia entre las respuestas reales y las obtenidas en experimentos controlados es tan grande que, aparentemente, es posible lograr mejoras sustanciales mediante la introducción de cambios en los métodos y en el momento oportuno de su aplicación (véase, por ejemplo, Rogers, 1983).

El uso de la energía en el riego es un campo que atrae mucho a los investigadores (Meta Systems Inc., 1980; Bhatia, 1984a y 1984b). Para el riego mediante bombeo por aspiración, existe un gran número de tecnologías opcionales que pueden emplear combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y energía eléctrica, solar y eólica; algunas de esas formas de energía, como la solar y la eólica, dependen de las condiciones ambientales locales; cada tecnología presenta diferentes variaciones de escala y costos de capital depen-

dientes del factor de escala; y la profundidad y volumen de los mantos acuíferos, en fin, varían de un lugar a otro, al igual que los precios. En esas circunstancias, establecer una clasificación de las tecnologías adecuadas para cada combinación de condiciones constituye una tarea prácticamente imposible, por lo compleja. En los numerosos análisis de costos-beneficios que se han hecho, se adoptan diferentes enfoques para estudiar ese intrincado conjunto de factores, pero no bastan para ordenarlos de manera que sean manejables. Quizá sería mejor si, en lugar de tratar de definir por adelantado los segmentos de mercado para cada tecnología, se permitiera que cada una de ellas se adueñara de su propio segmento en competencia con las otras. Si tuvieran que hacerlo así, no sería necesario eliminar las distorsiones de mercado introducidas por una fijación de precios económicamente ineficaz, como la fijación de precios basada en los costos promedio de la electricidad. Por lo tanto, los estudios sobre la fijación de precios basada en las políticas son un requisito para que surjan mejores estructuras de mercado en lo que al riego se refiere.

Existe otro conjunto de factores que no es posible abordar en los estudios sobre riego para usuarios individuales: la escala óptima y la distribución espacial de los dispositivos de riego. De manera general, el riego por gravedad es más barato y de uso menos intensivo de energía que el riego mediante bombeo por aspiración —aunque sólo cuando se utiliza en una escala mucho mayor, además de que también suele ser menos eficaz debido a una falta de correspondencia entre la oferta y la demanda de agua—; por otra parte, la mayoría de los dispositivos de bombeo por aspiración están sujetos a economías de escala, algunos más que otros, pero existen límites para el tamaño de todos; finalmente, entre más profundo sea el manto freático, más alto será el mínimo de energía requerido para bombear el agua. Estos tres factores exigen una distribución espacial óptima de los dispositivos de riego que casi nunca se realiza en la práctica, pero que podría lograrse mejor mediante prácticas correctas de fijación de precios. Vemos, en este caso, que la fijación de precios del agua y las reglas de su distribución son de consecuencias tan importantes para el uso eficaz de la energía como la fijación de precios de esta última, y ésta es un área de investigación que ha sido grandemente descuidada.

Las políticas energéticas relacionadas con la agricultura

Cuando se formula una política, es necesario combinar los insumos energéticos de la agricultura (cuya clasificación acabamos de ofrecer) en opciones tecnológicas y elegir o provocar que se elija de entre ellas al nivel agregado (véase, en Reddy, 1985, la descripción y aplicación de una metodología para hacerlo). A menudo, la elección se relaciona con las fuentes de energía —por ejemplo: la decisión de mecanizar implica la sustitución de la energía humana o animal por la mecánica—, pero, si bien, en el plano de la unidad de producción, implica fundamentalmente la sustitución entre combustibles, cuando sus consecuencias para el empleo total, la balanza de pagos y el uso de recursos energéticos son macroeconómicas, exige la formulación de una política.

En el caso de la agricultura, también es posible diseñar las políticas para aumentar la eficacia en el uso de la energía. A este propósito, son tres las áreas que se presentan como prometedoras:

i) Primero: buscar la manera para incrementar la productividad de la tierra, ya que ello, a su vez, aumenta los rendimientos de todos los insumos energéticos relacionados con la superficie cultivada: insumos para la labranza, para la aplicación de fertilizantes y pesticidas y para el riego.

ii) Segundo: buscar los medios para aumentar el rendimiento de los insumos energéticos indirectos, en especial del agua y los fertilizantes. Existe una amplia diferencia entre la eficacia promedio y la eficacia óptima del riego (Bos y Nugteren, 1974): el riego en gran escala mediante canales que se practica en los trópicos implica a menudo grandes pérdidas por evaporación y filtración aun antes de que el agua llegue a la unidad de producción; en la unidad de producción misma, la técnica de aplicación del agua ejerce un efecto importante en su efectividad; por otra parte, la política de muchos países en desarrollo de fijar precios bajos al agua alienta su uso ineficaz. En cuanto a los fertilizantes, el desarrollo de abonos altamente concentrados solubles en agua (la urea, principalmente) ha aumentado la eficacia de la absorción de nitrógeno hasta el 50% o más; no obstante, la absorción de fósforo por el primer cultivo es en general inferior al 10% y la del potasio, de entre el 20 y el 40%; y, aunque la absorción total es

más alta debido a la retención de fósforo y potasio en el suelo, aún es posible lograr mejoras importantes en la absorción total de fertilizantes (Food and Agriculture Organization, 1978). Por lo demás, la aplicación generalizada de subsidios también puede alentar el uso ineficaz de los fertilizantes.

iii) Finalmente, el aumento de la eficacia en el uso de los insumos energéticos indirectos, en particular el agua, los fertilizantes y los pesticidas, depende estrechamente del desarrollo de variedades de cultivos que puedan aprovecharlos eficazmente y de la química del suelo, por lo que la investigación de esos tres factores —energía, variedades de cultivos y suelos— debe estar estrechamente coordinada. La investigación biotecnológica para aumentar los rendimientos y la intensidad de uso de la tierra es particularmente prometedora como un medio para la conservación de la energía.

LA INDUSTRIA

Respecto a la variedad de fuentes de energía, así como a los procesos y dispositivos en los que se utilizan, la industria presenta una mayor flexibilidad que otros sectores. En el transporte, la necesidad de hacer vehículos ligeros, rápidos y seguros ha llevado al predominio de los motores de combustión interna y, también, la investigación se ha concentrado en ellos. Por otra parte, si bien es cierto que el tamaño de los aparatos domésticos que usan energía se ve restringido por el tamaño de las casas mismas, en la industria, en cambio, el uso de la energía no se ve tan constreñido por consideraciones de tamaño o movilidad del equipo y, correspondientemente, la gama de opciones disponibles para la conservación de la energía y la sustitución entre combustibles también es mayor en la industria.

Los productores de los países industrializados, en particular las empresas más grandes, realizan una intensa labor de investigación sobre sus tecnologías y procesos, incluidas las opciones relacionadas con la energía. Algunos de los resultados de esa investigación son patentados; otros, forman parte del equipo que esas empresas producen, y la información sobre los mismos es puesta a la disposición de los compradores potenciales. En oca-

siones, parte de la información es publicada en revistas industriales y actas de conferencias. En sí misma, la información publicada es voluminosa, en especial la referente a las industrias de uso intensivo de energía, como la del acero y la del cemento, por lo que evaluarla en el tiempo y con los recursos disponibles para el grupo habría sido imposible.

Consecuentemente, nos limitamos a revisar tres tipos de investigación. Primero, la investigación que presupone poco o ningún conocimiento específico de la industria y que aborda medidas generales de administración de la demanda, ya discutidas en este capítulo. Segundo, la investigación sobre los tipos de equipo que usan y los que almacenan energía, área de investigación que, en nuestra opinión, es muy prometedora para los países en desarrollo. El campo de estos dos tipos de investigación se extiende más allá del relacionado con la industria, por lo que los abordamos en el siguiente capítulo. Finalmente, revisamos la investigación sobre la intensidad de uso de la energía de las industrias, la cual presentamos a continuación.

Las industrias de uso intensivo de energía

Los materiales de uso intensivo de energía han sido identificados, tomando en consideración tanto los requerimientos directos de energía como los indirectos, sobre la base de los coeficientes de insumo para Estados Unidos; de ellos, en el cuadro 5 listamos los de uso más intensivo de energía. Los materiales de uso intensivo de energía son definidos como bienes relativamente homogéneos cuyos procesos de producción directos e indirectos requieren cantidades extraordinariamente grandes de energía primaria (Strout, 1985). El consumo mundial anual de energía de esos materiales fue calculado aplicando el supuesto de que los coeficientes de energía de Estados Unidos aplican a todo el mundo; conforme a ese supuesto, el consumo anual de energía de dichos materiales correspondió al 27% del consumo mundial de energía comercial. De un análisis de los coeficientes de energía de esos materiales, se deduce que la concentración de los esfuerzos de conservación de la energía en las industrias que producen materiales de uso intensivo de la misma o el desplazamiento del patrón

de demanda hacia otros materiales contribuirían rápida y significativamente a la reducción de la intensidad total de uso de la energía en la producción; asimismo, que el reciclamiento de los materiales de uso intensivo de energía reduciría de manera similar la intensidad total de uso de la energía.

Sin duda alguna, tales medidas serían de interés para gran número de países en desarrollo, ya que, en los países industrializados, el consumo per cápita de los diez materiales de uso más intensivo de energía durante el periodo 1979-1980 fue de entre 1 y 2 ton/año, mientras que, en los países en desarrollo con un ingreso per cápita inferior a 1 000 dólares estadounidenses, fue por lo general de 100 kg o menos. La elasticidad de los materiales de uso intensivo de energía con respecto al ingreso tiende a disminuir finalmente, pero ese efecto sólo es evidente a altos niveles de ingreso. La producción de materiales de uso intensivo de energía en una escala lo suficientemente grande como para elevar el consumo per cápita de los países en desarrollo a los niveles corrientes de los países industrializados implicaría un incremento tan grande del consumo mundial de energía que, verosíblemente, el ahorro tanto de materiales de uso intensivo de energía como de esta última tendría que formar parte de la estrategia de crecimiento de los países en desarrollo.

Aunque puede suponerse que todos aquellos bienes industriales que son de uso intensivo de energía en los países industrializados también lo serán en los países en desarrollo, su importancia relativa variará de un país en desarrollo a otro; por ende, la lista de industrias en las que deberán concentrarse las medidas de conservación y sustitución tendrá que ser elaborada de manera individual para cada uno de esos países. Además de los materiales de uso intensivo de energía, la lista bien podría incluir industrias que, aun cuando no sean de uso intensivo de la misma, debido a su mayor tamaño consumen una alta proporción de la energía utilizada en el país; por ejemplo: alimentos y bebidas, o textiles, en el caso de muchos países en desarrollo.

Lo que no puede suponerse es que la intensidad de uso de la energía en una industria será la misma tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo. La tecnología varía de un país a otro y de una planta a otra, por lo que es necesario elaborar las estrategias de conservación y de sustitución en el contexto de la industria local. Existe una gran cantidad de inves-

CUADRO 5. Producción mundial de los principales materiales con alto consumo de energía (1 000 t), 1969-1971 (medias de 3 años) y 1979-1980 (medias de 2 años)

<i>Grupo de bienes</i>	<i>Coficiente de energía</i>	<i>Producción anual promedio</i>		<i>Uso de energía anual promedio^a</i>		<i>Razón 1979-1980 a 1969-1971</i>
	<i>(tce/t)^b</i> <i>[1]</i>	<i>1969-1971</i> <i>[2]</i>	<i>1979-1980</i> <i>[3]</i>	<i>1969-1971</i> <i>[4 = 1 x 2]</i>	<i>1979-1980</i> <i>[5 = 1 x 3]</i>	<i>[5/4]</i>
Productos refinados del petróleo	0.21	2 186 004	2 982 677	459 061	626 362	1.364
Pulpa de madera	0.99	101 216	124 922	100 204	123 673	1.234
Papel y cartón	0.40	127 291	174 250	50 916	69 700	1.369
Fertilizantes químicos (NPK)	0.77	71 484	121 796	55 043	93 783	1.704
Insecticidas, fungicidas, etc.	3.63	1 620	2 760	5 881	10 019	1.704
Plásticos y resinas ^c	5.38	29 294	58 599	157 602	315 263	2.000
Caucho sintético	5.46	5 015	9 022	27 382	49 260	1.799
Fibras sintéticas celulósicas	8.10	3 510	3 279	28 431	25 560	0.934
Fibras no celulósicas	9.45	5 097	10 413	48 167	98 403	2.043
Cemento hidráulico	0.32	570 333	861 902	182 507	275 809	1.511
Ladrillo de construcción ^{cd}	0.26	473 766	442 133	123 179	114 955	0.933
Productos de acero ^e	1.87	582 033	723 649	1 088 402	1 353 224	1.243
Cobre primario	4.47	7 394	9 394	33 051	41 991	1.270
Plomo primario ^f	1.10	3 923	5 580	4 315	6 138	1.422
Zinc primario	3.04	5 208	6 296	15 832	19 140	1.209

Aluminio primario	8.97	10 217	15 613	91 646	140 049	1.528
Magnesio primario	13.55	220	371	2 981	5 027	1.686
Estaño primario	1.42	220	234	312	332	1.064
Uso total de energía en 17 grupos de bienes sin consumo de combustible				2 015 851.0	2 743 326.0	1.361
Porcentaje de producción mundial total de energía primaria				26.9	26.8	0.996
Producción mundial total de energía primaria ^g				7 504 410.0	10 254 408.0	1.366

^aEn el supuesto del uso de tecnología, estructura industrial, mezcla de productos e importancia relativa de productos intermedios importados, todo estadounidense y correspondiente al año de 1967.

^bEquivalente en toneladas métricas de carbón = 7 Gcal = 29.3 GJ.

^cLa información es probablemente menos completa que en el caso de otros bienes.

^dLadrillos convertidos en toneladas métricas mediante factores de 2 038 t/millón de ladrillos estándar o 2.0 t/m³.

^eEquivalentes en acero bruto.

^fIncluye plomo antimónico secundario en 1979-1980.

^gElectricidad hidráulica, geotérmica y nuclear incluida al equivalente de estación termal generadora, suponiendo un 25% de eficacia generadora en ambos años.

Fuente: Strout, 1985.

tigaciones sobre el uso de la energía en las industrias de uso más intensivo de la misma, como el acero, el cemento y los fertilizantes (véase, e. g., Metals Society, 1981; Mudahar y Hignett, 1982; United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 1985); además, la investigación sobre cada una de las industrias es tan voluminosa que su revisión habría sido prácticamente imposible para el Grupo, por lo que consideramos que lo más adecuado sería que cada país o industria la utilice como mejor convenga a sus propios intereses.

Las políticas energéticas relacionadas con la industria

El enfoque general para formular una política a escala nacional o subnacional consiste en comenzar por verificar el uso de la energía en industrias específicas para identificar con precisión aquellas medidas cuya aplicación daría como resultado el ahorro de energía más significativo y en diseñar políticas para fomentar la aplicación de tales medidas. Generalmente, éstas se clasifican en tres tipos (Tunnah, 1985).

Medidas de política de administración interna. La medición real de los flujos de energéticos en una planta industrial, tal como la que implicaría una verificación del uso de la energía, podría sugerir formas para aumentar la eficacia de dicho uso que no exijan una inversión; por ejemplo: a través del ajuste del coeficiente de aire residual en los hornos, de la temperatura en las reacciones químicas, del ritmo de carga en los procesos continuos, etcétera.

Medidas de política que requieren inversiones menores. Si bien es cierto que, en las grandes industrias de uso intensivo de energía, la inversión en equipo más moderno puede llevar a un considerable ahorro de energía, no es menos cierto que la inversión en equipos pequeños para el uso y conversión de la energía, como motores y calderas, puede ejercer un efecto igualmente significativo en su consumo cuando tales equipos se utilizan en grandes cantidades; por otra parte, el equipo que puede aprovechar el calor residual posee también un gran potencial similar de ahorro de energía. En opinión del Grupo, ambos tipos de equipos son considerablemente prome-

tedores para los países en desarrollo, por lo que los abordamos en mayor detalle en el capítulo v. En una planta individual, en fin, un mejor aislamiento y la prevención del desperdicio de energía requieren por lo general inversiones reducidas, pero pueden significar una diferencia global importante; sin embargo, existe la tendencia a dejar pasar de lado las oportunidades que se presentan para hacer esos pequeños ahorros de energía. Comparado con los grandes progresos que se han hecho en el desarrollo de medidas fiscales y financieras de fomento a las grandes inversiones para el ahorro de energía, el progreso en el desarrollo de medidas para fomentar las inversiones pequeñas y heterogéneas con el mismo fin ha sido mínimo. Ésta es un área en la que la investigación podría ser especialmente benéfica para los países en desarrollo.

Medidas de política que requieren inversiones mayores. La tecnología de las industrias de uso más intensivo de energía se ha desarrollado, y sigue desarrollándose, en el sentido de la búsqueda del ahorro del recurso a medida que los precios de los energéticos aumentan; gracias a ellos, las plantas de la última generación son altamente eficaces en el uso de la energía en, por ejemplo, las industrias del acero, el aluminio y el cemento, y, por lo tanto, el remplazo de las viejas plantas por las nuevas pueden llevar a un ahorro considerable del recurso.

De manera más general, el establecimiento de plantas nuevas que puedan afectar significativamente el consumo de energía de un país debe ser considerado desde un punto de vista nacional, ya que los efectos de la decisión de invertir se dejarán sentir sobre el consumo de energía durante decenios. Las medidas fiscales para fomentar la eficacia en el uso de la energía, tales como los créditos fiscales, las reservas para inversiones y la depreciación acelerada pueden resultar efectivos cuando existe la competencia y las perspectivas económicas de una empresa dependen de sus ganancias; no obstante, si los monopolios o las empresas públicas desempeñan una función significativa en la estructura industrial, puede ser necesario un control más directo para fomentar la eficacia en el uso de la energía.

En resumen, vemos que existe una gran cantidad de conocimientos respecto al uso y conservación de la energía y que continuamente se generan más en la industria; por ende, lo que se requiere en los países en desarrollo no es tanto llevar a cabo nuevas

investigaciones sino recolectar la información existente, difundirla y aplicarla en ciertas plantas en particular.

EL TRANSPORTE

El predominio de los motores de combustión interna impulsados por derivados del petróleo ha hecho del transporte el punto crítico del estratégico problema de la dependencia de los países en desarrollo con respecto al petróleo. Los países cuyo desarrollo se inició en el siglo XIX establecieron sistemas ferroviarios complejos, pero muchos países de América Latina y Asia, cuyo desarrollo cobró fuerza en la era del petróleo, dependen exclusivamente del transporte carretero y del petróleo. En el cuadro 6 hemos tratado de identificar los países en desarrollo con una alta intensidad de uso del transporte. Era de esperarse que los precios de los productos se ajustarían por sí mismos a los costos del transporte y que la intensidad del uso de éste no variaría mucho, pero, en realidad, la variación es enorme. Ello puede muy bien deberse a diferencias en los precios relativos; Moavenzadeh y Geltner (1984) presentan cifras al respecto, pero, hasta donde son comparables, muestran diferencias muy pequeñas. Otros factores sugeridos como la causa son las diferencias en el tamaño del país, la estructura de producción, los patrones de emplazamiento, el grado de desarrollo del transporte y el tipo de cambio. La variación resulta intrigante, y constituye un punto de partida para una investigación sobre sus causas y sobre las opciones de política que podrían aplicarse.

Para los países en desarrollo, el transporte constituye el vínculo entre la política energética, la política comercial y la política ambiental y, por ende, proporciona una base para la formulación integral de políticas. Las investigaciones que se han hecho hasta la fecha, en cambio, proporcionan una base muy pobre para ese tipo de formulación de políticas. El volumen de investigaciones es comparativamente reducido y gran parte de ellas se relaciona con las modalidades y las tecnologías del transporte, antes bien que con los usos del mismo. La pobreza de la investigación tiene su origen en la pobreza de la información; incluso en el caso de los países industrializados, el grado de desagregación de los datos no es muy grande.

CUADRO 6. Intensidad del uso de energía en el transporte en relación con el producto interno bruto (GDP), 1981

<i>País</i>	<i>Consumo de energía en el transporte (1 000 etp³)</i> [1]	<i>PIB (millones de dólares de E. U.)</i> [2]	<i>Intensidad del uso de energía en el transporte en relación con el PIB</i> [1/2]
Costa Rica	467	2 630	177.6
Túnez	1 247	7 100	175.6
Argentina ^b	10 541	64 450	163.6
Ecuador	2 186	13 430	162.8
Kenya	1 021	6 960	146.7
Sri Lanka	597	4 120	144.9
Trinidad y Tobago	1 001	6 970	143.6
Venezuela	9 228	67 800	136.1
Panamá ^c	473	3 490	135.5
India ^b	19 730	150 760	130.9
Colombia	4 255	32 970	129.10
Egipto ^b	3 375	26 400	127.8
Jamaica	372	2 960	125.7
Pakistán	3 017	25 160	119.9
Zambia	398	3 430	116.0
Burma	669	5 770	115.9
Tailandia	4 250	36 810	115.5
México	25 260	238 960	105.7
Brasil ^b	25 318	248 470	101.9
Zaire	540	5 380	100.4
Marruecos	1 406	14 780	95.1
Perú	2 154	23 260	92.6
Zimbabwe	537	6 010	89.4
Indonesia	7 251	84 960	85.0
Bolivia	661	7 900	83.7
República de Corea	5 495	65 750	83.6
Chile	2 523	32 860	76.8
Uruguay	669	9 790	68.3
Costa de Marfil	581	8 670	67.0
Argelia	2 611	41 830	62.4
Filipinas	2 321	38 900	59.7
Guatemala	459	8 660	53.0
Arabia Saudita ^b	7 602	153 590	49.5
Libia	1 269	27 400	46.3
Nigeria	2 985	70 800	42.2

CUADRO 6. (Conclusión)

<i>País</i>	<i>Consumo de energía en el transporte (1 000 etp)^a</i> [1]	<i>PIB (millones de dólares de E. U.)</i> [2]	<i>Intensidad del uso de energía en el transporte en relación con el PIB</i> [1/2]
Nigeria	2 985	70 800	42.2
Malasia	1 041	24 770	42.0
Bangladesh	431	11 910	36.2

^aEquivalente en toneladas métricas de petróleo (etp) = 10 Gcal = 41.84 GJ.

^bDatos correspondientes a 1982.

^cDatos correspondientes a 1980.

Fuente: Acerca del consumo de energía, International Energy Agency, 1984; respecto al PIB, World Bank, 1982b, 1983b y 1984.

La investigación sobre el transporte puede ser dividida en investigación sobre la planeación e investigación sobre la administración del mismo. La administración de los sistemas de transporte existentes se dificulta debido a tres factores:

- Las rutas de transporte constituyen monopolios naturales. Cuando una carretera es subutilizada, construir otra opcional es un desperdicio; cuando su uso es cabal, la colonización es tal a lo largo de ella que el costo de ampliación o de construcción de otra paralela es inabordable. Por todo lo anterior, la opción más atractiva es racionar la capacidad de las carreteras.
- Las necesidades de transporte son una función de los patrones de ubicación de las poblaciones y de las actividades. Modificar la capacidad de las carreteras o los patrones de emplazamiento es muy difícil y, si hay un desequilibrio entre una y otros, es muy difícil también hacer algo al respecto.
- La inversión existente en el equipo usuario de transporte es considerable, por lo que, si la densidad del tráfico exige un cambio en los modos de transporte, el nuevo equipo usuario puede exigir un gran desecho de equipo antiguo y nuevas inversiones.

Por estas razones y para que los problemas de administración del transporte puedan ser evitados o pospuestos, es ventajoso invertir en la investigación sobre planeación del transporte (Thomson, 1983).

La planeación del transporte comprende tres aspectos: a) la planeación de los patrones de emplazamiento nacionales y de la especialización regional; b) la planeación y diseño de las ciudades, y c) la elección modal entre e intraciudades (Meier, 1974); todos los cuales tienen consecuencias sobre el uso de la energía.

El objetivo de la planeación de los patrones de emplazamiento nacionales consiste, en parte, en reducir al mínimo los flujos de transporte y, por ende, los insumos energéticos. En los países en desarrollo, las ciudades no planeadas han crecido a menudo hasta alcanzar un tamaño que reduce la posibilidad de elegir sus fuentes de energía; por ejemplo: el suministro de madera o carbón vegetal para las ciudades grandes implicaría una enorme y creciente deforestación o una dependencia de los combustibles líquidos. La relación a largo plazo entre las ciudades y el interior del país debe preverse e incluirse en la planeación del tamaño y emplazamiento de las mismas. Los requerimientos de inversión en ferrocarriles (incluidas las vías y el equipo rodante) son mucho más altos que los necesarios para el transporte carretero, pero la capacidad de transporte también es más alta, por lo que el desarrollo de los ferrocarriles sería económicamente justificable una vez rebasada cierta densidad de tráfico. A diferencia de lo que ocurre en el caso del transporte carretero, en el de los ferrocarriles se presentan muchas opciones en lo que respecta a las tecnologías de tracción y a los combustibles. La electrificación de los ferrocarriles constituye un medio para ahorrar petróleo, y si bien, en ciertas condiciones las posibilidades de sustitución entre el transporte carretero y los ferrocarriles pueden verse limitadas por los volúmenes de tráfico, a la larga, no obstante, mediante la planeación del emplazamiento es posible concentrar los flujos de tráfico entre unos cuantos centros y hacerlos lo suficientemente prolongados para justificar el desarrollo de los ferrocarriles (Inter-American Development Bank [IDB], 1982; Alston, 1984; Moavenzadeh y Geltner, 1984).

Si bien los embotellamientos del transporte interurbano son pocos, cuando se presentan, las opciones que se tienen son limitadas; por otra parte, los embotellamientos del tráfico urbano son muy comunes. La capacidad de una carretera es una función del ancho de la misma y de la velocidad promedio del tráfico. En los países en desarrollo, la gente camina más y usa menos el transporte personal; además, el transporte de bienes y personas por medio de tracción humana y animal es mayor. Todos esos medios de

transporte son lentos y utilizan mucha capacidad vial, pero su remplazo por transporte motorizado es costoso y puede provocar efectos serios en el desempleo (Thomas, 1981). En esos países, se utilizan diversas formas de transporte motorizado de bajo costo que también disminuyen la capacidad vial de varias maneras: velocidades de desplazamiento muy bajas, manejo peligroso, descomposturas más frecuentes, etcétera (Ocampo, 1982), cuyo resultado es la disminución de la velocidad del tráfico, que muchas ciudades han experimentado, y la disminución y obstrucción de la capacidad vial; también, otras ciudades han experimentado la eliminación parcial del transporte más lento, en detrimento de la población de bajos ingresos.

Esos problemas, que son inherentes a los países en desarrollo y son originados por sus características económicas y de transporte, deben ser afrontados en la etapa de planeación. El incremento del uso del automóvil individual provocó que en los países industrializados se hicieran numerosos esfuerzos de investigación sobre el diseño urbano (*cf.* Buchanan *et al.*, 1980) cuyos resultados se reflejaron en las nuevas ciudades, en las cuales es mucho más fácil vivir que en las viejas metrópolis; paralelamente, las metrópolis que no previeron o no pudieron resolver los problemas que se les presentaban (*e. g.*, el desplazamiento de los más ricos a los suburbios, el despoblamiento y empobrecimiento de los centros de las ciudades y el aumento del tráfico automotriz) han experimentado un terrible deterioro social y ambiental. Los problemas urbanos de los países en desarrollo son diferentes, pero provocan consecuencias igualmente dramáticas si no son enfrentados a tiempo.

En la etapa de planeación, es necesario identificar las implicaciones de las características del tráfico inherentes a los países en desarrollo; por ejemplo: si caminar es un medio de transporte común, debe destinarse un mayor espacio para los peatones; no hacerlo provocará que éstos invadan los arroyos de las calles. También es ventajoso emplazar los lugares de trabajo a distancias de marcha de las áreas de vivienda. Así, si bien las técnicas de planeación urbana en los países en desarrollo serán similares a aquellas para los países industrializados, la información en que se basarán los planes será muy diferente, al igual que los planes mismos.

De cualquier manera, no todos los problemas pueden ser resueltos mediante la planeación. En las ciudades actuales, en las

cuales los patrones de emplazamiento y los flujos de tráfico ya están determinados, el tráfico debe ser administrado conforme a la capacidad vial disponible. A este respecto, existen dos soluciones básicas. Primera, el racionamiento de la capacidad vial mediante técnicas de separación del tráfico y de restricción del acceso a ciertas calles (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 1973); en este caso, no obstante, también se encuentran disponibles ciertos medios de administración del tráfico menos coercitivos. En relación con el transporte, los gobiernos cuentan con al menos tres bases para la fijación de impuestos: los combustibles, los vehículos y las vías rápidas; de ellos, los gravámenes sobre las vías rápidas y el financiamiento de las mismas a través de cuotas han sido poco explotados (Yucel, 1974). En todo caso, vale la pena tomar en consideración la fijación de precios y gravámenes a esas tres bases —combustibles, vehículos y vías rápidas— en conjunto y relacionarlas con las necesidades de la administración del tráfico.

Segunda, es posible aumentar la capacidad vial disponible mediante la sustitución intermodal; los trenes suburbanos (elevados y subterráneos) y las vías rápidas son las principales modalidades de transporte utilizadas. Cuando se introducen en las ciudades actuales, esas modalidades de transporte son extremadamente costosas debido a que los costos de capital de los sistemas diseñados para una separación rápida y efectiva del tráfico son altos, a que la tierra urbana es cara y a que esos sistemas deben construirse con un mínimo de perturbación de los patrones de vida y trabajo existentes. Por lo demás, en vista de que los costos de inversión de esas modalidades de transporte son altos, la investigación de su economía y diseño es muy valiosa.

Con todo, dado su alto costo, la inversión en ellas raramente puede justificarse tan sólo desde el punto de vista financiero y, por lo general, exigen subsidios continuos. Los subsidios pueden ser justificados sobre bases distributivas en los casos en que la población que vive en la periferia de las ciudades —y, por lo mismo, utiliza las nuevas vías para efectuar transbordos en su desplazamiento de larga distancia— es pobre; sin embargo, el subsidio al transporte rápido no es fundamentalmente un subsidio para los pobres, sino un subsidio al transporte suburbano de larga distancia. La oferta de tales sistemas de transporte tiende también a crear su propia demanda al estimular la colonización de las

localidades periféricas a las que dan servicio y, así, dichos sistemas dan forma a las vastas conurbaciones tanto como las sirven. Si la planeación nacional o regional de los patrones de emplazamiento, por la que antes abogamos, lleva al ahorro de inversiones costosas en sistemas de transporte rápido para las ciudades demasiado grandes, su valor se vería grandemente acrecentado.

Las políticas energéticas relacionadas con el transporte

En el campo del transporte, las políticas relacionadas con la energía pueden ser formuladas a tres niveles: políticas para reducir la intensidad de uso del transporte en las actividades económicas y sociales; políticas para desplazar el tráfico hacia formas de transporte de uso más eficaz de la energía y políticas para aumentar la eficacia de los vehículos en el uso de la energía mediante el incremento de su tamaño, así como mediante el cambio del transporte motorizado al transporte en tren.

La intensidad de uso del transporte

Como antes se mostró, entre los países en desarrollo existen enormes diferencias en la intensidad de uso del transporte respecto al PIB que sugieren el campo de acción correspondiente para buscar su reducción en muchos de esos países; sin embargo, no se conoce lo suficiente como para sugerir una base sólida para la formulación de políticas. Podemos suponer que, entre otros factores, la intensidad de uso del transporte es determinada por los patrones de emplazamiento, pero, cómo lo hacen precisamente, lo ignoramos. Es probable que, en esta área, la formulación de políticas deba esperar los resultados de investigaciones concluyentes.

Las economías de escala del tamaño de los vehículos

En los años recientes, los aumentos de los precios del petróleo han provocado un gran interés por incrementar la eficacia del transporte en el uso de la energía mediante la utilización de vehículos más grandes. En el caso del transporte urbano de pasajeros, es indudable que los vehículos más grandes son más eficaces en el

uso del combustible; además, los autobuses públicos son evidentemente más accesibles para los pobres. Sin embargo, en las épocas de aumento del ingreso, en los países en desarrollo se presentan los mismos desplazamientos del transporte público hacia el privado y de los autobuses hacia los vehículos personales que en los países industrializados. Esos desplazamientos alejan del transporte público a los pasajeros más ricos y con una mayor capacidad de pago y contribuyen a que la viabilidad financiera de dicho transporte se reduzca. En los grandes centros urbanos donde ha sobrevivido y prosperado el transporte público, ello se ha debido a menudo al inconveniente cada vez mayor de manejar en la ciudad; pero también, ocasionalmente, a la conveniencia, comodidad y puntualidad del transporte público. A la larga, como vemos, la separación entre el transporte privado y el público se ve influida menos por los precios y más por la calidad del servicio. Este hecho ofrece un campo de acción para aplicar al transporte urbano de pasajeros políticas de largo plazo más complejas que las que generalmente se han intentado.

Ahora bien, aunque los grandes vehículos pueden ser más eficaces en el uso de la energía, las ciudades de los países en desarrollo se caracterizan a menudo por contar con autobuses pequeños y otros medios de transporte público de tamaño reducido (Ocampo, 1982). Es evidente que, en esos casos, los costos de la energía no son un determinante importante del tamaño de los vehículos; en ello influyen otros factores, como los requerimientos de capital, las características del flujo del tráfico y la facilidad de manejo. La eficacia en el uso de la energía también se ve afectada por factores que no se relacionan con el tamaño, como el estado de las vialidades, el grado de congestión y la velocidad del tráfico. Por ende, es importante que la formulación de las políticas diseñadas para incrementar la eficacia en el uso de la energía no se limite a la variable del tamaño de los vehículos, sino que tome en consideración todos los factores que ejercen una influencia significativa.

El desplazamiento hacia el transporte por vías férreas

La opción de pasar del transporte en vehículos de neumáticos al transporte por vías férreas es atractiva por dos razones: porque aumenta la eficacia en el uso de la energía y porque permite un desplazamiento de los combustibles basados en el petróleo a otros

tipos de combustibles, principalmente la electricidad. No obstante, la cuestión de la separación entre uno y otro tipos de transporte es complicada en su conjunto. Es cierto que, de manera general, el transporte por vías férreas requiere menos energía por unidad de transporte; la razón consiste fundamentalmente en que los rieles implican menos fricción entre el vehículo y la vía que la que se da entre el suelo y los vehículos de neumáticos; sin embargo, la menor fricción significa también que, a la misma velocidad, un vehículo que se desplaza sobre rieles necesita una mayor distancia para detenerse (o para acelerar). Si un vehículo que se desplaza sobre rieles tiene que hacerlo en condiciones de congestionamiento y en medio de otros tipos de tráfico, como en el caso de los tranvías, se reduce su ventaja desde el punto de vista de la eficacia en el uso de la energía. De manera general, por lo tanto, el transporte por vías férreas ha sobrevivido en los casos en que se ha especializado en el transporte de alta velocidad a distancias relativamente largas; además, el transporte mediante vías férreas es de uso más intensivo de capital y requiere condiciones de tráfico de alta densidad para ser competitivo con el transporte en vehículos de neumáticos. Consecuentemente, la distribución espacial de la densidad del tráfico determina las fronteras de la competencia entre uno y otro tipos de transporte.

En la práctica, no obstante, la separación entre el transporte en vehículos de neumáticos y el transporte por vías férreas también se ve influida por sus diferentes escalas mínimas. Calles y caminos pueden ser ampliados y modernizados a medida que crece el tráfico, y la inversión en vehículos de neumáticos requerida para mantener un servicio mínimo es mucho menor que la que se requiere para el equipo ferroviario rodante; por ello, la demanda de transporte es satisfecha por la infraestructura para el transporte en vehículos de neumáticos cuando la densidad del tráfico es reducida y cuando ésta comienza a aumentar. Cuando la densidad del tráfico alcanza tal grado que entonces se justificaría el desarrollo del transporte por vías férreas, el sistema de transporte en vehículos de neumáticos ya existe y su desplazamiento ha dejado de ser económico. Todos los principales sistemas de transporte por vías férreas del mundo fueron construidos en una época en que el transporte mediante vehículos con ruedas de caucho aún no existía o estaba en sus inicios. A partir de que el transporte en vehículos de neumáticos alcanzó su madurez, la mayoría de las vías férreas fueron tendidas, o bien donde la

densidad inicial del tráfico hacía de ese tipo de transporte la mejor opción (e. g., en el acarreo de minerales voluminosos de las minas a las fundiciones o los puertos) o bien donde dicha densidad había aumentado tanto que no podía ser manejada mediante el transporte en vehículos de neumáticos con las limitaciones de espacio existentes (por ejemplo, el tráfico urbano con necesidad de transbordos).

Ésa es la razón por la que, si se deja que la infraestructura de transporte responda a las necesidades del tráfico a medida que éstas surjan, el transporte en vehículos de neumáticos obtendrá seguramente una mayor proporción del mercado, y el transporte por vías férreas una menor proporción, que lo que es económicamente justificable. Para desarrollar un sistema funcional de transporte por vías férreas, es necesario prever y planear los principales flujos de tráfico de un país con varios decenios de anticipación; y, para hacer inversiones en el transporte por vías férreas con la oportunidad necesaria para satisfacer el crecimiento de la demanda, las proyecciones requieren investigación. Incluso cuando se hacen inversiones oportunas en la capacidad del transporte por vías férreas, su utilización y, por ende, el funcionamiento eficaz de dicho tipo de transporte dependen en una medida muy importante de tres factores:

i) *La programación del tráfico y las comunicaciones en el transporte por vías férreas.* Debido a que el desplazamiento del tráfico se mide en función de la carga por vagón, siempre existe el riesgo de que los vagones se encuentren en un lugar diferente a aquel donde son necesarios en un momento dado. Llevarlos a donde se encuentra la demanda requiere el uso de cierta capacidad de vía que puede provocar embotellamientos en los puntos de entronque. Por ello, la programación del equipo rodante y la utilización de las vías genera complejos problemas de administración.

ii) *La estructura tarifaria.* Dado que el transporte por vías férreas es considerado de utilidad pública, sus tarifas están sujetas a menudo al control estatal; además, el control de tarifas se utiliza para otorgar subsidios cruzados al transporte de diversos productos; sin embargo, cuando el transporte por vías férreas tiene que competir con el transporte en vehículos de neumáticos, el primero tiende a perder el tráfico de tarifas más altas y, por ende, las ganancias con las que se subsidia el de tarifas más bajas; ésa es una de las principales razones por las que ese tipo de transporte

suele operar con pérdidas. Debido a lo anterior, es importante que la estructura tarifaria del transporte por vías férreas guarde una relación con los costos reales y, si se utiliza ese tipo de transporte para otorgar subsidios a la carga o a los pasajeros, dichos subsidios deben provenir exclusivamente de los fondos públicos.

iii) *La calidad del servicio*. La ventaja que presenta el transporte en vehículos de neumáticos se relaciona con la calidad del servicio, la velocidad y la conveniencia. Rara vez es suficiente que los sistemas de transporte por vías férreas ofrezcan tarifas de carga o de pasajeros más bajas; también tienen que ofrecer una calidad de servicio que sea comparable con la del otro tipo de transporte. Para hacerlo, deben poder y estar dispuestos a ofrecer tanto el transporte por vías férreas como el transporte auxiliar en vehículos de neumáticos necesario para llevar la carga de un lugar a otro. Por lo tanto, para que sean viables, los sistemas de transporte por vías férreas tienen que ser administrados como una empresa que ofrezca integrados los servicios de vía y los auxiliares.

LAS UNIDADES FAMILIARES

En las sociedades industrializadas, un consumidor es prácticamente siempre un comprador con un ingreso de dinero que gasta en bienes de consumo. Muchos de los consumidores de los países en desarrollo no pertenecen a esa categoría, ya que algunos consumen bienes que ellos mismos producen, mientras que otros recolectan de las tierras comunes los bienes que consumen. No existe un sistema de análisis común que sea aplicable a todos, por lo que es necesario hacer distinciones entre ellos en las investigaciones sobre la energía y en otros tipos de investigaciones. También es necesario integrar el análisis de los tres tipos de consumidores para llegar a tener una idea de la demanda doméstica total.

Los consumidores recolectores

Un gran número de consumidores de los países en desarrollo recolectan diversas formas de combustibles; pero no es eso lo

único que recolectan; también recolectan agua y, a menudo, alimentos. Dondequiera que esos productos disponibles de manera natural son recolectados, es posible que su consumo supere la oferta, también disponible de manera natural, o la capacidad de producción de la tierra (Sahlins, 1972; Odum y Odum, 1976; Harris, 1977); pero, incluso antes de que la demanda iguale la capacidad de producción de la tierra, la distancia promedio entre el lugar de residencia del consumidor y las fuentes de suministro habrá aumentado, al igual que el tiempo de recolección. En el caso de la recolección de leña y otras actividades de supervivencia, el tiempo que se dedica a ellas es más frecuentemente el de la mujer (Reddy, 1982; Tinker, 1984). Se han acumulado muchas cifras, y pruebas en el plano microeconómico, sobre los tiempos promedio de recolección de leña; de esos tiempos de recolección, se deduce que los consumidores recolectores tendrían una mejor situación si se convirtieran en consumidores productores y cultivaran sus propios bosques para leña. El análisis parece acertado y lleva a sugerir la formulación de políticas que persuadan al consumidor en ese sentido; en la práctica, no obstante, esas políticas son de aplicación muy difícil.

Según nuestro parecer, este campo de la investigación ilustra los peligros de esta última cuando se ha hecho en un plano excesivamente microeconómico: se ha exagerado en la definición de límites demasiado reducidos de los sistemas, ya que, en cierto número de estudios, se ha puesto de manifiesto que una parte importante de la demanda de leña proviene de las ciudades, además de que, según esos mismos estudios, una alta proporción del consumo rural de energía está constituida por varas y ramas de árboles recolectadas sin provocar destrucción, mientras que el consumo urbano lo constituyen principalmente troncos obtenidos de árboles derribados (Reddy, 1982; Reddy y Reddy, 1983); si esos estudios están en lo cierto, la responsabilidad por el agotamiento de las reservas silvícolas corresponde, no a los consumidores recolectores, sino a los vendedores recolectores y, por ello mismo, el sistema que debe investigarse no es el de los pueblos, sino el complejo rural-urbano. Casi invariablemente, los habitantes de las ciudades también usan otros combustibles, por lo que los límites deberían trazarse, no en torno a la leña, sino a todos los combustibles competidores; asimismo, una proporción significativa de la demanda de madera proviene del

sector de la construcción de casas y de la construcción en general, por lo que los límites de los sistemas deberían ser extendidos, una vez más, para incluir también los materiales de construcción. Finalmente, la relativa escasez de leña varía de un lugar a otro, lo cual ha provocado la existencia de diferentes grados y patrones de transición de la energía; por ello mismo, la investigación debe abarcar las variaciones regionales. Si se extendiesen para abarcar todos los factores mencionados, el campo de acción y la escala de los proyectos de investigación serían mayores, pero las lecciones que aportarían serían más ricas y se multiplicaría el número de opciones de política que surgirían; por ejemplo: las opciones en función de los combustibles, de los materiales de construcción y de las tecnologías para producir ambos. Los costos y las necesidades de coordinación también serían más altos, pero uno de los argumentos que hemos sostenido a todo lo largo de este informe es que la organización debe ser adaptada a las necesidades de la investigación, no al contrario.

Si una investigación con una base muy amplia llevase a la conclusión de que la población consumidora recolectora está excediendo la capacidad de producción natural de la tierra y de que la presión no podría aliviarse mediante la introducción de un tercer factor, como los materiales de construcción, esa población tendría que reducir su consumo o cambiar sus tecnologías y cultivar sus propios bosques para leña o preparar sus alimentos con una mayor eficacia en el uso del combustible; sin embargo, es improbable que el hecho de examinar todas las opciones en todos los campos relacionados llevara a considerar tales opciones como las mejores y las únicas.

Los consumidores productores

Los consumidores productores son denominados también productores de subsistencia. Como los consumidores recolectores, no compran ni venden, y, puesto que no lo hacen, las posibilidades de influir en su comportamiento son limitadas. En ninguno de los dos casos es posible aplicar los análisis de demanda del tipo utilizado en los países desarrollados para los consumidores-compradores y, como no existen formulaciones teóricas más adecua-

das, una gran cantidad de datos es recolectada y descrita sin acumulación de conocimiento alguna (véase, no obstante, Bliss y Stern, 1978; Sen, 1981).

Los intentos por formular políticas que influyan en los consumidores-productores (y en los consumidores-recolectores) —por ejemplo: el fomento a la agrosilvicultura o al biogás— también han sido lentos en su rendimiento de resultados. En nuestra opinión, ello se debe a una comprensión teórica inadecuada del comportamiento de esos consumidores, de sus metas en la vida y en el trabajo y de su distribución de recursos.

El recurso principal de esos consumidores es la mano de obra; desafortunadamente, economistas, antropólogos y psicólogos han aplicado conceptos muy diferentes de la mano de obra o del trabajo, ninguno de los cuales ha resultado ser especialmente fructífero (véase la sección sobre la energía humana en el capítulo XI). Mientras tanto, se ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones empíricas sin un avance correspondiente en la comprensión de esos problemas. En esta área, tendrán que surgir innovaciones teóricas antes de que la investigación empírica pueda ser interpretada de manera adecuada.

Los consumidores compradores

Los consumidores compradores constituyen el tipo de consumidor común en las economías desarrolladas, y para ese tipo de consumidor fue diseñado el análisis común de la demanda (ya examinado en la sección de este capítulo sobre la demanda en el plano microeconómico), el cual también es aplicable al mismo tipo de consumidor en las economías en desarrollo, si bien las condiciones fundamentales y las relaciones implícitas difieren a menudo. Ese tipo de análisis puede ser particularmente útil para estudiar el efecto que los cambios en los precios, los impuestos o los subsidios ejercen sobre los consumidores con diferentes grados de ingreso y, por ello mismo, sobre la distribución global del ingreso.

Como quiera que sea, si bien es cierto que los consumidores son en parte recolectores, en parte productores y en parte compradores, como ocurre frecuentemente en el caso de los combustibles que se consumen en el medio rural, la cuestión es mucho

más compleja, y creemos que todavía es necesario desarrollar formulaciones teóricas para tales mezclas de situaciones.

La cocción de alimentos

Ésta es el área del consumo doméstico sobre la que se ha hecho el mayor número de investigaciones. Los resultados constituyen una confusión de cifras de las que no es posible sacar muchas conclusiones significativas, ya que la mayoría de los estudios simplemente miden el consumo total de combustibles para preparar alimentos y, por ende, pasan por alto dos aspectos que bien pueden tener una importancia considerable. En primer lugar, por una parte, la cocción de alimentos abarca siempre los alimentos y las bebidas; por otra, debe haber una relación entre la cantidad de alimentos cocinados y el combustible utilizado (Reddy, 1982); por otra parte más, en fin, si, como lo muestran los estudios sobre los alimentos, el consumo que hacen de éstos los ricos en los países en desarrollo puede ser de 1.5 a 3 veces mayor que el de los pobres, ello podría ejercer un efecto muy grande sobre el consumo de combustibles. Sea lo que fuere, no obstante, no se ha observado que las diferencias en el consumo de combustibles sean tan marcadas (Leach, 1985), por lo que probablemente se dan variaciones en la eficacia en el uso de la energía. En segundo lugar, existen pruebas, pocas pero contundentes, de que las unidades familiares más grandes utilizan menos combustibles per cápita (Bialy, 1979; Natarajan, 1985); la cocción es un proceso de transferencia de calor, por lo que es lógico que la cocción, en grandes cantidades deba ser un proceso más eficaz en el uso del combustible; asimismo, es posible que en las unidades familiares más grandes haya menos desperdicio y, por lo tanto, también economías de escala en el consumo de alimentos.

La mayor parte de las investigaciones sobre la energía se han detenido en el umbral de la casa y no han entrado en ella; por esa razón, el resultado es que todavía no se han investigado las determinantes aproximadas del consumo de combustibles y que la investigación se ha limitado a las variables externas, como el ingreso y los precios. Una investigación superficial sólo puede conducir a obtener conclusiones superficiales. La situación es similar en lo que respecta

a la investigación sobre el consumo de alimentos, la cual tampoco ha podido pasar del umbral de la casa y, aunque ha generado una voluminosa cantidad de cifras, no ha logrado llevar a una mejor comprensión de ese tipo de consumo.

El alumbrado

El alumbrado es un aspecto del consumo cuya demanda muestra una alta elasticidad respecto al ingreso cuando el grado de éste es bajo. En primer lugar, las unidades familiares más pobres y las que no tienen acceso al kerosén ni a la electricidad no cuentan con alumbrado; entre las que sí tienen acceso a esos energéticos, la calidad del alumbrado varía con el ingreso. En segundo lugar, existen muchos tipos de lámparas de kerosén cuyo consumo de petróleo por hora e intensidad de luz son variables; los tipos de lámparas eléctricas, en cambio, son más reducidos, pero la intensidad y la calidad de su luz varían mucho con el ingreso. En tercer lugar, las lámparas eléctricas disponibles, de mayor rendimiento en el uso de la energía muestran una eficacia en el uso de energéticos de hasta cuatro veces más alta que la de las menos eficaces y, si no tienen un uso más generalizado, ello se debe a que sus costos iniciales son más altos; pero, por ello mismo, ofrecen un mayor campo de acción para que los mecanismos de aplicación de impuestos o subsidios incrementen el rendimiento de la energía en el alumbrado, mecanismos que es necesario diseñar mediante investigaciones específicas sobre cada país o sobre cada localidad. Por otra parte, la adopción de lámparas eléctricas de mayor rendimiento en el uso de la energía también se ve influida, además de por los costos, por las diferencias que los compradores perciben en la calidad. En el caso del alumbrado, como vemos, la investigación puede introducir un mejor equilibrio entre la gama de dispositivos disponibles y las preferencias del usuario.

Los aparatos electrodomésticos

La electricidad es básica para la mayoría de los aparatos domésticos de uso común y, donde la hay, existe una amplia gama de

esos aparatos disponibles con grandes variaciones en costos de capital y de operación.

Dependiendo de sus costos iniciales, los diferentes aparatos electrodomésticos mostrarán diferentes curvas de penetración del mercado relacionadas con los grados del ingreso. Las compras de los más baratos, como planchas, calefactores, radios y ventiladores, empezarán a grados de ingresos bastante bajos, mientras que las de los más costosos, como los aparatos de aire acondicionado, empezarán a grados de ingresos mucho más altos (Brooks, 1984). La demanda de los bienes de consumo duraderos debe ser analizada mediante el enfoque de los modelos de ajuste de existencias; los modelos simples precios-ingreso no son adecuados para ese tipo de bienes. La demanda de energía para operar los aparatos electrodomésticos es una demanda derivada que depende del insumo energético por hora, de la intensidad de utilización y de la cantidad de aparatos, por lo que el análisis de dicha demanda exige modelos igualmente complejos y estudios de campo que proporcionen datos para los mismos.

En algunos países africanos, la demanda de energía eléctrica constituye ya una parte significativa de la demanda total y provoca graves problemas en las horas de demanda máxima. La demanda proveniente de los equipos de enfriamiento —ventiladores, sistemas y aparatos de aire acondicionado y refrigeradores— también puede ser importante en otros países en desarrollo tropicales y, sin duda alguna, las horas de demanda máxima del verano plantean problemas a algunos de ellos. Las soluciones pueden buscarse en muchas direcciones; por ejemplo: adaptación de las casas al clima, fijación de precios de la electricidad en función del tiempo de uso y mejoras en la eficacia en el uso de la energía de los aparatos electrodomésticos. Las investigaciones que se han hecho sobre este campo son escasas.

Las unidades familiares rurales

La única área de la demanda rural de energía que ha provocado muchas investigaciones es la demanda de combustibles para cocinar y para calefacción (Howes, 1985). La demanda es una variable relacionada con el comportamiento del consumidor, por lo que

su análisis debe basarse en una teoría sobre el comportamiento humano. La actual teoría de la demanda, elaborada en función de un consumidor cuyo ingreso es monetario en su totalidad, es inadecuada para aplicarla a las unidades familiares rurales de los países en desarrollo.

Una parte del ingreso de las unidades familiares adquiere la forma de bienes recolectados, de los que los combustibles pueden constituir una proporción importante. Debido a que los bienes recolectados son gratis (aunque no necesariamente abundantes), los costos de esos recursos no son considerados en los cálculos que se hacen sobre las unidades familiares, mientras que los costos de la mano de obra sí. Los costos de mano de obra deducidos son relacionados, de manera no proporcional, con la cantidad de bienes recolectados y con la distancia recorrida; lo pesado de la carga, así como la distancia, no son tomados en consideración hasta cierto punto; más allá de cierto punto, adquieren una importancia mayor. No es posible evaluar la mano de obra invertida en la recolección a los salarios corrientes debido a que no siempre existe la alternativa de la mano de obra asalariada. Las oportunidades de empleo desiguales para hombres y mujeres afectan también las opciones disponibles y se relacionan con la participación relativamente mayor de las mujeres en la recolección. Cuando está disponible la alternativa del empleo asalariado o cuando los ingresos monetarios de las áreas rurales han aumentado, como en Egipto o en la República de Corea, la población rural cesa rápidamente la recolección de combustibles. Por ende, es necesario explorar la relación entre los combustibles (y otros bienes) recolectados y sus costos de mano de obra.

Los costos de mano de obra han sido estimados en función del tiempo de trabajo, pero por la razón antes expuesta, los costos de mano de obra deducidos pueden no ser proporcionales al tiempo de trabajo. Las “altas” estimaciones que se han hecho del tiempo de trabajo invertido en la recolección de combustibles han sido responsables, al menos parcialmente, de los esfuerzos de investigación que se han dedicado al cultivo de bosques para leña y al mejoramiento de las estufas de leña; si embargo, el valor que una población determinada otorgue a esas innovaciones dependerá de su deducción sobre los costos de mano de obra y no del tiempo de trabajo. El objetivo de ahorrar tiempo de trabajo sólo interesará a una población en la que el tiempo de trabajo sea

escaso; para una que cuente con tiempo de trabajo abundante o que sólo lo utilice en actividades de bajo valor, la pregunta que debe hacerse es: ¿cuáles son los usos más valiosos que pueden encontrarse para el tiempo de trabajo?

Como quiera que sea, en vista de las investigaciones ya existentes sobre el cultivo de bosques para leña y las estufas de leña, podríamos plantear una pregunta diferente: ¿dónde puede encontrarse una aplicación para esas investigaciones? La respuesta sería: donde esas actividades estén comercializadas, es decir, donde la venta de leña sea una actividad rural establecida y donde las estufas de leña sean utilizadas para cocinar alimentos para la venta. Una vez probadas en usos comerciales, es verosímil que se difundan más fácilmente.

Además de los combustibles recolectados, las unidades familiares rurales queman también combustibles producidos o cultivados en las granjas en forma de residuos animales o de cultivos. En las publicaciones sobre el tema, existen referencias ocasionales a los cultivos combustibles (*e. g.*, Pathak *et al.*, 1980), pero lo que se utiliza principalmente como combustible son los residuos de cultivos hechos con otros propósitos. Normalmente, los residuos de ciertos cultivos de alimentos deberían proporcionar suficiente energía para cocinar la parte comestible a un nivel bastante bajo de rendimiento, de entre 10 y 20% (Desai, 1985); sin embargo, es común que las unidades familiares de campesinos compren o recolecten combustibles derivados de la madera por su mejor calidad.

Tampoco en el caso de las unidades familiares campesinas son explícitos los modelos de comportamiento en que se basan los estudios sobre el consumo de combustibles. Por una parte, los grados de comercialización de las actividades de los campesinos son variables; por otra, los campesinos con actividades comercializadas o de subsistencia se valen de la agricultura para convertir su mano de obra en bienes y servicios, al igual que los recolectores de combustibles, por lo que un modelo aplicable a ambos sería aquel en el que se reprodujera la distribución de flujos de mano de obra; por otra parte, en fin, los campesinos con actividades comercializadas operan verdaderas empresas comerciales, por lo tanto, es posible aplicarles las teorías sobre la empresa o la granja. La mayoría de los campesinos de los países en desarrollo caben en

ambas categorías y plantean problemas conceptuales que aún no han sido resueltos.

Tanto los recolectores como los productores obtienen biomasa combustible de la vegetación, y sus prácticas han sido objeto del interés académico; ese interés, que abordaremos en la primera sección del capítulo XII, se basa en modelos simples. No es que necesariamente esté fuera de lugar, pero es preciso definir con mayor precisión las condiciones del deterioro ambiental, así como observar más directamente su relación con la demanda de combustibles; por ello, los estudios sobre el consumo de combustibles deberían integrarse con aquellos que se hagan sobre el medio ambiente.

Además, si las prácticas de quema de biomasa provocan deterioro ambiental, se reflejarán en mayores insumos de tiempo de trabajo para la recolección de combustibles, en el caso de los recolectores, y en una disminución de los rendimientos, en el caso de los productores; por ello, la investigación debe diseñarse de tal manera que tome en consideración esos efectos, esto es, debe extenderse sobre periodos lo suficientemente largos o abarcar variaciones espaciales para simular las transiciones.

Finalmente, el alcance de la electrificación y su efecto sobre el desarrollo rural, la modernización, la productividad y las condiciones de vida no han sido comprendidos cabalmente y deberían investigarse más (Munasinghe, 1986).

En resumen, si se desea que surjan teorías más significativas, es necesario integrar y probar los modelos provenientes de disciplinas mayores como la economía, la antropología y la agricultura y que los investigadores utilizan para el estudio del consumo rural de combustibles.

Las unidades familiares urbanas

El consumo de energía de las unidades familiares urbanas es más fácil de analizar de diferentes maneras por dos razones. Primera, las unidades familiares urbanas son compradores de energía que están demasiado concentrados espacialmente como para poder obtener los combustibles para cocinar de una fuente de biomasa local, por lo que deben comprarlos en el exterior. Segunda,

constituyen un grupo significativo de consumidores de energía para alumbrado y aparatos electrodomésticos. Por estas dos razones, son más semejantes a los consumidores de los países industrializados y, por lo mismo, es posible aplicarles con menos riesgo de error los modelos desarrollados en esos países para analizar la demanda doméstica de energía.

La concentración urbana de la demanda de combustibles exige el transporte de grandes cantidades de éstos del exterior: petróleo o carbón mineral, en el caso de los países que los producen o pueden importarlos; leña o carbón vegetal, en muchos países que son pobres, que están lejos de las fuentes de suministro de otros combustibles o en los que escasean las divisas. Así, el consumo de leña o carbón vegetal provoca la deforestación creciente de las zonas que rodean las ciudades. Por otra parte, mientras que la madera es remplazada por residuos agrícolas y animales en las zonas rurales donde se agota, la baja densidad energética de estos sustitutos y, consecuentemente, sus altos costos de transporte provocan que en las ciudades no sean competitivos con la madera, incluso si los precios de la leña son altos; pero, aun en los casos en que son competitivos, el bajo costo de las estufas de leña en comparación con el de las estufas de gas o kerosén puede provocar que los consumidores pobres sigan usando la leña (*cf.* Reddy y Reddy, 1983; Alam *et al.*, 1985).

Los precios en constante aumento de la leña han llevado al cultivo de bosques para obtener ese combustible en algunas regiones; sin embargo, hay algunas ciudades en zonas particularmente áridas de África donde ese tipo de cultivo no ha progresado mucho a pesar de los altos costos de la leña. Las razones no son claras, pero hay dos factores que pueden ser indicativos. Primero, el África árida es también una región que importa altas cantidades de alimentos o que padece una escasez de ellos o en la que se dan ambas situaciones. En teoría, un campesino cuyas actividades son comerciales y que es proveedor de una ciudad debería de cultivar alimentos, producir combustibles o dedicarse a cualquier otro tipo de cultivo que le proporcionara las mejores ganancias, y la explicación de que la opción elegida no incrementa el suministro urbano de combustibles puede residir en el hecho de que las ciudades hayan superado su base de oferta agrícola. Como ya antes lo mostramos en la sección sobre las políticas basadas en la demanda, el África árida subecuatorial presenta los grados más

bajos del mundo de productividad agrícola por trabajador, por lo que su agricultura sólo tiene capacidad para sostener una población mínima de gente no dedicada a la misma. Esa capacidad se redujo aún más debido al desplazamiento hacia los cultivos comerciales en los años 1950 y 1960, cuando la demanda de ese tipo de cultivos era muy alta en los países industrializados. Además, las ciudades se desarrollaron en torno a las industrias de exportación debido a que las exportaciones cubrían los costos de los alimentos importados, entre otras cosas. A medida que la reducción del crecimiento de los países industrializados disminuyó la demanda de exportaciones, se hicieron necesarias la reducción de la dependencia de éstas y la creación de un mercado doméstico, al igual que de una base de recursos, antes de que pudiera recuperarse el crecimiento propio. Por ende, se trata de una crisis económica de carácter general y no, simplemente, de una crisis de combustibles.

Segundo, los trópicos áridos constituyen una región cuya vegetación natural la forman los pastos y arbustos anuales y en la que los árboles crecen con dificultad, por lo que, una vez destruidas las reservas de árboles existentes, su remplazo es difícil y costoso. Algunos de los países de Asia occidental y del norte de África también sufren ese problema, pero cuentan con la buena fortuna de tener petróleo, el cual se ha convertido en su principal combustible doméstico.

Así, en lo que respecta tanto a las unidades familiares urbanas como a las rurales, una concepción limitada del problema en función únicamente del consumo de combustibles puede llevar a conclusiones erróneas, por lo que lo útil sería integrar el uso de combustibles en un contexto económico y de recursos más amplio.

Las políticas energéticas relacionadas con las unidades familiares

Hemos hecho una distinción entre tres tipos de consumidores domésticos: los recolectores, los productores y los compradores de combustibles. También hicimos notar que los recolectores de combustibles no necesariamente recolectan todos sus otros bienes de subsistencia. Desde el punto de vista de una política, es más

razonable hacer una distinción entre la gente sobre la base de si recolecta, produce o compra alimentos, esto es, distinguir entre los grupos nómadas, las poblaciones sedentarias rurales y los consumidores urbanos.

Es prácticamente imposible formular políticas eficaces para los grupos nómadas; las únicas medidas cuya aplicación es fácil son las que restringen, regulan o influyen sus migraciones. Las medidas para establecer a los grupos nómadas en aldeas permanentes o para mantener a la población humana fuera de las reservas forestales, por ejemplo, no son raras, pero tales medidas no son puestas en práctica para hacer frente primordialmente a los problemas de la energía, por lo que poco tienen que ver con éstos; sin embargo, las restricciones aplicadas al tráfico de leña —y, en realidad, a todo tipo de madera— pueden constituir un aspecto importante de una política para controlar la deforestación.

Es más fácil formular políticas para las poblaciones establecidas y, en particular, para las agrícolas. La fijación de impuestos a la agricultura ha constituido uno de los soportes principales de las finanzas públicas en muchos países en desarrollo; incluso en economías agrícolas no monetarizadas, es posible aplicar impuestos o subsidios en especie; sin embargo, los impuestos o subsidios para influir en la producción o en el consumo de combustibles o para estimular la sustitución entre los mismos en las zonas rurales no son comunes, fuera de los subsidios a la electrificación rural.

Por otra parte, las medidas fiscales para influir en la demanda urbana de combustibles son muy comunes, pero no están centradas en las unidades familiares en cuanto tales, sino en los combustibles que compran o en los dispositivos que usan combustibles; por esta razón, trataremos sobre esas medidas en el siguiente capítulo.

V. LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

En el caso de la conservación de la energía, podemos distinguir tres enfoques generales: el perfeccionamiento de los procesos, la inversión para el ahorro de energía y el aumento del rendimiento de los equipos que usan energía; de estos tres enfoques, el último es particularmente adecuado para los países en desarrollo. El diseño de los equipos que se encuentran en proceso de producción puede ser perfeccionado, pero es más importante estudiar los equipos que ya se encuentran en operación y mejorar ésta para elevar el rendimiento energético de aquéllos. A ese respecto, en el presente capítulo damos ejemplos de las posibilidades existentes para mejorar ciertos tipos de equipo.

La introducción de transmisiones hidráulicas y de frecuencia variable puede aumentar grandemente el rendimiento energético de los motores; no obstante, para que la introducción de las primeras sea atractiva desde el punto de vista económico, es necesario que se lleve a cabo en plantas completas y que vaya acompañada del rediseño de la maquinaria. Por otra parte, para que las transmisiones de frecuencia variable sean efectivas, su introducción exige la aplicación de la microelectrónica.

En cuanto a los motores de combustión interna, la magnitud y la importancia de la industria automotriz de los países industrializados han provocado una intensa investigación sobre ellos gracias a la cual en la actualidad existe un gran número de proyectos innovadores en proceso de diseño o de explotación.

Respecto a los vehículos de doble transmisión, su uso aumenta cada vez más en los países en desarrollo y algunos de sus modelos han alcanzado una producción lo suficientemente vasta como para justificar una investigación que lleve al mejoramiento de los motores para ese tipo de vehículos.

La investigación sobre los motores de ciclo Brayton que se lleva a cabo en los países industrializados se centra en la aplicación de esos motores en vehículos, por lo que una investigación más amplia

sobre ese tipo de motores podría ser prometedora para los países en desarrollo que fabrican turbinas de gas.

En cuanto a las calderas convencionales, es muy probable que la investigación sobre ese tipo de equipo se concentre en el mejoramiento de su rendimiento térmico mediante la incorporación de sistemas de control y diagnóstico sobre la línea. Entre las calderas de lecho fluidificado, las de circulación ofrecen las mejores perspectivas. Por otra parte, la gran cantidad de calderas en uso hace particularmente adecuadas la realización de estudios de diagnóstico y la elaboración de programas de remplazo.

En los países en desarrollo, la excesiva generalización tanto de la escasez de combustibles como del bajo rendimiento de las estufas tradicionales en el uso de la energía ha provocado el estancamiento de la diseminación de las estufas de combustible sólido mejoradas y, consecuentemente, que se descuide la necesidad de estudiar sus mercados potenciales. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo investigaciones para identificar tanto las áreas donde se haya estimado que los costos de los combustibles son altos como el valor que los consumidores otorgan a las diversas mejoras hechas a las estufas, incluido el mejoramiento del rendimiento en el uso de combustibles.

El enfoque predominante respecto a la conservación de la energía en la industria fue discutido en la sección del capítulo anterior destinada a las políticas para la industria; no obstante, vale la pena explorar los tres enfoques generales mencionados en la introducción a este capítulo:

i) *El perfeccionamiento de los procesos.* El estudio científico de los procesos que consumen energía puede llevar a ahorros significativos de la misma. Los estudios sobre ciertas industrias en particular no son poco comunes (cf. Moles, 1984); sin embargo, sí son raros los estudios fundamentales aplicables a una gama amplia de industrias. Es probable que, debido al uso del proceso de la combustión en diversas operaciones industriales, el tipo de investigaciones más generalizado sea el de las que se hacen sobre los problemas de ese proceso (Smoot y Hill, 1983); no obstante, incluso en ese campo que se ha explorado intensamente, la brecha entre la teoría y la práctica sigue siendo amplia (Weinberg, 1975). El fomento a la investigación sobre procesos y su aplicación

imponen dos requisitos: primero, una gran capacidad de investigación fundamental en las instituciones de investigación independientes; segundo, la existencia de nexos estrechos entre las instituciones y la industria; requisitos que pueden ser promovidos por los gobiernos a través de incentivos financieros y de otro tipo.

ii) *La inversión para el ahorro de energía.* Este tipo de inversión puede ir de la inversión progresiva en aislamientos y recuperación de calor residual a la inversión en plantas nuevas con tecnologías de ahorro de energía. Las técnicas de ahorro progresivo de energía han logrado una gran uniformidad, son bien conocidas y no exigen mucha investigación, por lo que su aplicación se vería alentada por el Estado mediante acciones para estudiar las oportunidades presentes en las diversas industrias y mediante subsidios a los materiales y equipos para ahorro de energía. Con todo, el ahorro de energía en las plantas nuevas forma parte de la innovación industrial y exige el desarrollo de la capacidad de investigación industrial.

iii) *El aumento del rendimiento energético.* En este caso, se trata de un enfoque relativamente nuevo y muy prometedor para los países en desarrollo. La fabricación de equipo para la producción de energía sigue estando muy concentrada en los países industrializados —así ocurre con el equipo de extracción para las minas de carbón, con el de extracción de petróleo y con las plantas de generación de electricidad, y puede llegar a ocurrir también con el equipo para la producción de energía solar y eólica—, patrón de especialización que se mantendrá aún durante al menos algún tiempo; sin embargo, en los países en desarrollo se usan grandes cantidades de muchos tipos de equipos que consumen energía, y algunos de éstos —como los motores eléctricos, los de combustión y las baterías— ya son producidos en los más adelantados de esos países; por ende, una estrategia de investigación que se concentrara en el equipo que consume energía podría llevar a un ahorro significativo de esta última, pero tendría que abordar de manera diferente el equipo existente y el nuevo. En cuanto al equipo existente, esa estrategia podría consistir en programas de inspección con el propósito de identificar los principales medios para ahorrar energía, ya sea el mejoramiento de las prácticas de operación, ya la introducción de modificaciones durante la producción —por ejemplo: el remplazo de válvulas o la mejora de los aislamientos—. Una vez identificadas las principales medidas

posibles para ahorrar energía, su aplicación podría fomentarse con medios persuasivos —como la difusión de la información— o coercitivos —como el establecimiento de normas mínimas para el funcionamiento de los equipos—. En el caso del equipo nuevo, los medios coercitivos tienen un mayor campo de aplicación, pero también puede fomentarse la investigación para el diseño de equipo nuevo con un mayor rendimiento energético. La orientación de la investigación es fundamental desde el punto de vista de los responsables de la formulación de políticas, por lo que en seguida indicamos cuál debería ser el sentido de esa orientación en el caso de algunas clases de equipo importantes.

LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos constituyen el principal dispositivo para convertir la electricidad en fuerza motriz y se utilizan ampliamente con ese propósito en todos los sectores, con excepción del transporte carretero y marítimo, donde la facilidad de transporte y el alto contenido energético de los combustibles líquidos hacen de los motores de combustión interna la fuente predominante de fuerza motriz. En los usos estacionarios, el bajo costo, el alto rendimiento energético y la amplia gama de tamaños de los motores eléctricos da a éstos una pequeña ventaja sobre los de combustión interna. En 1984, se estimaba que el consumo de electricidad de los motores eléctricos representaba el 67% de toda la electricidad consumida en Estados Unidos y el 35% de la energía primaria utilizada en ese país (Baldwin, 1986). A pesar de que no contamos con cifras comparables respecto a los países en desarrollo, podemos suponer que el consumo de electricidad en ese tipo de motores tiene al menos la misma importancia en aquellos de esos países donde la industria utiliza una gran proporción de la electricidad; además, el fluido se usa ampliamente para el riego por bombeo en un gran número de países asiáticos.

El rendimiento energético de las operaciones en que intervienen los motores eléctricos es producto de dos factores: el rendimiento energético del motor en sí y la proporción del trabajo del motor que realmente es utilizada. Si bien la tecnología de los motores eléctricos ya se encontraba bien desarrollada en 1970, la aparición en ese año

del diseño ayudado por computadora permitió deducir mediante modelos las consecuencias que los cambios de diseño podían tener para el rendimiento energético —en lugar de tener que establecerlas a partir de prototipos— y, por ende, se aceleraron las mejoras técnicas. Innovaciones como el mayor diámetro de los conductores de cobre y los nuevos materiales magnéticos contribuyeron también al aumento del rendimiento energético (Baldwin, 1986). Aun así, en 1977 se estimó que el potencial máximo de ahorro de energía que podría obtenerse reemplazando los motores eléctricos existentes por modelos de uso más eficaz de la energía era de 2.4% para Estados Unidos (United States Department of Energy [USDE], 1980). La diferencia entre el rendimiento energético de los motores en uso y los nuevos modelos de mayor rendimiento energético es probablemente mayor en el caso de los países en desarrollo y exige ser examinada *in situ*; sin embargo, es muy probable que también sea válida para los países en desarrollo la observación general que se ha hecho en los industrializados en el sentido de que las pérdidas de energía son mucho más altas debido a la diferencia existente entre el rendimiento energético del motor y la parte que se aprovecha del trabajo del mismo que debido al rendimiento energético en sí del motor.

Las pérdidas de energía en las operaciones impulsadas por motores eléctricos se deben al hecho de que la velocidad de un motor la determinan el número de polos del mismo y la frecuencia de la electricidad que se le aplica. En los casos en que se requiere una velocidad variable, se utilizan reguladores de velocidad —como transmisiones y válvulas de estrangulación y de otros tipos—, y es en esos dispositivos donde ocurren las mayores pérdidas (Ladomatos *et al.*, 1978). Ahora bien, existen tres enfoques disponibles para reducir esas pérdidas.

Los motores de corriente continua. La velocidad de un motor de corriente continua puede variarse mediante la simple regulación del voltaje, y el regulador de voltaje necesario puede ser muy barato; sin embargo, los motores de corriente continua son voluminosos, caros y no siempre adecuados para la industria. El motor eléctrico más común —barato, simple y confiable— es el de corriente alterna con devanado inducido en forma de jaula, pero no existe una manera simple de regular su velocidad como en el caso de un motor de corriente continua (Ben Danel y David, 1979).

La conversión a transmisión hidráulica. Con los motores hidráulicos puede obtenerse también una gama variable de velocidad y par de torsión, flexibilidad que puede aprovecharse para eliminar las transmisiones de las máquinas-herramienta y, por ende, para hacerlas más simples y baratas. El ahorro puede ser significativo en una planta que utiliza un gran número de máquinas-herramienta, siempre que toda la planta tenga un suministro central de energía hidráulica. Mediante una simulación en computadora de ese tipo de conversión, se descubrió que el rendimiento energético de una planta podría ser aumentado de 54 a 68% (Ladomatot *et al.*, 1979).

Las transmisiones de frecuencia variable. Este tipo de transmisiones comprende dos dispositivos en serie o en combinación: un rectificador para convertir la corriente alterna en continua y un inversor para alimentar el motor con voltajes trifásicos ajustables. Esas transmisiones fueron introducidas primero en la industria de fibras sintéticas, en la que las transmisiones para múltiples motores tienen un uso muy amplio y en la que la extrusión de las fibras exige el uso de motores con cajas de transmisión precisas y sincronizadas. La introducción de las transmisiones de frecuencia variable en otras industrias fue lenta debido a sus altos costos y a que no se percibía su necesidad; en los últimos años, no obstante, el desarrollo de los dispositivos de estado sólido con gran capacidad de manejo de energía eléctrica llevó a la rápida adopción de ese tipo de transmisiones en Estados Unidos, y es muy probable que, dadas sus grandes ventajas económicas, se diseminen en los países en desarrollo (Baldwin, 1986).

De los tres enfoques mencionados, los dos últimos son prometedores para los países en desarrollo, si bien la conversión a transmisiones hidráulicas sólo vale la pena de ser considerada para plantas completas y únicamente sería adecuada en el caso de ciertas plantas (las de máquinas-herramienta, por ejemplo). En los países en desarrollo, no obstante, valdría la pena investigar las posibilidades de aplicación de ese tipo de transmisiones en ciertos sistemas. El beneficio potencial de las transmisiones de frecuencia variable es grande y, aunque el desarrollo de las mismas exige la aplicación de la microelectrónica, para un país que busca fortalecerse en este último campo, el diseño y desarrollo de transmisiones de frecuencia variable sería un paso adelante en la conservación de la energía.

LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor es, primordialmente, una máquina para convertir cualquiera de las diferentes formas de energía en fuerza y movimiento mecánicos. Los motores que convierten la energía calorífica en fuerza y movimiento mecánicos se llaman motores térmicos, los cuales se clasifican en motores de combustión interna y motores de combustión externa, dependiendo de si la fuente de calor se encuentra dentro o fuera del motor. Si la fuente se encuentra afuera, entonces se requiere el uso de intercambiadores de calor entre la fuente y el sumidero térmico.

En la actualidad, las actividades de investigación y desarrollo relacionadas con los motores de combustión interna parecen estar dirigidas principalmente hacia los tres objetivos siguientes: a) reducir al mínimo de la emisión de contaminantes; b) mejorar al máximo el rendimiento energético del motor, y c) mejorar al máximo la tolerancia del motor a los diferentes tipos de combustibles y ejercer un mayor control sobre el proceso de combustión (Maly, 1983). Una característica distintiva de esas prioridades de investigación posteriores a la crisis de la energía es que buscan el perfeccionamiento global del motor, a diferencia de las investigaciones precedentes sobre los motores de combustión interna, cuyo objetivo era el perfeccionamiento de subsistemas aislados, como el control del encendido, la turboalimentación, el control de la detonación, etcétera.

Potencialmente, el área más prometedora de la investigación sobre los motores de combustión interna es la de la combustión programada. Cuando se busca la eficacia global de la combustión, es necesario dirigir los esfuerzos hacia la separación de las condiciones óptimas de encendido de las de propagación de la llama, lo cual puede lograrse programando la combustión de tal manera que se obtenga un flujo y una turbulencia óptimos dentro de los cilindros; para ello, existen dos métodos: utilizar un control totalmente eléctrico o un encendido en etapas. Los intentos por controlar la combustión han llevado al desarrollo de los siguientes tipos de motores de combustión interna:

- *Motores diesel de aspiración natural con cámara dividida* para vehículos de trabajo ligero (la mayoría de los motores para vehículos de trabajo ligero son ahora de este tipo).

- *Motores Otto de alimentación estratificada con cámara dividida* (cuyas aplicaciones son muy limitadas hasta ahora).
- *Motores Otto rotativos de alimentación uniforme*: los primeros de estos motores presentaron serios problemas de sellado defectuoso de la cámara de combustión, altas emisiones de hidrocarburos y falsas explosiones en marcha en vacío, lo cual provocaba una muy pobre capacidad de transmisión y una reducida economía de combustible. Únicamente han sido instalados en vehículos Mazda.
- *Turboalimentación*: para motores de gasolina y de diesel. Desde el punto de vista de la economía de combustible, la turboalimentación ha obtenido mejores resultados en los motores diesel que en los de gasolina, si bien en ambos casos presenta ventajas, ya que las emisiones de carbono e hidrocarburos son menores que en las versiones de aspiración natural; sin embargo, las emisiones de óxidos de nitrógeno son más altas (Dowdy, 1983).

Los motores mejorados que aún no han sido instalados en ningún vehículo en producción y que todavía se encuentran en etapa de investigación comprenden los siguientes tipos:

- *Motores Otto de alimentación estratificada con cámara abierta*: los dos principales programas de investigación y desarrollo en esta área son: el sistema Texaco de combustión controlada —con el que no sólo se busca poder utilizar mezclas aire-combustible más pobres sino también contar con la capacidad de emplear una variedad de combustibles, ya que el sistema es relativamente insensible a las propiedades de estos últimos— y el motor Ford de combustión programada —que permite una mayor producción de fuerza motriz, pero que hace que el motor sea más sensible a las propiedades de los combustibles (el número de octanos, por ejemplo)—. Otro enfoque de la investigación y desarrollo en esta área es conocido como el proceso de combustión Mitsubishi, pero la información disponible al respecto es muy reducida.
- *Motores Otto rotativos de alimentación estratificada con cámara abierta*: con este tipo, se busca superar las limitaciones de los motores de alimentación no estratificada aumentando

la economía de combustible y reduciendo las emisiones de hidrocarburos.

- *Motores diesel con cámara abierta:* con estos modelos se intenta perfeccionar la combustión mediante el mejoramiento de la mezcla aire-combustible; se clasifican de acuerdo con la magnitud de la turbulencia que desarrollan en la cámara de combustión (Cole *et al.*, 1983).
- *Motores diesel adiabáticos:* con estos motores se intenta reducir las pérdidas de calor del bloque del motor y recuperar el calor de los gases de escape mediante el uso de una turbomezcla o de un ciclo de Rankine ínfimo, o de ambos. Aunque estos sistemas provocan que el diseño del motor sea más complejo, también hacen que el consumo específico de combustible sea menor en un 25% que el de un motor diesel convencional grande con turboalimentación. En la actualidad, la investigación sobre este tipo de motores es patrocinada por el U. S. Army Tank-Automotive Research and Development Command (Dowdy, 1983).

La investigación sobre los motores de combustión interna continúa centrada en la industria automotriz de los países industrializados, y el perfeccionamiento de los motores ha representado una ventaja comparativa importante en el mercado internacional de vehículos en los años recientes; por ello, ese tipo de investigación constituye un área prometedora para los países en desarrollo que cuentan con su propia industria automotriz. Paralelamente, el patrón de propiedad de los vehículos personales vigente en algunos países en desarrollo está cambiando y la importancia de los vehículos de doble transmisión aumenta cada vez más, por lo que el perfeccionamiento de los motores para este último tipo de vehículos y el desarrollo de modelos ligeros que ahorren energía serían temas adecuados de investigación en esos países.

LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN EXTERNA

La principal ventaja de los motores de combustión externa es que pueden utilizar una variedad mucho más amplia de combustibles que los motores de combustión interna porque la cámara de

combustión está separada de las partes móviles del motor. Esos motores son básicamente de dos tipos: los motores de ciclo Rankine y los motores Stirling. Los primeros pueden funcionar con cualquier fluido que soporte un cambio de fase a una temperatura adecuada y se subdividen en motores de vapor y motores orgánicos de ciclo Rankine. Estos últimos utilizan un fluido orgánico (freón, normalmente) como alternativa del agua usada en el ciclo Rankine.

La temperatura de trabajo máxima de los motores orgánicos de ciclo Rankine que consumen freón es de aproximadamente 150°C debido al bajo punto de ebullición de ese elemento, pero la baja temperatura reduce el rendimiento máximo alcanzable (rendimiento Carnot), que, en el caso de este tipo de motores, es de alrededor del 10% (Hurst, 1984). Por otra parte, si bien el rendimiento máximo alcanzable de los motores de ciclo Rankine se ve limitado por la temperatura de la fuente de calor y del sumidero térmico, poder alcanzar ese rendimiento depende fundamentalmente de que se logre la mejor economía de calor posible.

El principio básico de los motores Stirling consiste en que la presión del aire, o de cualquier gas, aumenta si se calienta y disminuye si se enfría. El cilindro de un motor Stirling contiene cierta cantidad de gas; en los primeros modelos, ese gas era aire, pero los modelos modernos son más adecuados para el uso de hidrógeno o helio. El gas de trabajo contenido en el motor se calienta y enfría alternativamente; en cada ciclo, el trabajo del gas resulta en el movimiento de un pistón.

En el caso de los motores Stirling, existen dos grandes orientaciones básicas para la investigación: los motores de pistón libre y los motores para automóviles (Beale, 1981; Dowdy, 1983). Los motores de pistón libre presentan la ventaja de que su construcción mecánica es simple y no necesitan las juntas que son esenciales en otros motores para impedir las fugas del gas de trabajo. Pueden ser utilizados como bombas de agua, como motores refrigerantes y como alternadores para generar electricidad; sin embargo, esos motores sólo han servido hasta ahora como unidades de demostración y como base de investigaciones.

El motor Stirling rómbico Philips es actualmente el preferido para aplicaciones automotrices; sin embargo, ese motor, con caja de cigüeñal de alta presión, presenta problemas de sellado difíciles

que deben resolverse para impedir las fugas de gas y la contaminación del lubricante de sus intercambiadores de calor.

LOS MOTORES DE CICLO BRAYTON

Si bien el motor de vapor fue el primero que se desarrolló, su voluminosidad y bajo rendimiento energético constituyeron el incentivo para explorar otros principios motores; de ellos, uno de los más importantes fue demostrado en 1870 en el motor de ciclo Brayton, que usaba aire comprimido en lugar de vapor para proporcionar la fuerza motriz. Casi simultáneamente, se desarrollaron los motores Otto y diesel, ambos de combustión interna y con una mucho mayor producción de fuerza motriz por unidad de peso que los de ciclo Brayton, lo cual los convirtió en la elección obvia como principales impulsores de vehículos. Casi medio siglo después, no obstante, con el desarrollo de mejores metales y un mayor conocimiento de la aerodinámica, los motores de ciclo Brayton hicieron su reaparición bajo una forma diferente; en lugar de pistones, ahora tenían compresores y expansores rotativos (esto es, “turbinas”), y su ventaja desde el punto de vista de la producción de fuerza motriz por unidad de peso era tal que se convirtieron en los principales impulsores para el transporte aéreo en gran escala.

Las turbinas de gas son motores que funcionan mediante el principio del ciclo Brayton, esto es, mediante: a) la compresión del fluido de trabajo de la presión ambiente a una presión elevada; b) la adición de calor al fluido de trabajo a una presión elevada constante, c) la expansión del fluido de trabajo a la presión ambiente, y d) como resultado, la extracción de trabajo útil. Como los Stirling, los de ciclo Brayton son motores de combustión continua, pero ésta puede ser interna o externa en los segundos, si bien en sus últimas versiones no han sido probados a una escala significativa que pueda compararse con la de los primeros.

Las turbinas de gas son los motores de ciclo Brayton más evolucionados. Para las aplicaciones automotrices se encuentran en desarrollo dos tipos principales de turbinas de gas: las de eje sencillo y las de turbina libre. Mientras que las primeras exigen el uso de una transmisión de variación continua, las segundas pueden utilizar transmisiones automotrices convencionales. Debido a que las tem-

peraturas de entrada de las turbinas de gas son muy elevadas, una de las más importantes áreas de las actividades de I&D la constituyen los materiales, en particular los materiales cerámicos para rotores y otros elementos estructurales (Dowdy, 1983).

En la actualidad, se encuentran en las primeras etapas de desarrollo los motores de ciclo Brayton de combustión externa o de encendido indirecto. Las ventajas del encendido indirecto consisten en que el motor se vuelve menos sensible a la calidad del combustible, por lo que es posible utilizar una variedad de combustibles de poco poder calorífico (Rosa, s.f.). En los países industrializados, la investigación sobre los motores de ciclo Brayton continúa centrada en sus aplicaciones en vehículos, pero una investigación con un enfoque más amplio podría proporcionar resultados significativos, en particular para los países en desarrollo que fabrican turbinas.

LAS CALDERAS

Tanto en la industria como en la generación de energía eléctrica, las calderas representan una parte sustancial del consumo de energía. En el sector industrial, la participación de las calderas en el consumo de energía es determinada por la importancia de los subsectores cuyos procesos generan vapor, como las industrias de productos químicos, alimentos y papel. En el caso de los países de la OCDE, por ejemplo, se ha estimado que, en promedio, las calderas representan aproximadamente el 40% del consumo industrial total de energía (International Energy Agency, 1982a).

Consecuentemente, tal parece que las calderas son una de las áreas más importantes de la conservación de la energía tanto en los países en desarrollo como en los industrializados. Para el futuro inmediato, el remplazo del petróleo por carbón en las calderas será seguramente una cuestión de interés para los países donde el carbón es barato.

Las calderas convencionales

Existen básicamente tres tipos de calderas convencionales: las seccionales, las de tubo de humos o cuerpo cilíndrico y las de tubo

de agua o hervidor. Las calderas seccionales se utilizan en los sistemas domésticos de calefacción central, mientras que los otros dos tipos se utilizan en la industria.

Debido a que la resistencia requerida para soportar las explosiones laterales en las calderas de tubo de humos es directamente proporcional al producto de la presión por el diámetro del cuerpo, la presión que pueden generar esas calderas se ve severamente limitada. Normalmente, esas calderas pueden generar una presión de 1.7 a 3.1MPa, pero cuando se requieren calderas más grandes con ritmos de evaporación superiores a 18 ton/hora, se utilizan calderas de tubo de agua.

Las calderas de tubo de humos y las de tubo de agua pueden fabricarse conforme a pedido o en lote. En el mercado mundial de calderas industriales, las calderas en lote constituyen el sector más grande y representan el 75% del valor total de pedidos. Su ritmo de evaporación es generalmente de entre 14 y 45 ton/hora y utilizan petróleo o gas como combustible (Dryden, 1982).

Tanto en las calderas de tubo de humos como en las de tubo de agua, el carbón y el petróleo presentan problemas de control del aire residual de la combustión. En el caso de del carbón pulverizado, los límites para reducir al mínimo la cantidad de aire residual son determinados por exigencias incompatibles de: a) la necesidad de mantener la temperatura de la combustión por abajo de la de fusión de las cenizas; b) la necesidad de impedir el depósito de carbón parcialmente quemado en los aisladores tubulares, ya que ello provocaría la corrosión por combustión en cavidades de atmósfera reductora, y c) la necesidad de impedir la condensación de los gases de salida y la corrosión ácida de los pasos de gas. En el caso del petróleo, muy poco oxígeno plantearía problemas de emisión lenta, mientras que demasiado oxígeno provocaría ritmos de corrosión inaceptables; en el de combustóleos más viscosos, al igual que en el del carbón, hay un límite más bajo para la temperatura de los gases de salida y, por ende, un límite más alto para el rendimiento.

Las calderas convencionales de tubo de humos y tubo de agua también presentan problemas con el carbón de baja calidad. Aunque las calderas pueden ser diseñadas para la calidad específica del carbón utilizado, el de baja calidad crea dificultades de funcionamiento debido a su alta variabilidad respecto a la concentración de humedad, azufre y cenizas de sodio, lo cual provoca

problemas: a) para mantener la capacidad de la unidad; b) de obstrucción de las superficies de transferencia térmica de la caldera por las cenizas de la combustión, y c) de control del dióxido de azufre y de los óxidos de nitrógeno (Goblirsch y Talty, 1980). En el plano del diseño y la operación de las calderas convencionales, es poco lo que se puede hacer para controlar el dióxido de azufre, problema que debe enfrentarse ya sea antes o después del quemado. Por otra parte, las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden ser controladas significativamente mediante el diseño y las condiciones de operación de las calderas, pero el proceso de generación de dichos óxidos durante la combustión del carbón es un campo que se ha explorado muy poco.

Dadas las limitaciones mencionadas, el objetivo principal y más adecuado de la investigación en el campo de las calderas convencionales, en particular las utilizadas en las plantas termoeléctricas, es el del mejoramiento del rango térmico. Las dos tendencias probables en este campo bien podrían ser: a) la introducción de sistemas de inspección y control del funcionamiento sobre la línea en más plantas para identificar los componentes en proceso de deterioro y las áreas de pérdida de rendimiento y b) el uso de dispositivos de diagnóstico sobre la línea para prevenir fallas, programar interrupciones, pedir repuestos y proporcionar mano de obra de manera óptima (Yeager, 1984).

Las calderas de lecho fluidificado

Las calderas de lecho fluidificado fueron diseñadas para superar cierto número de problemas relacionados con las calderas convencionales. En las de lecho fluidificado, el combustible se quema en un lecho de aire turbulento, lo cual mejora su rendimiento; y si se añade piedra caliza o dolomita a la mezcla combustible se puede eliminar el azufre. También, la temperatura de combustión es relativamente más baja en la combustión en lecho fluidificado. A pesar de que las investigaciones sobre la combustión en lecho fluidificado se iniciaron ya en 1944, hasta principios de los años 1970 se llevaron a cabo en un clima de interés decreciente por el carbón, pero cobraron ritmo después de la crisis del petróleo (Patterson y Griffin, 1978).

Las calderas de lecho fluidificado ofrecen cuatro ventajas fundamentales sobre las convencionales: a) es posible quemar diferentes combustibles en la misma unidad de combustión; b) la desulfuración de los gases de la combustión exige pocos esfuerzos tecnológicos; c) las emisiones de óxidos de nitrógeno son menores debido a que la combustión se realiza a temperaturas más bajas, y d) los altos coeficientes de liberación de calor y transferencia térmica pueden reducir significativamente el tamaño, peso y costo de las calderas (University of Oklahoma, 1975; Howard, 1979; Poersch y Zabeschek, 1980). Lo que puede inferirse de lo anterior es que las calderas de lecho fluidificado podrían ser ensambladas en lote en la fábrica, embarcadas a donde fuese necesario y montadas según se requiriese. Si así se hiciera, podría obtenerse una reducción considerable de los tiempos y costos de construcción de nuevas plantas termoeléctricas; sin embargo, todavía no han sido desarrolladas las líneas de producción en lote para ese tipo de calderas.

Las calderas de lecho fluidificado pueden ser de dos tipos: atmosféricas y presurizadas. Estas últimas combinan en un ciclo una turbina de gas con otra de vapor y aumentan el rendimiento global del sistema en aproximadamente 5% (Müller *et al.*, 1982).

El bajo rendimiento de la combustión y las altas emisiones de partículas provocados por el reducido tiempo de permanencia del combustible en el lecho, la pobre mezcla lateral y la alta decantación de las diminutas partículas del absorbente de carbono o del lecho, y las dificultades para eliminar las cenizas y los combustibles pesados han llevado a la investigación y desarrollo de calderas de lecho fluidificado circulante; en esas calderas también puede ser utilizado el combustible líquido sin un pulverizador (Tata Energy Research Institute, 1983), además, tienen mayores posibilidades de comercialización en el futuro que las de lecho fluidificado convencionales.

La adaptación retroactiva de las calderas existentes

Uno de los mayores problemas encontrados en la adaptación retroactiva (esto es, el mejoramiento de un producto mediante la introducción de modificaciones de su diseño cuando ya se encuen-

tra en servicio) de las calderas existentes para la utilización de carbón o biomasa es la disminución de su capacidad; asimismo, a menudo no es posible modificar las calderas que consumen petróleo o gas para que consuman carbón o biomasa porque se requerirían nuevas y más grandes cámaras de combustión para el quemado directo; sin embargo, con sólo pequeñas modificaciones del equipo existente, podría quemarse una suspensión de carbón vegetal y petróleo (Meta Systems Inc., 1982). La conversión para que las calderas quemen carbón es más fácil que el cambio para que quemen biomasa y, en este último caso, la opción podría ser la utilización de gas con un valor calorífico bajo o mediano obtenido a partir de gasificadores.

Cuando se busca la modificación de las calderas de petróleo o gas para que consuman carbón o se intenta la introducción de calderas de carbón nuevas, la economía depende específicamente del lugar donde se hará la instalación. El primer caso más favorable puede ser el de un lugar al aire libre donde deba instalarse una nueva caldera y en el que no se enfrenten las restricciones que impone la disposición de una planta ya existente. El segundo caso más favorable puede ser el de una planta existente donde una caldera de petróleo o gas exija su remplazo porque ya llegó al final de su vida útil. El tercer caso más favorable, en fin, puede ser cuando la economía es lo suficientemente fuerte como para eliminar anticipadamente una caldera de petróleo o gas y remplazarla con una de carbón (International Energy Agency, 1982a).

Como quiera que sea, la modificación retroactiva sólo puede ser eficaz si se crean registros nacionales de las existencias de calderas en los que se listen aspectos tales como: a) número de calderas e instalaciones; b) especificaciones requeridas de presión del vapor; c) distribución de la capacidad y edad de las calderas; d) utilización y, por ende, requerimientos de combustible; e) tipo de combustible utilizado normalmente, y f) conversión anterior del tipo de combustible utilizado. Sólo sobre la base de esa información puede determinarse la economía de la adaptación a la quema de carbón en cada país o región del mismo. Consecuentemente, un inventario de las existencias nacionales de calderas sería el primer paso de cualquier investigación que se hiciera en este campo.

LAS ESTUFAS DE COMBUSTIBLE SÓLIDO

El bajo rendimiento energético de las estufas de combustible sólido tradicionales observado empíricamente sugiere la posibilidad de ahorrar combustibles aumentando dicho rendimiento energético; por otra parte, la disminución de las existencias de madera y el uso de residuos de cultivos y animales como combustible en los países en desarrollo sugiere la necesidad de ahorrar combustibles; así, numerosos experimentos se han llevado a cabo para diseñar estufas baratas y eficaces que conviertan esa necesidad en demanda (*cf.* De Lepeleite *et al.*, 1981).

Aunque algunos de los modelos mejorados han tenido un éxito local considerable, se estima que su diseminación total es limitada en comparación con el número de investigadores dedicados a su mejoramiento, el número de modelos desarrollados y el esfuerzo ostensible para obtener resultados prácticos de los proyectos sobre estufas de cocina. Tres son las principales explicaciones que han sido ofrecidas al respecto:

- Los nuevos diseños se basan “antes bien en la intuición que en análisis de ingeniería perspicaces fundamentados en datos confiables” y, por ende, no tienen un rendimiento significativa o consistentemente mayor que las estufas tradicionales (Prasad, 1983); en otras palabras, se requiere una mayor pericia para diseñar estufas claramente mejores.
- El consumo de combustible es menos una función del diseño de la estufa que de la disponibilidad y costo del combustible (Foley y Moss, 1983), por lo que, si la situación de la oferta de combustibles así lo exige, hay un campo de acción considerable para ahorrarlos, incluso con las estufas tradicionales. Por otra parte, el rendimiento energético de una estufa tradicional depende en cierta medida del control del usuario, además, su rango de variación es tan grande que, si se busca que las estufas mejoradas cuenten con la aceptación general, éstas tendrían que superar significativa y consistentemente el rendimiento energético alcanzable de las tradicionales.
- Las deficiencias dependen más del proceso de fabricación que del diseño del prototipo. Los modelos manufacturados son heterogéneos, frágiles, de vida corta y caros y, por una o más

de estas razones, no pueden competir con los modelos tradicionales (Manibog, 1984).

Aunque probablemente estos factores han contribuido al poco o nulo éxito de los proyectos de estufas en varios lugares, no es posible evaluar su efecto ni su importancia. En realidad, una de las deficiencias más frecuentes de la investigación sobre estufas consiste en que no abarca la prueba ni la evaluación sobre el terreno y, sin cualquiera de estas dos, todo juicio que se haga *a posteriori* sobre la investigación sólo podrá ser cualitativo e impreciso.

Con todo, un examen de los estudios disponibles sugiere que tanto la escasez de combustibles sólidos como el bajo rendimiento energético de las estufas tradicionales han sido exagerados. La escasez de combustibles de biomasa —o, para ser más precisos, sus altos costos estimados, ya sea desde el punto de vista de la mano de obra para la recolección, de los costos de producción y de oportunidad o de los precios— es estrictamente local y no contamos con información confiable respecto a cuán generalizada es en los países en desarrollo. El bajo rendimiento energético de las estufas tradicionales se debe, en parte, a la falta de coordinación entre las características de los combustibles sólidos y los requerimientos de la cocción y, en parte, a que el interés del usuario se centra en el mejoramiento al máximo de parámetros diferentes al rendimiento energético de los combustibles.

En su forma más simple, la cocción puede ser considerada como una serie de operaciones de transferencia de calor con requerimientos variables de insumos térmicos. La razón del alto rendimiento energético de la cocción con gas o kerosén reside en que ambos combustibles permiten el control preciso de la producción de calor; y es también la razón por la que son los combustibles preferidos de los usuarios en todas partes.

En las estufas de combustible líquido, el control de la producción de calor se ejerce mediante la regulación del suministro energético a través de una válvula; en las de kerosén, mediante la regulación del largo de la mecha. En efecto, la válvula o el portamechas separan la zona de combustión del depósito de combustible. Esa separación no puede hacerse cuando los combustibles son sólidos; en ellos, la zona de combustión forma parte del combustible y cada uno posee un patrón de tiempo específico

de suministro de calor. Por ejemplo: en un combustible con un alto contenido de humedad, el agua es lo primero en evaporarse; durante esa fase, el suministro de calor es bajo, pero a medida que se elimina el agua, aumenta el suministro de calor. Los combustibles con un alto coeficiente superficie a volumen, como la paja, el estiércol o el papel, arden y empiezan a suministrar calor rápidamente; aquellos con un coeficiente bajo, como el carbón duro, arden lentamente.

Los usuarios de las estufas aprenden o inventan la manera de hacer que los combustibles sólidos que arden lentamente produzcan el patrón de demanda de calor necesario. Primero, mezclan combustibles de quemado lento y rápido; por ejemplo: encienden el fuego con un combustible de encendido rápido, como la paja, y usan leños gruesos cuando quieren un fuego lento. Segundo, retiran combustible del área de combustión; las varas y leños son particularmente fáciles de retirar o desplazar. Tercero, apagan el fuego cuando no lo necesitan o cuando quieren reducir el suministro de calor. Finalmente, utilizan diversos dispositivos para cocinar: calentadores de agua de combustión rápida con chimenea para el baño; anafres de carbón vegetal para trabajos pequeños pero rápidos, como la preparación de té; hornos de barro voluminosos para cocciones prolongadas, etcétera. Todos esos dispositivos ahorran tiempo, y son utilizados los que el usuario puede pagar según su ingreso y la oferta de combustibles a su alcance. En los casos en que los combustibles no permiten una amplia gama de variación en la producción de calor, el tipo de cocción se adapta a ellos; por ejemplo: en lugares donde sólo hay disponibles combustibles que arden rápidamente, como la paja, el usuario prepara alimentos que puedan cocinarse rápidamente; entre las unidades familiares que parecen escasez de combustibles, los baños con agua caliente son poco comunes, etcétera.

Así, vemos que el bajo rendimiento en el uso de los combustibles para la cocción tiene su origen en el hecho de que el patrón de liberación de calor de los diversos combustibles sólidos sólo puede ser controlado y coordinado de manera imperfecta con el patrón de demanda de calor. El grado de desajuste varía de una operación de cocción a otra, al igual que el rendimiento energético del combustible; además, el usuario adopta prácticas —como retirar combustible del fuego o apagar éste— que mejoran la correlación entre los patrones de tiempo de suministro y demanda

de calor, pero que al hacerlo, reducen el rendimiento energético del combustible. Cuando los combustibles son escasos, los usuarios prestan más atención a esas prácticas —convenientes, pero que provocan un desperdicio de combustibles— y adaptan las operaciones de cocción a la escasez de combustibles. En resumen, el rendimiento energético de los combustibles refleja en parte el comportamiento del usuario en respuesta a la escasez o abundancia de los mismos; sin embargo, esa respuesta podría ser más lenta que el ritmo al que se desarrolle la escasez regional; si tal fuere el caso, podría producirse una escasez total.

Si la anterior interpretación es correcta, se hace necesario identificar primero las regiones de los países en desarrollo para las que se han estimado costos altos de los combustibles. (Los valores incluidos en el cuadro 11 sugieren que la oferta per cápita de biomasa combustible es baja en una porción de la tierra que se extiende de África occidental a Asia oriental.) Se sabe que, en las regiones que padecen escasez de combustibles, las ciudades sufren por los costos particularmente altos de los mismos. Por ende, la identificación de las regiones que la padecen constituye el primer paso para encontrar mercados para las estufas mejoradas. En esas regiones, es muy probable que algunas clases de consumidores sean más sensibles a la escasez de combustibles; por ejemplo: es probable que los propietarios de los establecimientos comerciales donde se preparan alimentos sean más conscientes del impacto de los costos de los combustibles sobre la viabilidad de su negocio, aunque el combustible pueda representar una proporción menor de sus costos que de los costos de las unidades familiares.

Incluso una vez hecha la identificación mencionada, no siempre sería correcto suponer que el rendimiento energético de los combustibles es una cuestión de interés primordial para los usuarios de estufas; antes bien, lo aconsejable es investigar qué características de una estufa tienen más valor para ellos. Algunas de esas características, como la capacidad de control de la producción de calor y el ahorro de tiempo, son universales; otras serán más probablemente específicas del lugar donde se usen las estufas, al menos en cierto grado; por ejemplo: la inexistencia de emisiones de humo tendrá un mayor valor en lugares cerrados y reducidos, mientras que la radiación de calor será un inconveniente en climas cálidos. Por ello, una estufa que satisfaga un gran número de necesidades de los consumidores tiene mayores probabilidades de

ser aceptada que una que ofrezca un buen funcionamiento en un solo aspecto.

Finalmente, la clave para el control de la producción de calor, así como para el mejor rendimiento energético de los combustibles, reside en la regulación de la razón combustible a aire, cuyo ajuste desempeña una función capital en la operación eficaz de los hornos industriales. Las estufas con un alto rendimiento energético fueron desarrolladas en los países industrializados hace más de un siglo; sus características fundamentales eran una caja de fuego cerrada y una entrada de aire controlable. Aunque ni el diseño de los hornos modernos ni el de los antiguos pueda ser adecuado para las estufas de cocina en los países en desarrollo, se espera que las investigaciones sobre la regulación de la razón combustible a aire producirá adelantos en este campo.

VI. LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

En los países en desarrollo, los problemas relacionados con la energía tienen su origen en el hecho de que el proceso de crecimiento depende de la oferta de energía inanimada. Esos problemas ya eran graves antes de la crisis del petróleo, y empeoraron después de la caída de los precios del bien. En conjunto, los países en desarrollo son altamente dependientes del petróleo y la mayoría de ellos, del mercado internacional del energético, de ahí que el futuro mundial del petróleo y de la energía sea de gran interés para ellos. Por necesidad, ese futuro es incierto, por lo que reducir esa incertidumbre mediante la investigación es importante.

En parte, esa incertidumbre se relaciona con las reservas definitivas de petróleo, cuya base ha sido puesta en tela de juicio por la teoría del origen no biológico del gas y del petróleo. Ya sea cierta o falsa esa teoría, la intensidad y la calidad de las exploraciones realizadas en el pasado en la mayoría de los países en desarrollo ha sido lenta, y todavía hay campo de acción para más exploraciones. En este caso, los contratos de exploración entre los países en desarrollo y las compañías petroleras exigen una combinación compleja de pericia legal y económica y tienen que ser redactados tomando en consideración las circunstancias locales. Las actividades de exploración en los países en desarrollo han sido lentas incluso después de la crisis del petróleo, la mayoría de ellas se ha concentrado en países con perspectivas probadas y han sido realizadas por las compañías petroleras nacionales. Por lo tanto, es probable que en los países en desarrollo donde no se han efectuado suficientes exploraciones ello se deba a que sus perspectivas de encontrar petróleo han sido consideradas demasiado reducidas o riesgosas por las compañías transnacionales; si tal es el caso, se requiere que en esos países se realicen investigaciones para el establecimiento de estructuras institucionales opcionales para la exploración.

Los mercados y los precios internacionales del petróleo, por otra parte, son igualmente inciertos, y, si bien una parte de esa

incertidumbre puede reducirse, sigue siendo importante para un país entender mejor cómo funciona el mercado y cómo se comportan los precios del petróleo.

Si el petróleo empezara a agotarse, el metanol del gas sería el primer sucesor, ya sea como combustible para vehículos, ya como insumo para la gasolina basada en el gas, y la investigación sobre su comercialización sería emprendida por los países industrializados. La fabricación de metanol a partir de la madera sólo sería factible en los lugares donde las divisas fuesen escasas y la madera barata.

El etanol ya ha sido comercializado en Brasil y en Zimbabwe, pero existen pocos países en desarrollo con perspectivas igualmente favorables. A pesar de que la producción de etanol es un proceso ya bien establecido, su economía puede mejorarse mediante la investigación dirigida hacia la reducción de los costos de las materias primas, el incremento de la capacidad de utilización y el aumento del rendimiento de la fermentación.

El rápido incremento de 1973-1974 en los precios del petróleo desató el temor mundial de que el recurso se agotara en unos cuantos decenios y de que su suministro sufriera trastornos impredecibles en cualquier momento. Ello llevó a la búsqueda de medios para ahorrar y remplazar el petróleo y a un gran aumento repentino de las investigaciones con el mismo fin. A la inversa, la disminución de los precios del recurso a partir de 1982 provocó el descenso de la investigación sobre la energía y de los fondos disponibles para ella. En los países en desarrollo, ese descenso ha sido probablemente mayor, puesto que ellos se han visto gravemente afectados también por el estancamiento de la economía mundial.

En los países en desarrollo, según nuestra opinión, los problemas relacionados con la energía ya eran graves antes de la crisis del petróleo, y continúan siéndolo después de la reciente caída de los precios de ese recurso. Y ello es así porque esos problemas no tienen su origen simplemente en la dependencia respecto al petróleo, sino también en el hecho de que el proceso de crecimiento depende de la oferta de energía inanimada. La diferencia entre los países en desarrollo y los industrializados se debe a que las consecuencias que el crecimiento de cada uno de ellos tiene sobre la energía son diferentes. Dado que los países industrializados han alcanzado altos

niveles de ingreso, consumo de energía y capacidad tecnológica, pueden mantener tasas de crecimiento similares a las de los últimos decenios y, además, arreglárselas para restringir también el aumento del consumo de energía a un ritmo reducido y controlable. Los países en desarrollo, por su parte, enfrentan dificultades mucho mayores para hacer lo que los industrializados debido a que es necesario que sus tasas de crecimiento e incremento de la productividad sean más altas y a que su crecimiento implica un cambio hacia actividades con un uso más eficaz de la energía; por estas razones, el desarrollo de su capacidad tecnológica con el propósito de hacer frente a los problemas relacionados con la energía es de fundamental importancia para ellos.

En su conjunto, los países en desarrollo dependen en grado extremo del petróleo. Si excluimos a China e India, los mayores productores de carbón entre ellos, tenemos que el 61% de la energía comercial consumida en 1980 por los otros provino del petróleo (World Bank, 1983a). Por ello, los países que dependen del petróleo necesitan tener una política petrolera y deben elaborar supuestos para formular las medidas de política que requieren investigación.

Una política petrolera nacional debe formularse dentro del contexto mundial de la energía, ya que, en el estado actual del conocimiento, la incertidumbre respecto al futuro mundial de la energía supera con mucho lo predecible. Lo predecible se refiere específicamente a:

- *La posibilidad del calentamiento de la tierra* (tema que abordamos en el capítulo XII, en la sección sobre el “efecto invernadero”). Si las probabilidades de tal suceso fuesen establecidas más definitivamente y se llegase a la conclusión de que la única manera de impedir sus efectos perturbadores sería la reducción del consumo mundial de combustibles carbónicos, el mundo tendría que cambiar en unos cuantos decenios del uso de ese tipo de combustibles a otro tipo de combustibles alternativos, de los que la electricidad nuclear y el hidrógeno son los únicos que podrían ser producidos en cantidades que satisfarían incluso la demanda actual de los países industrializados.
- *Los riesgos de la energía nuclear*, sobre los que ahora sabemos más, si bien lo que sabemos puede verse influido significati-

vamente por los accidentes futuros... o porque no los haya. Si, a nivel mundial, se llega a considerar que esos riesgos son inaceptables, las únicas fuentes de energía importantes a las que el mundo podría recurrir son el sol y el hidrógeno (Bockris y Veziroglu, 1985). No obstante, es muy probable que los costos de inversión para explotar esas fuentes sean tan altos que, desde el punto de vista económico, resulte más atractiva una estrategia radical de conservación.

- *La posibilidad de que el calentamiento de la tierra llegue a ser considerado como menos probable o más controlable y la energía nuclear como extremadamente riesgosa.* En este caso, se tendrían argumentos para seguir dependiendo de los combustibles fósiles hasta que sus costos llegaran a ser demasiado onerosos o hasta que sus efectos sobre el medio ambiente se volvieran intolerables; sin embargo, aun antes de que ello ocurra, los efectos evidentes de la lluvia ácida y su relación con la combustión en gran escala de combustibles fósiles constituyen argumentos en favor de una estrategia de conservación, al menos en las regiones donde se concentra la combustión.

Las opiniones de los miembros del Grupo se dividen entre las posibilidades arriba mencionadas; sin embargo, todos estamos de acuerdo en que, en el estado actual del conocimiento, es posible sostener razonablemente una gran variedad de puntos de vista respecto al futuro. Reducir la incertidumbre es un asunto de interés para todo el mundo, por lo que los países en desarrollo harían bien no sólo en tomar nota de lo que ocurra a ese respecto sino en participar también en la investigación con ese propósito; mientras tanto, no obstante, sería justificable que supusieran que el petróleo mantendrá o deberá de mantener su importancia durante los próximos decenios.

EL PETRÓLEO

Si bien la importancia del petróleo para los países en desarrollo es incontestable, medir su grado es difícil. En el cuadro 7 presentamos la lista de los países en desarrollo para los que la carga de las

importaciones de energía fue más pesada en 1981. La manera de medir esa carga podría generar controversias, por lo que lo más simple sería relacionar las importaciones de energía con las exportaciones de mercancías; en los últimos años, no obstante, los ingresos invisibles han adquirido importancia para algunos países: ingresos provenientes del turismo, en el caso de algunos, remesas de emigrantes, en el caso de otros. Para otros países, los pagos invisibles —los pagos de intereses, sobre todo— han creado dificultades, aun en los casos de una balanza comercial favorable. Consecuentemente, no sólo relacionamos las importaciones de energía con las exportaciones de mercancías sino también con todos los ingresos importantes de la cuenta corriente.

Algunos países exportadores de petróleo enfrentan el problema inverso al de la dependencia excesiva de ese recurso. El aumento del valor de las exportaciones de petróleo conduce a la revaluación de la moneda, el descenso de la industria y la especialización creciente de la base de actividades del país. El peligro es mayor cuando la razón reservas a producción es baja y se espera que el petróleo se agote en un futuro cercano; en esas circunstancias, es difícil reestructurar la economía a un ritmo tal que asegure que no habrá una caída del ingreso per cápita cuando se agote el petróleo. Para identificar a esos países, proporcionamos las cifras sobre la dependencia respecto a las exportaciones de petróleo y la razón reservas a producción de los países en desarrollo que dependen en gran medida de dichas exportaciones (cuadro 8).

Después de 1981 ya no han sido publicadas las cifras al respecto, pero la caída de los precios del petróleo cambió sustancialmente la situación. La razón importaciones de petróleo a exportaciones de los países incluidos en el cuadro 7 ha disminuido y, al mismo tiempo, algunos se han hundido aún más en el endeudamiento, mientras que los términos del intercambio comercial de otros se han visto empeorados por la depreciación del tipo de cambio y la caída de los precios de las exportaciones; sin embargo, los países listados en los cuadros 7 y 8 son aquellos a los que su dependencia del petróleo les plantea problemas a largo plazo y exige soluciones también a largo plazo.

Los grados de generalización en que pueden buscarse las soluciones para los problemas que surgen de la dependencia del petróleo son diferentes. Todos los países pueden abordar los problemas mediante políticas macroeconómicas; también pueden

CUADRO 7. Importaciones de energía como proporción de las exportaciones y los ingresos de divisas (millones de dólares de E. U.), 1981^a

<i>País</i>	<i>Importaciones de energía</i> [1]	<i>Exportaciones de mercancías</i> [2]	<i>Ingresos de divisas^b</i> [3]	<i>Importaciones de energía como porcentaje</i>	
				<i>De los ingresos de divisas</i> [1/3]	<i>De las exportaciones</i> [1/2]
Brasil	12 049.4	23 276.0	10 340.0	116.5	51.8
Guatemala	749.2	1 299.0	974.9	81.5	61.1
Costa de Marfil	543.1	2 734.0	819.6	66.3	19.9
Turquía	3 903.5	4 703.0	5 937.0	65.7	83.0
Kenia	720.7	1 072.0	1 161.1	62.1	67.2
Trinidad y Tobago	1 192.0	2 531.0	2 030.7	58.7	47.1
India	6 531.8	8 437.0	11 450.0	57.0	77.4
Marruecos	1 121.0	2 283.0	2 001.0	56.0	49.1
Nicaragua	216.9	500.0	408.3	53.1	43.4
Jamaica	496.7	974.0	959.9	51.7	51.0
Uruguay	534.6	1 229.7	1 130.7	47.3	43.5
Tailandia	2 974.7	6 902.0	6 362.0	46.8	43.1
Filipinas	2 574.9	5 722.0	5 653.0	45.5	45.0
República Dominicana	475.2	1 188.0	1 045.8	45.4	40.0
Liberia	127.4	529.0	291.0	43.8	24.1
Etiopía	164.6	374.0	379.7	43.3	44.0
República de Corea	7 864.0	20 671.0	19 653.0	40.0	38.0
Sri Lanka	466.2	1 062.5	1 250.8	37.3	43.9
Tanzania	283.0	688.3	760.0	37.2	41.1

El Salvador	213.8	768.0	648.0	33.0	26.8
Pakistán	1 497.6	2 730.0	4 737.0	31.6	54.9
Costa Rica	203.3	1 003.0	681.9	29.8	20.3
Sudán	289.5	792.7	1 002.4	28.9	36.5
Colombia	797.5	3 219.0	2 868.0	27.8	24.8
Chile ^c	963.6	4 705.0	3 498.0	27.5	20.5
Jordania	739.3	733.2	2 776.1	26.6	100.8
Túnez	684.8	2 102.0	2 685.0	25.5	32.6

^aÚnicamente países cuyas importaciones de energía como porcentaje de los ingresos de divisas fueron superiores al 25%.

^bLos ingresos de divisas fueron calculados sumando las exportaciones de mercancías, otros bienes y servicios (créditos netos) y las transferencias (privadas y públicas) no pagadas.

^cDatos correspondientes a 1980.

Fuentes: Compilado a partir de World Bank, 1982b, 1983b y 1984 y FMI, 1984.

CUADRO 8. Dependencia de las exportaciones de petróleo (1981)
y razón reservas-producción (1982) de los principales países exportadores de petróleo

País	Exportaciones de 1981 (millones de dólares E. U.)		Como porcen- taje de las exportaciones totales de mercancías [3 = 1/2]	Exportaciones de energía probadas estimadas al 1/1/1983 (millones de b) ^a [4]	Reservas de petróleo. Producción de petróleo estimada para 1982 (millo- nes de b/día) [5]	Razón producción/ reservas (años) [4/5 x 365 días]
	Petróleo y sus productos [1]	Todo tipo de bienes [2]				
Libia	15 513	15 571	99.6	21 500	1.127	52.3
Iraq ^b	10 914	11 064	98.6	41 000	0.914	122.9
Arabia Saudita	116 222	119 916	96.9	162 400	6.484	68.6
Irán ^c	250 555	25 943	96.6	55 308	1.896	79.9
Nigeria ^d	15 563	16 405	94.9	16 750	1.324	34.7
Emiratos Árabes Unidos ^b	8 585	9 078	94.6	— ^f	— ^f	— ^f
Omán	4 420	4 696	94.1	1 730	0.328	22.8
Venezuela	16 265	17 518	92.8	21 500	1.826	32.3
Argelia ^e	14 313	15 624	91.6	9 440	0.750	34.5
Qatar	4 920	5 389	91.3	3 425	0.340	27.6
Trinidad y Tobago ^e	3 378	3 761	89.8	580	0.182	8.7
Congo ^e	856	955	89.6	1 550	0.087	48.8
Gabón	1 925	2 189	87.9	460	0.130	9.7
Kuwait	13 178	16 300	80.8	64 230	0.675	260.7
Siria ^e	1 662	2 108	78.9	15 210	0.175	23.8
México	13 910	19 379	71.8	48 300	2.734	48.4
Indonesia	14 393	22 260	64.7	9 550	1.341	19.5

Egipto	2 082	3 232	64.4	3 325	0.667	13.7
Brunei	2 413	4 022	60.0	1	0.155	21.9
Ecuador ^d	1 178	2 104	56.0	1 400	0.215	17.8
Túnez	1 352	2 504	54.0	1 860	0.106	48.1

^a1 barril (b) = 159l.

^bDatos correspondientes a 1978.

^cDatos correspondientes a 1977.

^dDatos correspondientes a 1979.

^eDatos correspondientes a 1980.

^fDatos no disponibles.

Fuentes: McCaslin, 1983, Naciones Unidas, 1984.

buscar soluciones a través de la administración de la demanda de energía y a través de su conservación (véanse los capítulos IV y V); asimismo, pueden explorar la viabilidad económica de la producción de sustitutos del petróleo (los cuales abordamos en este y el siguiente capítulo); pueden, en fin, buscar petróleo dentro de sus propias fronteras y producirlo; por lo demás, los países que lo producen o lo importan pueden refinarlo.

Las reservas mundiales de petróleo

Las estimaciones más cautelosas y confiables sobre las reservas mundiales de petróleo, incluso las más recientes, indican que esas reservas sólo podrán durar unos cuantos decenios más. Ahora bien, los especialistas más meticulosos han caracterizado esas estimaciones como francamente “subjetivas” y sujetas a amplios márgenes de error; por ejemplo: mientras que la estimación media de las reservas hecha por Masters (1983) para la Conferencia Mundial sobre la Energía de 1983 fue de 182 G ton (gigatoneladas), por otro lado se planteó que existía un 95% de probabilidad de que fueran de 149 G ton y un 5% de que fueran de 306 G ton. Dichos especialistas creen también que, para que se confirmaran las estimaciones más altas, sería necesario descubrir nuevos mantos petrolíferos como los de Arabia Saudita, lo cual consideraran improbable. No obstante, las estimaciones responden a los nuevos descubrimientos, en particular a los de mantos gigantes y supergigantes, puesto que los expertos toman los mantos conocidos como punto de partida para calcular la existencia de más reservas indeterminadas.

Los geólogos convencionales especializados en el petróleo sostienen como premisa básica que casi todos los hidrocarburos subterráneos se formaron a partir de biomasa y de animales marinos sepultados bajo tierra. Recientemente, Gold (1985) resucitó el punto de vista contrario, que él hace remontar hasta Mendeleiev (1877), en el sentido de que el origen de la mayoría de los hidrocarburos no es biológico. Según Gold, el metano se genera en las grandes profundidades de la tierra y emigra hacia la superficie; de él, una parte se convierte en dióxido de carbono y escapa a la atmósfera, pero la mayor parte permanece atrapada

bajo la superficie, incluido el que se ha convertido en petróleo. Los residuos biológicos que caracterizan las formaciones petrolíferas y gaseosas no son exclusivos de ellas, ya que también se encuentran en rocas que no son petrolíferas. Gold apoya su teoría en el hecho de que, en las atmósferas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, es común el metano cuyo origen, claramente, no es biológico y en que también se puede deducir la existencia de sustancias parecidas a las bituminosas en los asteroides. Si la teoría es correcta, aguardan a ser descubiertas cantidades de gas, y también de petróleo, mucho mayores que lo que esperan los geólogos convencionales.

Más aún, según ese autor, los hidrocarburos todavía no descubiertos no se encuentran donde los geólogos convencionales lo esperan, sino cerca de los límites de las placas y más profundamente. Puesto que no han sido buscados ahí, la cantidad de pruebas directas que apoyen la teoría de Gold es reducida, y muchas pruebas más tendrán que acumularse antes de que esa teoría pueda aplicarse a la exploración petrolera; sin embargo, sus posibles consecuencias para los países en desarrollo, en particular para los que cuentan con poco petróleo, serían portentosas, por lo que, en su propio interés, esos países deberían fomentar y participar en las investigaciones que ayuden a probar la validez de la teoría.

Incluso si esa teoría fuese errónea, en los países en desarrollo existen grandes zonas en las que, según la geología convencional, probablemente existe petróleo. Las probabilidades de encontrarlo dependen, no de las reservas mundiales que esperan ser descubiertas, sino de la intensidad y de la calidad de las exploraciones hechas en el pasado, que son reducidas en un gran número de esos países (Halbouty, 1983; Parra, 1983). Por lo tanto, dondequiera que existan tales zonas, la exploración es perentoria, sin importar el pesimismo mundial respecto a las reservas restantes.

La exploración y la explotación

La aparición de las técnicas de perforación marina y profunda, cuya competitividad se vio incrementada altamente por el aumento de los precios del petróleo, convirtió las tecnologías de explo-

ración y producción, que ya en los años 1960 eran relativamente bien desarrolladas, en tecnologías de avanzada en rápido cambio. A su vez, esa aceleración del cambio tecnológico provocó un cambio en el mercado de la tecnología. Antes, las compañías petroleras, en particular las más grandes, ejercieron un mejor dominio de la tecnología que otras empresas exteriores a la industria del petróleo; en los últimos quince años, no obstante, el mercado de la tecnología petrolera ha tendido a dividirse en un gran número de mercados especializados, cada uno dominado por unas cuantas firmas (Surrey y Chesshire, 1984).

Los principales productores transnacionales de petróleo ya no son los principales propietarios o controladores de la tecnología petrolera; sin embargo, siguen siendo los poseedores, por una parte, de una experiencia de campo que es importante para interpretar y hacer frente a las condiciones geológicas específicas de cada lugar y, por la otra, de una competencia en tecnologías integradas de compañías especialistas, tecnologías que son necesarias para tareas específicas de exploración o explotación.

En el decenio de los años 1960, las principales compañías petroleras suministraban el petróleo a las economías de mercado a partir de un reducido número de campos muy productivos cuyos reducidos costos de producción hacían difícil competir con ellas a las recién llegadas, por lo que el mercado del petróleo era oligopólico y estable; a principios de los años 1970, no obstante, las concesiones que esas compañías petroleras tenían en el norte de África y en Asia occidental fueron nacionalizadas y ello las convirtió, de propietarias, en distribuidoras de petróleo; consecuentemente, se interesaron más en la exploración de nuevas zonas. El hecho de que los países productores de petróleo expropiaran las ganancias de las principales compañías petroleras redujo la capacidad de competencia de éstas y facilitó el ingreso al mercado de las recién llegadas; así, durante el decenio de 1970 se desarrolló un mercado de contratos de exploración y producción en el que la norma era que un país concesionara zonas para la exploración y en el que tanto la atracción de licitaciones como la redacción de contratos se convirtieron en operaciones especializadas. La pericia que esas operaciones requieren ha sido proporcionada por consultores profesionales y por programas de asistencia técnica de las agencias de la ONU y ha constituido también un área en la que se han producido algunos buenos estudios (*e. g.*, Hossain, 1979; Van Meurs, 1981). Dado que

los contratos de exploración exigen una compleja combinación del derecho y la economía y puesto que los contratos sobre el petróleo tienen mucho en común con los contratos sobre otros recursos, la investigación seguirá siendo necesaria en esta área para la aplicación de principios a situaciones nuevas y para la sistematización de la experiencia.

Con todo, no es evidente que lo único que necesiten los países en desarrollo sea idear los términos adecuados de un contrato, ya que las compañías petroleras requieren una combinación de bajo riesgo político y altos rendimientos económicos que pocos de esos países pueden ofrecer (Parra, 1983); además, de las principales expansiones de la producción de petróleo a partir de 1973, dos se dieron en países industrializados —una en el mar del Norte y otra en la bahía de Prudhoe— y una en México, país vecino de Estados Unidos. Por todo ello, atraer a las compañías petroleras es muy difícil para aquellos países en desarrollo que, debido a sus grandes mercados nacionales y a lo reducido de sus descubrimientos de petróleo, muy probablemente no se convertirán en exportadores importantes de ese recurso.

En ese sentido, las estadísticas elaboradas (cuadro 9) a partir del banco de datos desarrollado por las firmas de consultores IED

CUADRO 9. Indicadores de la actividad exploratoria en los países en desarrollo importadores de petróleo, años selectos, 1973-1983

	<i>Año</i>	<i>Productores</i>	<i>No productores</i>	<i>Total</i>
Tenencias contractuales de derechos de prospección (millones de km ²)	1973	1.58	5.92	7.50
	1980	1.57	2.55	4.12
	1981	1.53	2.87	4.40
Trabajo sísmico (1 000 km lineales)	1973	125.10	86.60	211.70
	1980	237.90	60.40	298.30
Pozos exploratorios perforados (número)	1983	638.00 ^a	40.00	678.00 ^a

^aIndia no está incluida en los datos y éstos son probablemente incompletos en el caso de otros países.

Fuente: Información derivada a partir de Foster, 1985.

Consulting y EDPRA Consulting son reveladoras. Entre 1973 y 1981, las concesiones otorgadas por los países en desarrollo productores de petróleo permanecieron aproximadamente constantes, mientras que las otorgadas por los países en desarrollo no productores de ese recurso disminuyeron drásticamente; los estudios sísmicos casi se duplicaron en los países en desarrollo productores y disminuyeron también en los no productores; de los 678 pozos exploratorios perforados en países en desarrollo, sólo 40 se hicieron en países no productores. Vemos, así, que las actividades de exploración se concentran altamente en países cuyas perspectivas ya han sido demostradas y han dado como resultado la producción de petróleo; por lo demás, la mayor parte de esas actividades realizadas en los países productores de petróleo no ha sido efectuada en absoluto por compañías transnacionales, ya que más del 70% de las mismas lo llevaron a cabo compañías petroleras nacionales de Argentina, Brasil y la India (Foster, 1985).

Lo reducido de las exploraciones en los países en desarrollo puede deberse a la falta de un tipo de convenio adecuado. En general, en los casos en que las perspectivas de un descubrimiento de petróleo son altas, las compañías internacionales están dispuestas a correr todos los riesgos a cambio de una participación en la explotación del recurso que finalmente se descubra, pero debido a que las perspectivas del descubrimiento pueden no ser tan buenas, a que un país importador de ese recurso puede no estar dispuesto a que parte del petróleo sea exportada, a que la ubicación del país puede dificultar su acceso al mercado del bien o, en fin, a que la compañía petrolera puede considerar que existe un riesgo político, es necesario que los términos de la compensación varíen para reflejar esas condiciones, y ello ha hecho que prevalezca una gran variedad de contratos. En este caso, no obstante, cierto tipo de investigación que relacionara todas las situaciones posibles con los contratos óptimos para ellas podría facilitar que se llevara a cabo un mayor número de exploraciones en los países en desarrollo.

Además, también es posible que las perspectivas de descubrir petróleo en los países en desarrollo, cuando aquéllas son reducidas o cuando existe un riesgo político, no hayan sido suficientemente estudiadas por la falta de compañías que ofrezcan a la venta los necesarios paquetes de servicios integrados. En este caso, el marco de referencia para llenar ese vacío institucional lo ofrecen

el Programa de Acción Caracas (Dorado, 1985) y cierto número de ideas constructivas elaboradas por Ross en un estudio (1984) escrito para el grupo. Consideramos que ésta es un área muy prometedora para la investigación y la acción.

Los mercados y los precios del petróleo

Cuando aumentaron los precios del petróleo a principios de los años 1970, el alza fue asociada inmediatamente con las bajas estimaciones que se habían hecho de la razón reservas a producción. El descenso de la producción de petróleo para los años 1970 había sido predicho por Hubbert (1962) diez años antes, basado en la teoría de que la producción de minerales seguía una curva logística; según esa teoría, los costos marginales de producción deberían aumentar progresivamente después de que se hubiese alcanzado una producción máxima y los precios deberían responder en el mismo sentido. En realidad, como lo demostraron los acontecimientos subsecuentes, los factores que influyen en los precios son más complejos.

En primer lugar, la idea de que la producción de petróleo es determinada por la oferta y de que la demanda se adapta a ella ya no es sostenible. Ya se ha demostrado que la demanda presenta una elasticidad respecto a los precios y, aunque una buena parte de su sensibilidad respecto a éstos la explica la sustitución reversible entre combustibles, existe un factor importante de aumento en la eficacia de la utilización que, según parece, sería irreversible; consecuentemente, el punto de vista de Odell (1984), en el sentido de que si los precios siguen siendo altos, el petróleo dejará de usarse antes de que se agote, ya no resulta tan extravagante.

En segundo lugar, los costos del petróleo no se han basado, quizá nunca, en los costos marginales; pero, sea lo que fuere, a partir de 1973, la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) ha ejercido una influencia sobre los precios que no ha tenido nada que ver con los costos. Más recientemente, el descenso de los precios ha sido identificado con el aumento de la participación en el mercado de petróleo de los países no pertenecientes a la OPEP, el consecuente debilitamiento de la influencia de ésta y, finalmente, la decisión de Arabia Saudita de abandonar su polí-

tica de restringir su propia producción para impulsar los precios al alza. En lo concerniente a la demanda, existen grandes compradores cuya influencia puede ser menos evidente, pero no por ello menos real.

Finalmente, la idea de que, aun cuando fuesen determinados por los costos marginales, los precios sólo mostrarían un aumento continuo si se conociesen todas las reservas y se explotaran primero las más baratas está muy lejos de la verdad. Los nuevos descubrimientos de reservas de bajo costo son siempre posibles, como fue el caso en México durante el decenio pasado; más aún, el hecho de que se continúen descubriendo nuevas reservas virtualmente sin costo adicional durante algunos años después de que un campo entra en producción es inherente a la explotación de las reservas existentes, ya que la producción se inicia una vez que el mínimo necesario de reservas ha sido determinado mediante la exploración y porque, en el transcurso de la producción, se hace un acopio continuo de información con la que por fin es posible determinar las reservas recuperables totales, que casi invariablemente son más altas que las que se habían confirmado en un principio. Por lo demás, aun en el caso de que se conocieren todas las reservas, así como los costos de su explotación, algunos países preferirían explotar sus reservas de alto costo por razones de seguridad o de balanza de pagos.

Como vemos, la estructura del mercado internacional del petróleo es compleja y variable; por ello mismo, es de capital importancia que todo país en desarrollo que importa o exporta ese recurso se forje una idea de cómo habrán de comportarse los precios y, con ese propósito, obtenga y mejore la información necesaria para la comprensión del funcionamiento de dicho mercado.

LOS ALCOHOLES

Entre los sustitutos líquidos de los derivados del petróleo, los candidatos más adecuados son dos alcoholes, el metanol y el etanol, si bien su densidad energética es considerablemente menor que la de los combustibles basados en el petróleo —19.9 GJ/ton (gigajoules por tonelada) del metanol y 26.8 GJ/ton del etanol, contra 44 GJ/ton de la gasolina y 43 GJ/ton del diesel—, por lo que se necesitarían cantidades más altas de ellos para recorrer la

misma distancia, esto es, el mismo volumen del tanque de almacenamiento de un vehículo proporcionaría menos kilómetros de recorrido. No obstante, su alto número de octano implica que es posible utilizarlos como combustibles directos en motores con altos coeficientes de compresión y que se puede obtener del combustible un rendimiento más alto que el que podría esperarse por su contenido energético; así, se espera que, en un motor de alta compresión, el etanol puro alcance un rendimiento 20% más alto que el que podría esperarse por su contenido energético (World Bank, 1980b). Ahora bien, tanto el metanol como el etanol son altamente solubles en agua y, por ende, difíciles de separar de ella; por esa razón, mientras que existe tolerancia a cierta cantidad de agua si se usan solos, si se mezclan con gasolina, es imperativo que sean deshidratados.

Con todo y esas limitantes, si el petróleo llegase a ser significativamente más caro, el metanol y el etanol se convertirían en serios candidatos a la sustitución de los derivados del primero como combustibles vehiculares. La razón reside en el hecho de que, por ser líquidos, su manejo y transporte son más baratos que los de los combustibles sólidos o gaseosos. En efecto, en Estados Unidos, a pesar de que el gas natural es mucho más barato por unidad energética, los combustibles derivados del petróleo han predominado en el transporte carretero debido, en parte, a que el sistema de distribución fue desarrollado para los combustibles líquidos y para alimentar un gran parque de vehículos impulsados por derivados del petróleo, lo cual hizo que la penetración del gas en el mercado fuese imposible por los altos costos de ingreso a dicho mercado. Por todo ello, para los alcoholes sería más fácil que para los combustibles gaseosos apoderarse de una parte del mercado si, como decíamos antes, el petróleo llegase a ser más caro.

Si se añaden en pequeñas cantidades (entre el 5% y el 15%, aproximadamente), tanto el metanol —que ya se utiliza en la fabricación de aditivos para la gasolina de alto número de octano— como el etanol mejoran el octanaje de la gasolina y son preferibles a los aditivos de plomo o a otros procesos de refinación utilizados con ese propósito. Ése es el mejor uso de los alcoholes en los combustibles vehiculares y, desde el punto de vista económico, aun ahora se justifica en un gran número de circunstancias. También pueden ser utilizados en una mayor proporción (del 15 al 20%) como amplificadores para ser mezclados con la gasolina

sin la modificación del motor; en ese uso, lo que importa es que sus costos sean menores que los de la gasolina, y la fijación del precio virtual de esta última, según las condiciones locales, puede verse justificada por una escasez de divisas. Si los alcoholes resultasen más baratos o justificables desde el punto de vista económico, también se justificaría el diseño de motores para usarlos sin mezcla, siempre que la demanda fuese lo suficientemente grande.

El metanol

Desde hace mucho tiempo, el metanol, que se produce fundamentalmente a partir de la nafta o del gas natural, ha sido utilizado como solvente y como producto intermedio para el ácido acético y otras sustancias químicas, y todavía sigue siendo un producto químico de gran uso. Su facilidad de producción a partir del gas natural es lo que lo convierte en el principal candidato para sustituir a la gasolina, ya que, si los países industrializados llegasen a necesitar un sustituto, lo requerirían en grandes cantidades, y un sustituto basado en la biomasa no puede ser producido en volúmenes lo suficientemente grandes si no se dedican vastas superficies de tierra agrícola a su producción (Smil, 1983). Los sustitutos basados en la biomasa sólo serían atractivos para países con una gran superficie de tierra cultivable per cápita y podrían llegar a ser más aceptables como tales a medida que aumentase el rendimiento en el uso de combustibles líquidos; sin embargo, para los países industrializados en conjunto, el metanol proveniente del gas natural seguiría siendo de mayor interés.

El interés por el metanol aumentó con el desarrollo de un proceso de la Mobil Oil Corporation para hacer gasolina a partir de ese alcohol. El proceso es relativamente simple y sus costos en energía son bajos, y ya ha sido utilizado en Nueva Zelanda en una planta con una producción de gasolina de 14 500 b/d (barriles por día) a partir de gas natural. En Europa y Estados Unidos también se han hecho experimentos con un proceso de lecho fluidificado cuyo rendimiento es un poco más alto (World Bank, 1982a).

El proceso más común de conversión sintética de gas es un proceso a alta presión y alta temperatura, si bien sus costos de

capital son altos y sus economías de escala significativas hasta las líneas de producción simples con capacidad de 2 000 a 2 500 ton/día o 0.6 a 0.75 M ton/año (Humphreys, 1977), por lo que un país tendría que consumir de 3 a 4 M ton/año de gasolina para pensar en producir metanol para mezclas. Si un país deseara utilizar el metanol sin diluir en motores diseñados especialmente, tendría que importar automóviles impulsados por ese alcohol y, por ende, esperar a que algún otro país los lanzase al mercado —o fabricarlos y comercializarlos él mismo—. De cualquier manera, sólo un país con una gran demanda interna de gasolina puede tomar la iniciativa de sustituir ese combustible con metanol, lo cual limita las posibilidades a quizá una media docena de los principales países en desarrollo (o a combinaciones de países pequeños).

El metanol también puede ser producido mediante la gasificación de la madera y, de hecho, así fue producido hasta la aparición de los hidrocarburos como materia prima más barata. Esa tecnología ya fue modernizada (Reed, 1981; Egnéus y Ellegård, 1985), y también es posible que los adelantos en la hidrólisis enzimática mejoren el rendimiento de la madera como materia prima para la producción de etanol, que es un mejor combustible automotriz (Ostrovski *et al.*, 1985; Saida *et al.*, 1985); sin embargo, la recolección de madera en áreas lo suficientemente vastas para alimentar una planta de metanol es costosa, además, la madera tiene usos alternativos valiosos como material de construcción y en la industria del papel. Consecuentemente, si bien la experimentación sobre el metanol basado en la madera continúa, parece improbable que éste pudiera competir en el mercado internacional con el basado en el gas. En resumen, antes de que se pueda recomendar la realización de inversiones importantes en la investigación sobre el metanol obtenido a partir de la madera, sería necesario llevar a cabo una investigación, más rigurosa y específica de cada lugar de posible aplicación, de los procesos opcionales, ya que esas inversiones sólo serían factibles en los casos en que el precio virtual de las divisas fuese alto.

El etanol

Son muy pocos los países en desarrollo que, teniendo gas natural, todavía no hayan descubierto petróleo y, de entre ellos, son menos

aún aquellos cuya situación de balanza de pagos sea tan difícil que deban considerar el metanol como un sustituto de la gasolina; así, excepto para estos últimos, el etanol ofrece mejores perspectivas que el metanol. Ya existe un método bien establecido para la fabricación del etanol a partir de la biomasa; se trata de un proceso de fermentación en el que las economías de escala disminuyen gradualmente hasta un nivel mucho más bajo que en el caso del metanol; además, no parece haber economías de escala pronunciadas por sobre el nivel de los 240 000 l/día (200 ton/día), que es el nivel normal en las nuevas destilerías de Brasil; su base la constituye un proceso para la fabricación de ron que ha sido utilizado y es bien conocido en muchos países en desarrollo (Rolz *et al.*, 1983). Ahora bien, aunque la fabricación de ron y etanol se limita a los países cultivadores de caña de azúcar, en muchos países en desarrollo se lleva a cabo la fermentación de otras materias primas vegetales, y los cultivos ricos en azúcar y apropiados para la fabricación de etanol —principalmente maíz, sorgo azucarado y yuca— pueden llevarse a cabo en muchas condiciones agrícolas. En los países con poca tierra cultivable, no obstante, las materias primas vegetales para la fabricación de etanol tendrían que competir con otros cultivos; si tal fuese el caso y el país otorgase un alto valor a la seguridad alimentaria, la asignación de tierra para el cultivo de materias primas vegetales para la producción de etanol —y, de hecho, la asignación de tierra para muchos cultivos no alimentarios, incluida la madera para combustible, para la construcción y para el papel— se vería poco favorecida. En esas condiciones, la producción de cultivos no alimentarios dependería de un incremento en la productividad total de biomasa de la tierra.

Mientras que la economía del etanol como combustible vehicular parece ser favorable en Brasil, donde ese alcohol fue inicialmente comercializado mediante un subsidio, y en Zimbabwe (Goldemberg *et al.*, 1984; Kahane, 1985; Wenman, 1985), las indicaciones son menos favorables en todos los otros casos (Koide *et al.*, 1982); sin embargo, en Brasil ya existe la base para su producción, y también es producido en otros países para ser usado en bebidas y productos químicos, por ende, hay un vasto campo de acción para la experimentación de procesos acerca de los cuales existe un buen número de orientaciones prometedoras. En seguida indicamos las principales:

Reducción de los costos de las materias primas. Dado que la materia prima constituye el principal ítem de los costos, una reducción en su propio costo mejoraría significativamente la economía del alcohol; uno de los componentes principales es el costo del transporte, el cual puede reducirse incrementando el rendimiento de la caña de azúcar, aspecto en el que se concentra la investigación que se hace en Brasil.

Aumento de la utilización de la capacidad de la planta. La caña de azúcar es un cultivo de temporada que puede alimentar una planta durante, cuando mucho, seis meses al año, ya que, entre más se prolongue la temporada, menor será la recuperación de azúcar y mayor el peligro de enfermedad e incendio. Los especialistas han propuesto cierto número de medidas para mejorar la capacidad de utilización: una de ellas es el picado y secado de la caña para usarla a todo lo largo del año, como ocurre con el proceso EX-FERM (Jenkins *et al.*, 1982); otra, la concentración y almacenamiento del jugo de la caña; una más, en fin, una combinación de caña de azúcar y sorgo como materias primas (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981).

Mejoramiento de los procesos. Los adelantos en la química de la fermentación han llevado a la idea de utilizar fermentadores más eficaces, incluida la inmovilización celular (Tokuyama, 1984) y los reactores de lecho integrados (de Cabrera *et al.*, 1982)



VII. LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS

La baja densidad energética de los combustibles gaseosos provoca que su almacenamiento y transporte sean costosos. Cuando son producidos a partir de biomasa voluminosa, es necesario explotarlos en una escala reducida para los mercados locales. El gas natural exige una gran inversión; sin embargo, para justificarla, es necesario encontrar antes un mercado vasto y establecer una red de distribución.

Las perspectivas de descubrimiento de gas natural son mejores que las del petróleo, por ende, la exploración es atractiva para los países en desarrollo. Una vez encontrado, su explotación requiere una síntesis de muchas investigaciones en cierto número de campos antes de que pueda emprenderse la inversión, esto es, es necesario hacer investigaciones sobre la administración de los depósitos, sobre el mercado, la tecnología, las finanzas y los convenios contractuales. Primero es necesario encontrar mercados amplios y concentrados para el gas; una vez que se tienen esos mercados, el aprovechamiento del gas puede extenderse al uso doméstico y vehicular; para este último uso, no obstante, quizá sea más conveniente convertir el gas en combustible líquido, como metanol o gasolina.

A pesar de que se han construido millones de plantas de biogás y de que se ha observado que muchas de ellas funcionan mal, los estudios sistemáticos que se han hecho para el diagnóstico de su operación son pocos. Hasta ahora, el desarrollo del biogás ha estado estrechamente relacionado con los animales de establo, por lo que, si se busca una mayor difusión de ese energético, es necesario entender mejor su relación con los sistemas agrícolas. Las orientaciones de la investigación sobre la tecnología del biogás, esto es, la inmovilización celular y los procesos de dos etapas, son prometedoras.

En el siglo XIX, el gas se obtenía a partir del carbón en grandes instalaciones de gasógenos o generadores de gas, proceso que sobrevivió en algunos países industrializados hasta los años 1960; sin

embargo, el interés reciente de los países en desarrollo se ha centrado en pequeños gasificadores basados en la biomasa, pero esos gasificadores plantean diferentes problemas. El gas de generador es extremadamente sensible a la competencia y sus costos dependen en gran medida del costo de la madera o el carbón vegetal utilizados en su producción, por lo que la investigación para reducir sus costos mejoraría las perspectivas de ese tipo de gas. Las investigaciones sobre el diseño de gasificadores son numerosas y es necesario difundirlas y aplicarlas a las condiciones locales. En los casos en que los gasificadores ya hayan sido comercializados, la investigación de diagnóstico sobre sus defectos llevaría a la elaboración de mejores diseños y a la organización de su fabricación de tal manera que se redujesen al mínimo sus defectos. Reducir la complejidad de operación de los gasificadores debería ser uno de los principales objetivos de la investigación.

El hidrógeno puede obtenerse reformando, mediante vapor, el gas hidrocarbónico o el petróleo; también, mediante la electrólisis del agua. Como quiera que sea producido, no es probable que pueda competir con los combustibles fósiles mientras éstos sean baratos; sin embargo, si los combustibles fósiles fuesen prohibidos por motivos de conservación del medio ambiente, el hidrógeno podría llegar a ser viable en algunos mercados. Dos mercados prometedores son el almacenamiento de energía en las centrales eléctricas para hacer frente a los momentos de carga máxima y los vehículos terrestres y marinos de largo alcance. Esos usos, no obstante, son remotos, al menos hasta que la lluvia ácida y el calentamiento de la tierra provoquen una alarma mucho mayor que la actual; hasta entonces, el hidrógeno sólo puede ser importante para países con lugares adecuados para la instalación de centrales hidroeléctricas, balanza de pagos difícil y pocas reservas de carbón y petróleo.

Por unidad de volumen, los combustibles gaseosos poseen una baja densidad energética —que puede ser incrementada mediante la compresión o el enfriamiento, pero ello tiene su costo—; consecuentemente, sus costos de almacenamiento, manejo y transporte son altos en relación con su valor. Lo económico es consumirlos a medida que son producidos y cerca del lugar de producción, lo cual constituye una ventaja de los mercados locales y de las pequeñas economías de escala, ventaja que aumenta

cuando los gases combustibles son producidos a partir de la biomasa, como la madera y los residuos animales, que tienen altos costos de transporte por valor unitario. Así, vemos que esos gases son particularmente adecuados para aplicaciones reducidas y descentralizadas. No obstante, a menudo es inevitable la gran escala en la producción de gas natural debido a la inversión requerida y entonces se hace necesario desarrollar un mercado lo suficientemente grande para el energético e invertir en la indispensable red de transporte y distribución.

EL GAS NATURAL

En el capítulo anterior, nos referimos a la teoría de que los hidrocarburos se forman en las grandes profundidades de la tierra y después ascienden a la superficie a través de fisuras en la corteza terrestre. De ser cierta, esa teoría tendría un efecto mucho mayor sobre nuestra opinión respecto a la disponibilidad final del gas natural que respecto a la del petróleo, ya que la mayoría de los hidrocarburos así formados serían metano, cuyas reservas serían mucho mayores que lo que sugieren las estimaciones actuales; además, modificaría nuestras expectativas acerca del emplazamiento de esas reservas, ya que se encontrarían a mayores profundidades que los depósitos de gas que hasta ahora han sido extensamente explorados. Si tales depósitos gigantescos existieran en las grandes profundidades terrestres, los costos de capital de su explotación serían más altos, pero el suministro de gas podría extenderse mucho más hacia el futuro. La clave para probar la existencia de esas reservas posibles se encuentra en la geofísica y en la geoquímica, y ya sea que los países en desarrollo participen o no en la investigación necesaria, su interés en observar los avances en la materia debería ser muy grande.

La teoría que nos ocupa no concuerda con la geología convencional del petróleo, que atribuye el origen de éste y del gas a plantas y organismos sepultados (North, 1982); no obstante, en la geología del petróleo se acepta la hipótesis de que parte del gas natural se origina en el magma terrestre. Se sabe también que las condiciones de formación del gas son más numerosas que las del petróleo: mientras que toda materia orgánica puede generar gas

cuando permanece sepultada el tiempo suficiente a la profundidad suficiente, la capacidad de generar petróleo varía entre los diferentes tipos de materia orgánica (Tissot y Welte, 1984); por ello, el gas puede encontrarse en mayores cantidades y en una mayor variedad de formaciones geológicas que el petróleo. Por lo tanto, vemos que los países en desarrollo tienen, en promedio, más probabilidades de encontrar gas que petróleo, si bien, por supuesto, las probabilidades varían en función de las formaciones geológicas.

Una vez que las reservas son descubiertas, debe tomarse la decisión sobre si han de explotarse, cuándo y a qué ritmo, decisión que a menudo exige una gran cantidad de información y análisis, ya que, por lo general, la economía de la explotación del gas es menos favorable y más incierta que la del petróleo. La razón reside en el hecho de que la mayoría de los países en desarrollo tienen instalada una red de distribución que, aun cuando pueda no ser muy extensa, proporciona un mercado básico. Cuando se descubre gas, es necesario instalar su red de distribución, la cual es de uso más intenso de capital que la del petróleo debido a que las instalaciones para almacenamiento, manejo y transporte son más costosas y a que la densidad energética del gas es baja. Si se tienden gasoductos, es necesario identificar en su lugar de destino un mercado lo suficientemente grande para que absorba la producción. El mercado puede ser expandido mediante la extensión de la red a nuevos usuarios, pero para reducir los costos de capital del transporte, es necesario identificar desde el principio un número reducido de grandes usuarios. Una vez tendidos los gasoductos, la oferta de gas queda vinculada a los compradores durante un largo tiempo, por lo que, si se quiere que la inversión en la producción del energético rinda una ganancia razonable en ese tiempo, debe establecerse por adelantado la base para la determinación del precio que han de pagar esos compradores. En muchos usos, en fin, el gas tiene por lo general sustitutos adecuados a cuyos precios relativos es sensible su economía. En resumen, los grandes requerimientos de capital, la intensidad en el uso de éste, el reducido número de compradores y la presencia de sustitutos son, todos, factores que se combinan para hacer que la planeación anticipada sea de extrema importancia en la industria del gas; y los planes generan

exigencias de investigación, las cuales se refieren a cinco áreas relacionadas entre sí:

La disminución y la administración de los yacimientos. Esta área de investigación implica una combinación de la política nacional sobre recursos con los aspectos técnicos de la administración de los yacimientos.

El mercado. En este caso, se requiere información respecto a los principales compradores potenciales, los volúmenes que puedan comprar y el precio que puedan pagar. El precio, a su vez, dependerá de los precios de los sustitutos al alcance de los compradores. Por lo demás, la incertidumbre respecto a esos factores hace no menos necesario establecer las mejores estimaciones posibles (Julius, 1985).

La escala y los costos de producción. El gas, al igual que la electricidad, exige una planeación técnica detallada que, en su caso, implica una mayor complejidad debido a la incertidumbre que provocan la geología y los mercados.

La inversión y el financiamiento. Debido a que las inversiones que se requieren son muy grandes, casi siempre tiene que obtenerse un paquete de financiamiento y, dado que la disponibilidad del financiamiento dependerá del rendimiento de la inversión y de su confiabilidad, los análisis de mercado y la planeación de los proyectos constituirán factores importantes para tomar las decisiones finales (De Vallée, 1985).

Los convenios económico-legales. Puesto que, en los proyectos sobre el gas, vendedores, compradores y financieros quedan vinculados en relaciones de largo plazo, la formulación de los contratos que los obligan es compleja, exige coordinación y ofrece un vasto campo para la inventiva (Colitti, 1985).

Vemos así que, antes de que pueda emprenderse la inversión, la explotación del gas implica la síntesis de una gran cantidad de información proporcionada por la investigación; una gran parte de esa información es indispensable, y su calidad puede significar una enorme diferencia en cuanto a la viabilidad de los proyectos, que por lo general son riesgosos y sensi-

bles a la competencia. Una vez que se inician la producción y el uso del gas, su extensión a nuevos usos y usuarios es fácil; por ende, la calidad de la investigación es de particular importancia durante el periodo inicial de explotación, en el que se encuentran muchos países en desarrollo.

La sustitución del petróleo por gas en los usos doméstico y vehicular ofrece un interés potencial para los países que cuentan con gas, pero para los que es difícil importar suficiente petróleo; sin embargo, la aplicación del gas a esos usos no es fácil. El propano y el butano, cuyos puntos de ebullición son altos, son embotellados y destinados a usos en pequeña escala, esto es, como combustibles domésticos y vehiculares, pero su proporción en el gas natural es baja; en este último, el componente más importante es el metano, cuyo punto de ebullición es tan bajo, no obstante, que resulta antieconómico licuarlo, excepto para su transporte en gran escala a destinos distantes.

Si no se puede licuar el metano, lo mejor que se puede hacer es comprimirlo; sin embargo, comprimido a 16.55 MPa (lo cual requeriría recipientes resistentes y pesados), un vehículo sólo obtendría de él un tercio del radio de acción que le proporciona el petróleo, por lo que el uso del gas natural comprimido en vehículos requeriría más estaciones de distribución que el petróleo y una correspondientemente densa red de gasoductos. Para su uso doméstico, en cambio, el gas natural no necesita ser —en realidad, no debe ser— comprimido tanto, pero requiere una red de distribución más extensa. Como vemos, los usos doméstico y vehicular del gas exigen una considerable inversión en la distribución, lo cual se suma al costo del gas, por lo que, si fuese primordialmente para esos usos, la explotación del gas en nuevas áreas raramente se justificaría, en particular en los países en desarrollo, en los que los bajos ingresos restringen la demanda. Con todo, una vez que la producción y distribución del gas han sido establecidas en las ciudades, el aprovechamiento del energético para su uso doméstico y vehicular puede resultar económico.

Por otra parte, la inversión en la distribución sería considerablemente menor si el gas fuese convertido en combustible líquido, esto es, metanol o gasolina del metanol, ya discutidos en el capítulo previo. Para los países que tengan la intención de usar el gas en vehículos, ésa es una posibilidad más prometedora.

EL BIOGÁS

La biogasificación, proceso muy versátil para convertir la biomasa de bajo poder calorífico en combustible de bajo poder calorífico, ha sido objeto de muchos experimentos en los países en desarrollo (Brown y Tata, 1984), en los que también es una de las tecnologías sobre energía renovable de aplicación generalizada (además de la hidroelectricidad y los combustibles de biomasa). Con todo, a pesar de que el número de plantas de biogás que hay en el mundo puede contarse por millones, las investigaciones que se han hecho sobre su operación son muy escasas. Existen algunas observaciones dispersas sobre la proporción de plantas que no se encuentran en funcionamiento; otras, más comunes, sobre las fugas de gas; y, además, la impresión general de que las plantas muestran una gran variación en su productividad. Por ello, creemos que, si se hicieran, los diagnósticos estadísticos de las plantas existentes proporcionarían información más confiable sobre las deficiencias de su operación y llevarían a introducir mejoras en su administración.

La biogasificación ha sido adoptada de manera generalizada en China y la India, países en los que muestra una considerable concentración geográfica en regiones donde existe un gran número de animales estabulados —cerdos en China y ganado vacuno en la India—. Aparentemente, el hecho de contar con hatos de ganado muy numerosos —como es el caso en otras regiones de la India, en África del Norte y en Asia occidental— no es suficiente, sino que la estabulación juega un papel importante. Ello parece deberse, en parte, a la altísima intensidad de mano de obra necesaria para recolectar el estiércol de los animales de pastoreo; sin embargo, parece influir más el hecho de que estos últimos gastan tanta energía en pastar que su producción de estiércol por el mismo insumo de forraje es mucho más baja que la de los animales estabulados. Si tal fuere el caso, una difusión más generalizada del biogás tendría que esperar a que se diese un cambio en las prácticas de la cría de animales; por lo mismo, esa relación entre el biogás y los sistemas agrícolas exige ser investigada.

El vínculo entre la estabulación y el biogás sugiere que éste puede ser un subproducto particularmente adecuado para las empresas lecheras. En algunas de esas empresas de países industrializados y de India han sido establecidas plantas de biogás; la única restricción parece ser la demanda del energético. Creemos necesario que se

investiguen las posibilidades de generar biogás en las empresas lecheras de los países en desarrollo, en particular porque esas empresas podrían explotar las economías de escala de los biogasificadores.

Los costos principales, fuera de los de la recolección, son los de capital requeridos por el digestor. Los investigadores han buscado reducirlos de tres maneras: mediante la disminución de los costos de construcción o fabricación (*cf.* Stuckey, 1983), mediante el perfeccionamiento del diseño (*cf.* Subramanian *et al.*, 1980) y mediante la aceleración del rendimiento de los sustratos y el incremento de la producción de gas (Advisory Committee on Technology Innovation, 1977). Los intentos por reducir los costos de fabricación son comunes en los países en desarrollo y en su mayoría implican cambios en el diseño o en los materiales. En los países industrializados, por otra parte, la producción de biogás es de importancia secundaria y la biogasificación se utiliza generalmente para biodegradar desechos agrícolas e industriales y volverlos inocuos; de ahí que el énfasis se haya puesto en aumentar al máximo el rendimiento de los sustratos y en acelerar las reacciones (Klass, 1982).

Las investigaciones recientes han avanzado mucho en dos aspectos: 1) la identificación de los microorganismos que participan en la biogasificación, su función y las condiciones de su desarrollo, y 2) la comprensión de los procesos que intervienen en la biogasificación. Los resultados sugieren dos medios posibles para aumentar la productividad de biogás:

- *Las técnicas de inmovilización celular.* Estas técnicas hacen posible la observación y aceleración de la actividad de los microorganismos, el cultivo de éstos en el exterior y su introducción en los digestores.
- *La gasificación en procesos de dos etapas.* La etapa inicial de la hidrólisis no requiere condiciones anaeróbicas y puede llevarse a cabo en condiciones ambientales; esto apunta hacia un proceso de dos etapas en el que, primero, la acidogénesis se realizaría en un reactor y, después, el sustrato sería transferido a un segundo reactor para que se llevase a cabo la metanogénesis anaeróbica.

En resumen, los adelantos en la tecnología de la gasificación anaeróbica parecen ser particularmente prometedores en dos sentidos: la inmovilización celular y la gasificación en dos etapas.

EL GAS DE GENERADOR

El gas de generador es una mezcla de bajo poder calorífico de monóxido de carbono y metano con gases no combustibles (principalmente nitrógeno y dióxido de carbono); cuando se obtiene a partir de la biomasa, también contiene una cantidad importante de hidrógeno. Puede obtenerse rápidamente quemando un combustible carbónico en una atmósfera pobre en oxígeno. Kaupp y Goss (1984) afirman que ya se conocía en 1669 y que su primera patente data de 1788. En el siglo XIX era producido en gran escala en los países industrializados a partir del carbón y se utilizaba para el alumbrado público y doméstico, así como para la cocción de alimentos. A finales de ese siglo, cierto número de inventos permitieron diseñar gasógenos pequeños para utilizar el gas en aplicaciones independientes y en vehículos; así, el motor Otto fue inventado originalmente para transformar la energía del gas de generador en fuerza motriz. Las aplicaciones de ese gas se diseminaron también en los países en desarrollo, en especial en las colonias de Gran Bretaña y Francia. A partir de los años 1870, no obstante, empezó a perder un mercado tras otro: en el alumbrado, fue remplazado por la electricidad y, en los motores pequeños, por el petróleo; en el uso doméstico, una vez que el kerosén barato estuvo disponible, no pudo ganar nuevos mercados, si bien siguió utilizándose en los países ricos en carbón en los que ya habían sido tendidos los gasoductos de distribución. En este último uso, en Estados Unidos fue remplazado por el gas natural a partir de los años 1930 y, en Europa Occidental, en los años 1960. En la actualidad, su único uso en gran escala se hace en las siderúrgicas en la forma de gas para hornos de coque y altos hornos.

La facilidad para sustituir otros combustibles con el gas de generador y la simplicidad de la tecnología para producirlo lo han hecho atractivo siempre que los combustibles competidores han sido escasos o caros. Durante la segunda guerra mundial, los países que se vieron duramente afectados por el bloqueo de los aliados —en especial Francia, Alemania, Japón y Suecia— adaptaron un gran número de vehículos carreteros para que utilizaran ese tipo de gas (National Research Council, 1983b). Después de las alzas de 1973 en los precios del petróleo, en Brasil surgió un gran número de pequeños productores, quienes, a partir de 1978, suministran gasificadores basados en el carbón vegetal para vehículos, bombas, generadores, etcétera. En Filipinas, una em-

presa gubernamental empezó a vender gasificadores para bombas, barcos y vehículos (Scharmer *et al.*, 1984).

La experiencia muestra que el gas de generador es extremadamente sensible a la competencia, por lo que la inversión en investigaciones sobre ese energético exige la identificación de mercados prometedores y relativamente seguros.

El gas de generador nunca puede ser tan barato como sus propias materias primas (excepto cuando constituye un subproducto inevitable, como en los hornos de coque y los altos hornos), por lo que, cuando éstas pueden utilizarse directamente, no puede competir con ellas; y los únicos dos casos en que sus materias primas no pueden ser utilizadas directamente son cuando podrían contaminar el producto (en la fabricación de cerámica y de vidrio, por ejemplo) y en los motores de combustión interna. En esos usos, la competitividad del gas de generador depende —aunque sólo parcialmente— de los costos, que consisten, sobre todo, en el combustible, el equipo y la mano de obra; respecto al combustible, existen dos clases principales posibles: por una parte, el carbón mineral y el lignito y, por la otra, la leña, el carbón de leña y la biomasa.

Para los países ricos en carbón mineral, el gas de generador constituirá siempre una alternativa que podrá ser tomada en cuenta si el petróleo se vuelve escaso o caro. Después del alza de 1973 en los precios de éste, la República Federal de Alemania y Estados Unidos dirigieron la investigación y desarrollo hacia el posible uso del gas de generador como materia prima para la producción de metanol en cuanto sustituto de la gasolina (Scharmer *et al.*, 1984). El carbón mineral y el lignito fueron considerados como los combustibles principales, pero, en la búsqueda de mercados para el proceso en los países en desarrollo, también se probaron otros combustibles —la madera, la turba y el bagazo, por ejemplo— (cf. Baudequin *et al.*, 1984; Bellin *et al.*, 1985); en esa aplicación, el gas de generador compite con el gas natural, mientras que el metanol lo hace con otros combustibles líquidos provenientes del carbón mineral y del gas. Dadas las favorables perspectivas a largo plazo de la oferta mundial de gas natural, sólo en los países ricos en carbón mineral que esperan tener problemas de balanza de pagos graves y persistentes valdría la pena tomar en consideración esa área de investigación, ya que su importancia es limitada para los gasificadores pequeños o portátiles basados en

la biomasa que han sido objeto de investigación en y para los países en desarrollo.

Los combustibles provenientes de la biomasa son diferentes en el sentido de que existe una enorme variación en sus costos locales, particularmente bajos cuando la biomasa es un subproducto —de los molinos arroceros, de los aserraderos y de los ingenios azucareros, por ejemplo—, en cuyo caso es posible encontrar mercados para su uso cautivo en la generación de fuerza motriz, si bien el que sean competitivos o no en esa aplicación dependerá de la mayor o menor disponibilidad de la electricidad y del mayor o menor costo de ésta. En cualquier otro caso, su competitividad dependerá de la mayor o menor disponibilidad de otros combustibles baratos —la madera y el carbón vegetal casi siempre— y de la generalización del uso de los mismos. Aunque la madera es el principal combustible en muchos países en desarrollo y el carbón vegetal es importante en algunos de ellos, tendrían que estar disponibles a costos más bajos y en mayores cantidades antes de que la producción del gas de generador fuese viable. En esos países, por lo tanto, la investigación sobre la biomasa y, en particular, sobre la producción de madera debería tener prioridad.

Los costos del diseño y producción del equipo también pueden variar grandemente y, puesto que la producción de equipo en pequeña escala es de uso intensivo de mano de obra, esos costos pueden ser menores en los países en desarrollo. Una de las razones de la propagación del uso del gas de generador en Brasil es la existencia en ese país de una capacidad de diseño y producción que ha provocado la proliferación de fabricantes. Cuando se cuenta con esa capacidad, los costos pueden depender también del volumen de la producción y de la variedad de los modelos; por ello, en los países donde logre establecerse una producción local, la uniformación de los modelos podría ayudar a reducir los costos y a hacer más confiables los diseños. En esa etapa, sería indicado llevar a cabo investigaciones de diagnóstico sobre los gasificadores en operación y, paralelamente, sobre los diseños de los gasificadores. Las investigaciones que se hicieron sobre los diseños en los países industrializados durante el apogeo de la utilización del gas de generador son abundantes (Kaupp y Goss, 1984); asimismo, en los últimos doce años se ha hecho un gran número de ellas (Mahin, 1984); en nuestra opinión, compartir esa expe-

riencia acumulada ahorraría recursos. La investigación sobre diseños exige, antes bien que la innovación, la aplicación de la capacidad de diseño y producción y su adaptación a los usos, combustibles y escalas locales. Una vez uniformados los diseños, también sería necesario uniformar el producto, por lo que los sistemas de producción tendrían que ser organizados de tal manera que se disminuyeran al mínimo los defectos de fabricación, lo cual es en sí mismo un tema de investigación.

Finalmente, los costos de la mano de obra para la operación de los gasificadores no son necesariamente altos, si bien, en el caso de los vehículos conducidos por el propietario, sólo podría especularse respecto a dichos costos. Con todo, los gasificadores pueden plantear diversos problemas de funcionamiento; algunos de esos problemas son fastidiosos, otros, graves o incluso peligrosos (Foley y Barnard, 1982). Un buen diseño puede reducir la aparición de problemas; sin embargo, aun los gasificadores mejor diseñados exigen revisiones frecuentes y regulares y que los operadores ejecuten o no ciertas operaciones, por lo que la capacitación y la habilidad del operador son determinantes; por lo demás, incluso cuando la mano de obra es barata, la habilidad y el cuidado pueden no serlo. Consecuentemente, reducir la complejidad de operación debería ser uno de los principales objetivos de la investigación sobre diseños.

EL HIDRÓGENO

El conocimiento sobre el gas hidrógeno se remonta a Paracelso, quien lo obtuvo sometiendo el hierro a la acción del ácido sulfúrico y estableció su combustibilidad (Aureille, 1984). En el mundo moderno, el hidrógeno es un importante producto químico intermediario en la fabricación de amoniaco para fertilizantes nitrogenados, en el hidrotratamiento de aceite mineral y en la fabricación de metanol.

Después del aumento de los precios del petróleo de principios de los años 1970, el hidrógeno atrajo el interés generalizado por un buen número de razones. Primera, puede ser utilizado directamente como combustible para motores y, así, puede remplazar a los derivados del petróleo en los vehículos sin necesidad de

reformas importantes. Segunda, puede obtenerse a partir del agua, cuya disponibilidad es enorme. Tercera, su combustión produce agua, que es su materia prima potencial, y, por ende, puede ser reciclado infinitamente. Cuarta, su combustión no es contaminante y, por lo tanto, puede eliminar los efectos nocivos de la quema de combustibles fósiles para el medio ambiente; su combustión en el aire generaría óxidos de nitrógeno, pero no de azufre; y tampoco generaría dióxido de carbono, cuyos efectos sobre la temperatura de la tierra son fuente de preocupación.

El hecho de que el hidrógeno sea producido en grandes cantidades para usos químicos facilita su disponibilidad para la experimentación. Sus ventajas sobre los combustibles fósiles respecto a los efectos sobre el medio ambiente lo hacen interesante para la industria eléctrica y su potencial como combustible para motores lo vuelve atractivo para la industria del equipo de transporte cuando a ésta le preocupa el aumento de los costos de los derivados del petróleo. Por otra parte, el hidrógeno ha sido utilizado como reactivo en plantas eléctricas de pilas alcalinas a bordo de naves espaciales estadounidenses y francesas (Doniat y Rouget, 1984; Srinivasan, 1984). Así, el interés de usuarios potenciales con grandes recursos para la investigación y desarrollo hizo del hidrógeno una de las áreas más activas de la investigación sobre la energía durante el decenio pasado; entre los países en desarrollo, por lo demás, el hidrógeno también ha despertado el interés de Brasil, China e India (Campos, 1984; Li *et al.*, 1984; Nema *et al.*, 1984; Mattos, 1985).

A pesar de todas las ventajas mencionadas, la mayoría de los estudiosos del tema está de acuerdo en que, al menos durante algunos decenios, el hidrógeno no podrá competir con los combustibles a los que puede sustituir. En la actualidad, el método más barato para producirlo consiste en la reforma de los hidrocarburos mediante vapor —los más utilizados son el gas natural (metano y propano), los gases de la refinación y la nafta— y el hidrógeno producido con ese proceso es inevitablemente más caro que los hidrocarburos de los que proviene, lo cual hace que, por ahora, no pueda competir con los combustibles líquidos derivados del petróleo. Ahora bien, aun cuando éstos fuesen más caros, el hidrógeno así obtenido no podría competir con el gas natural —que puede ser utilizado en los motores tan fácilmente como el hidrógeno y cuyo transporte es más barato—, ya que el metano, su principal componente, contiene tres veces más

energía por volumen unitario que el hidrógeno gaseoso (Gelin y Petit, 1980; Fein, 1982 y 1985). En Estados Unidos, el hidrógeno ya es más barato que la electricidad, pero no puede captar ninguno de los mercados de ésta debido a su menor rendimiento en usos terminales y a su mayor dificultad de transporte (Gaines y Wolsky, 1984).

De lo anterior se desprende la conclusión de que es improbable que el hidrógeno se convierta en un combustible competitivo —excepto, quizá, en mercados pequeños y especiales, como la fabricación de acero— por varias razones:

- primera, mientras el petróleo o el gas sean la forma de energía predominante;
- segunda, porque, si los costos del petróleo y el gas aumentasen, lo más probable es que esos energéticos fuesen remplazados por el carbón mineral; y ello sería así porque,
- tercera, en la actualidad se cuenta con la posibilidad de obtener del carbón mineral una gran variedad de combustibles líquidos y gaseosos (incluido el hidrógeno); de ellos, los más convenientes como combustibles para el transporte serían el petróleo y el metanol sintéticos debido a que, por ser combustibles líquidos con una mayor densidad energética, su almacenaje y transporte serían más baratos; además, los cálculos que se han hecho sobre los costos de esos combustibles sugieren que también ellos mismos serían más baratos;
- finalmente, dadas las enormes reservas mundiales de carbón mineral, podrían pasar varios siglos antes de que los costos de extracción de éste aumentasen considerablemente, condición necesaria para que el hidrógeno pudiera remplazarlo.

Con todo, existe un factor que podría aumentar mucho ante la competitividad del hidrógeno: que se presentasen indicios definitivos de deterioro ambiental que llevaran a los países industrializados a restringir el consumo de combustibles fósiles. Como lo discutimos más adelante en el capítulo XII, la controversia en cuanto a si realmente ocurriría eso y cuándo es muy grande, y también varían mucho las opiniones respecto al grado de deterioro ambiental que sería tolerable; no obstante, las perspectivas del hidrógeno como combustible alternativo mejorarían si, en algún momento, la opinión pública se volcase en contra de los combustibles fósiles con tanta fuerza como lo hizo en contra de la energía

nuclear en algunos países industrializados en los años 1970. Ahora bien, cuando eso ocurriese, el hidrógeno no sería producido a partir de combustibles fósiles, aun cuando los costos de producción fuesen bajos, ya que la producción de hidrógeno por ese medio sería tan indeseable desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente como el quemado de cualquier otro combustible fósil, sino que tendría que ser producido a partir del agua, y todos los procesos para hacerlo así exigen grandes cantidades de energía (Bockris *et al.*, 1985; Ohta *et al.*, 1985).

Como vemos, para que el hidrógeno fuese realmente competitivo, sería necesario contar con una fuente de energía abundante y barata para su producción y, a este respecto, son tres las que han sido sugeridas: la energía nuclear, la electricidad producida fuera de las horas de demanda máxima y la energía solar.

En teoría, la energía nuclear puede ser producida en abundancia, en especial si se comercializan los reactores autofertilizantes. Este tipo de reactores tiene la ventaja de producir, además de electricidad, una cantidad considerable de calor residual que puede ser utilizado para aumentar el rendimiento energético de la electrólisis. Si por razones de protección ambiental, se redujese gradualmente la generación de energía basada en el carbón mineral y no la basada en la energía nuclear, ésta sería, evidentemente, la principal fuente potencial de hidrógeno.

Ya sea que se utilizara la energía nuclear o la hidroeléctrica para producir hidrógeno, la cuestión de los usos de éste cobraría importancia. Básicamente, son dos los que han sido propuestos:

El hidrógeno como apoyo energético. Su producción podría llevarse a cabo fuera de las horas de demanda máxima; además, podría ser generado en regiones con excedentes de energía eléctrica y transportado por gasoducto hasta las centrales eléctricas donde la demanda fuese excesiva. La electricidad generada a partir del hidrógeno sería inevitablemente más cara que la utilizada para producirlo debido tanto a las pérdidas por conversión como a los costos de producción, por lo que el hecho de que el proceso siguiera siendo económico o no dependería de la diferencia entre el costo de la electricidad producida fuera de las horas de demanda máxima y el de la producida en las horas de demanda máxima. A este respecto, las investigaciones técnico-económicas, aunque escasas, sugieren lo siguiente: a) aumentar la capacidad

residual de las presas y la capacidad de generación hidroeléctrica resultaría probablemente más barato que la producción de hidrógeno; b) lo más recomendable sería producir el hidrógeno donde pudiera ser utilizado directamente; c) si el aumento de la capacidad residual de generación de electricidad resultase más caro o impracticable que la producción de hidrógeno, es probable que el almacenamiento de éste resultase más barato que las técnicas de almacenamiento opcionales, y d) cuando se requiriese almacenar la energía a largo plazo, sería más recomendable el almacenamiento de hidrógeno, por ejemplo, de una temporada a otra (para el almacenamiento a corto plazo, del orden de un día a una semana, las baterías o la acumulación de agua por bombeo podrían ser más baratas) (Carpetis, 1984; Fein, 1985); sin embargo, tales cálculos abarcan un gran número de opciones y parámetros, por lo que, para probar la viabilidad del almacenamiento de hidrógeno, se hace necesaria la investigación sobre cada lugar en particular.

El transporte del hidrógeno puede ser más barato que el de la electricidad que tenga el mismo rendimiento energético, pero su economía dependerá en gran medida de las distancias que deban recorrerse y de si se hace un uso directo del hidrógeno en su lugar de destino; además, el costo de los combustibles opcionales disponibles en el lugar de destino determinará la competitividad del transporte de hidrógeno así como de electricidad. En este caso, como en el del almacenamiento, sólo la investigación sobre cada lugar en particular puede determinar la viabilidad del transporte de hidrógeno. Por ello, es evidente que los primeros países donde deben llevarse a cabo tales investigaciones son aquellos que cuentan con recursos hidroeléctricos abundantes en lugares remotos, como Brasil, Canadá y China.

El hidrógeno como combustible de transporte. Si la electricidad y el hidrógeno basado en la electricidad llegasen a ser las principales fuentes de energía, es probable que este último, aunque más costoso que la electricidad desde el punto de vista de la energía liberada, se apoderease de una parte significativa del mercado de la energía para el transporte. La razón reside en el hecho de que, si en la era de la electricidad y el hidrógeno, el transporte en vehículos personales continúa siendo tan utilizado como lo es en la actualidad en los países industrializados y, tam-

bién, en muchos en desarrollo, la electricidad no será puesta a la disposición de esos vehículos mediante líneas de transmisión, como en el caso de los trenes eléctricos, sino que deberá ser almacenada en baterías a bordo de los vehículos mismos. Ahora bien, los vehículos eléctricos plantean dos inconvenientes: 1) las baterías son pesadas, lo cual aumenta el consumo de energía y, si bien es posible reducirlas mediante su carga frecuente, no es posible eliminarlas; 2) aunque en una ciudad con una red de transmisión adecuada lo anterior no plantearía problemas, ya que bastaría la instalación de un gran número de tomas de corriente en los lugares de estacionamiento usuales, la carga de las baterías toma tiempo, por lo que habría un límite máximo para la proporción de tiempo que un vehículo podría estar en funcionamiento continuo sin que fuese necesario cargar sus baterías; no obstante, existen diversos tipos de vehículos —entre los que se cuentan los autobuses, los camiones de transporte interurbano, los barcos y los aviones— a los que no es posible imponer tales límites y para los que el único combustible aceptable sería el hidrógeno. Consecuentemente, el mercado del transporte (con excepción de las vías férreas) tendría que dividirse entre vehículos relativamente pequeños y de corto alcance impulsados por electricidad y vehículos grandes de largo alcance impulsados por hidrógeno.

La investigación sobre la energía producto del hidrógeno constituye un área de gran actividad y extrema transitoriedad; en la etapa actual, no obstante, no es posible reducir las líneas de investigación a unas cuantas que sean prometedoras. Si, como antes se dijo, han de pasar al menos algunos decenios antes de que el hidrógeno pueda tener un mercado importante como combustible, su investigación no es urgente. Puede tener una mayor pertinencia para el reducido número de países que cuentan con un potencial hidroeléctrico favorable, cuyas reservas de combustibles fósiles son reducidas y cuya balanza de pagos ofrece dificultades. Como ya lo hemos dicho, el atractivo del hidrógeno se relaciona estrechamente con los efectos negativos de los combustibles fósiles, por lo que, si las investigaciones sobre el efecto de invernadero y la lluvia ácida tienen como resultado que se decida enfrentar con mayor seriedad y urgencia la amenaza que esos combustibles representan, las perspectivas del hidrógeno como combustible no contaminante mejorarán en consecuencia.

VIII. LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS

Dado que los componentes más ligeros del petróleo constituyen el combustible de los motores de combustión interna y que éstos proporcionan la fuerza motriz impulsora de la mayoría de los vehículos que circulan en el mundo, el transporte genera una demanda de esos componentes que determina en una gran medida la producción de petróleo. Por otra parte, el resto de los componentes del petróleo, más pesados, consiste principalmente en combustóleo, cuyos usos entran en competencia con los del carbón mineral. Así, en los países industrializados, la demanda de carbón mineral se ve limitada por la producción de petróleo y, en menor grado, por el uso de los derivados de éste en el transporte. En su momento, el aumento de los precios del petróleo provocó que se redujera la demanda de ese energético generada por el transporte y que aumentara el mercado del carbón mineral; no obstante, éste sigue siendo sensible a la competencia con el petróleo, y seguirá siéndolo durante el futuro predecible.

A pesar de que, por ahora, la mayor parte de la producción de carbón mineral de los países en desarrollo proviene de China y la India, creemos que otros países en desarrollo podrían convertirse en productores importantes, y así beneficiarse, si llevaran a cabo una exploración más intensa en busca del mineral. En los países donde se produce el carbón mineral, la adaptación de la tecnología a las condiciones locales ha dado como resultado la introducción de mejoras; por ende, primero es necesario que los productores potenciales de ese mineral se capaciten adecuadamente para llevar a cabo sus compras de equipo y, después, que introduzcan innovaciones para adaptar el equipo a sus propias necesidades.

La industria extractiva de carbón mineral de China e India es de uso intensivo de mano de obra, por lo que la introducción de tecnología mecanizada para aplicar el sistema longwall (explotación uniforme a todo lo largo del filón) ha planteado problemas específicos en cada mina cuya solución exige la capacitación de

los usuarios, la interacción con los fabricantes de maquinaria y el intercambio de información entre unos y otros. La nueva tecnología también requiere el desarrollo de nuevas estructuras administrativas, en cuya adaptación puede ayudar la investigación. Además, el transporte de los lodos de lavado del carbón y la preparación de éste plantean problemas de investigación bien definidos.

En las zonas urbanas de los países en desarrollo, el carbón vegetal tiene un uso doméstico intenso que sólo podrá sostenerse en el largo plazo si la madera es producida en reservas silvícolas cultivadas con ese propósito; no obstante, puesto que tendrían que competir con otros usos agrícolas, si se desea que compitan satisfactoriamente y produzcan madera barata para carbón, sería necesario incrementar la productividad de la tierra en esas reservas. Consecuentemente, la producción comercial sostenida de carbón vegetal requiere una amplia investigación para incrementar los rendimientos en muchos frentes. A ese respecto, los hornos de calcinación coniformes son los mejores para la producción sedentaria de carbón vegetal, pero es necesario difundir su uso y mejorar su tecnología.

De manera similar, cuando en las zonas urbanas se usa leña en lugar de carbón vegetal, la escasez de combustibles puede aliviarse aumentando la productividad de la tierra para, así, dejar espacios libres que puedan dedicarse al cultivo de bosques para leña cerca de esas zonas o, bien, diversificando la base de combustibles y creando nuevas especies de árboles y arbustos que puedan utilizarse como tales.

La principal fuente de energía hasta la revolución industrial fue la biomasa; después, la demanda de energía aumentó y se concentró geográficamente tanto que la biomasa no pudo satisfacerla, por lo que se incrementó el uso del carbón mineral y los combustibles sólidos constituyeron la principal fuente de energía hasta principios de este siglo. Ya en el siglo xx, el consumo de petróleo superó al de los combustibles sólidos por tres razones: primera, porque, a diferencia del carbón mineral, para cuya extracción se requería cavar minas, el petróleo brotaba en la superficie gracias a la presión subterránea; así, debido a las favorables condiciones iniciales en que fue descubierto, resultaba más barato. Segunda, porque poseía una mayor densidad energética: en función del

peso, contenía una densidad energética 1.5 veces más alta que el mejor de los carbones minerales y, en función del volumen, era incluso mejor, por lo que sus costos de transporte eran más bajos. Tercera, era muy adecuado para utilizarlo en motores de combustión interna. Así, como resultado de todo lo anterior, el petróleo se convirtió en la principal fuente de fuerza motriz, en particular para los vehículos. Ahora bien, dado que sólo una proporción del petróleo podía ser refinada para obtener productos que pudieran ser utilizados en los motores y dado que esa proporción sólo podía aumentarse con métodos de uso muy intensivo de capital, los productos que no podían ser utilizados en los motores —los aceites combustibles residuales— fueron usados directamente como combustible y entraron en competencia con los combustibles sólidos.

Cuando aumentaron los precios del petróleo, los esfuerzos de innovación de los países industrializados se concentraron en la reducción de la demanda del energético para su uso en motores primarios; ello redujo considerablemente el crecimiento de la demanda de gasolina y diesel y, por ende, redujo también el crecimiento de la oferta del producto asociado del petróleo, el combustóleo, y provocó el incremento de la demanda de carbón mineral como combustible para calefacción. Ahora bien, puesto que es muy probable que ese proceso continúe adelante a escala mundial, la demanda de combustibles para motores determinará la oferta de combustóleo, el precio de éste, que será establecido de tal manera que pueda encontrar mercados, determinará a su vez el precio máximo del carbón mineral y su producción dependerá de lo que pueda producirse a ese precio máximo.

Obviamente, las perspectivas de los países en desarrollo que deseen participar en el mercado mundial del carbón mineral se verán regidas por ese mecanismo internacional (Wilson, 1977; Greene y Gallagher, 1980; Long, 1982; Gordon, 1984); no obstante, si sufriesen presiones de balanza de pagos, los países que consumen internamente su carbón mineral podrían fijarle precios superiores a los internacionales y aumentar su uso doméstico (esto es aplicable también a los países con buenas perspectivas para la producción de leña).

Con todo, ni siquiera en esos países es probable que los combustibles sólidos puedan llegar a tener un uso significativo como combustibles para motores porque, para ello, sería necesari-

rio convertirlos en gas de generador, cuyas perspectivas cuando se desea obtenerlo a partir de la biomasa fueron comentadas en el capítulo VII. Por su parte, la gasificación del carbón mineral enfrenta problemas similares si se hace en pequeña escala; además, en los usos en pequeña escala, el gas de generador tendría que competir con la electricidad, la cual, una vez instaladas las líneas de transmisión, generalmente es más barata incluso que la obtenida mediante los motores diesel. En resumen, la evaluación que hicimos sobre las perspectivas de la producción de gas de generador en pequeña escala no sufre cambios si lo que se busca es la utilización del carbón mineral como combustible en lugar de la biomasa.

En gran escala, el gas de generador obtenido del carbón mineral tiene dos mercados potenciales: el uso doméstico y comercial y la generación de energía eléctrica. En su uso doméstico y comercial, por una parte, su mercado podrían constituirlo las zonas urbanas cercanas a las minas; sin embargo, la mayoría de esas zonas son abastecidas con coque suave (por ejemplo, el norte de China y el este de la India) y, además, es improbable que pudiera competir con el coque en los lugares donde éste puede ser obtenido a partir del carbón mineral. En la generación de electricidad, por otra parte, el gas de generador no representa un competidor potencial para las turbinas de vapor en uso actualmente. Por lo tanto, a pesar de que la tecnología para obtener gas de generador del carbón mineral ya está bien establecida y puede mejorarse aún más, su aplicación dependerá de los mercados que puedan encontrarse para él.

Una excepción podría ser el gas de generador obtenido de la gasificación subterránea del carbón mineral, tecnología que, en principio, tiene un campo de acción muy vasto, ya que, durante la exploración en busca de petróleo, se han descubierto millones de toneladas de carbón mineral; sin embargo, se encuentran a tal profundidad que, por ahora, no podrían ser extraídas a costos competitivos; y, aun cuando los precios de la energía fuesen mucho más altos, su extracción es muy difícil, si no imposible.

Puesto que la gasificación subterránea sería la única solución posible para aprovechar esas reservas de carbón mineral en el futuro cercano, los países industrializados están realizando una gran cantidad de experimentos para hacerla factible. Los resulta-

dos, no obstante, son de lo más impredecible (Schilling *et al.*, 1981), por lo que no logramos hacer una evaluación confiable al respecto.

Otra tecnología de la que no pudimos hacer su evaluación es la magnetohidrodinámica (MHD). En principio, la MHD puede aumentar considerablemente el rendimiento de la generación de energía eléctrica y, a diferencia de la gasificación subterránea, se sabe que surte efecto; sin embargo, dado que las plantas magnetohidrodinámicas en operación —todas pequeñas— se encuentran en la Unión Soviética, la información de segunda mano que pudimos obtener al respecto no fue suficiente para elaborar una evaluación confiable.

EL CARBÓN MINERAL

Como antes indicamos, más del 85% de las reservas, de los recursos y de la producción de carbón mineral de los países en desarrollo se concentra en China y la India (cuadro 10); no obstante, existen razones para creer que, antes bien que una carencia del mineral en otros países, ello refleja una falta de exploración en su búsqueda (Subba Rao, 1981). El carbón mineral comenzó a perder terreno frente al petróleo varios decenios antes de que los países en desarrollo empezaran a hacer esfuerzos serios para acelerar su crecimiento, por lo que los incentivos para llevar a cabo la exploración en busca del carbón eran reducidos; por lo demás, muchos de esos países no cuentan, ni siquiera en el presente, con la infraestructura necesaria para la explotación del mineral —relativamente voluminoso, de bajo valor y cuyo transporte es de uso intensivo de combustible— y, si bien es cierto que las minas pequeñas son económicas cuando el carbón se encuentra en la superficie o a poca profundidad, la explotación de minas profundas exige una economía de escala mínima que la demanda potencial de un solo país en desarrollo no podría justificar, razón por la que muchos de esos países no pueden explorar en busca del mineral. Con todo, creemos que, en los países donde las condiciones geológicas son favorables, la exploración en busca de carbón mineral constituiría un área de investigación prometedora (Fettwei, 1984).

CUADRO 10. Población, producción, reservas y recursos de carbón mineral de algunos países en desarrollo

<i>País</i>	<i>Población 1978 (millones)</i>	<i>Producción de carbón mineral 1980 (millones de tec)^a</i>	<i>Reservas</i>		<i>Total 1983 de tec [1 + 2]</i>	<i>Total de recursos de carbón mineral (millones de tec)</i>	
			<i>Carbón y lignito Subbituminosos</i>				
			<i>1983 (millones de tec)</i>	<i>1983 (millones de tec) [1]</i>			<i>1983 (millones de tec) [2]</i>
África							
Argelia	18.24	0.01	0	0	43	43	0
Botswana	0.71	0.31	0	0	3 500	3 500	107 000
República Central Africana	2.61	0.00	4	1	0	1	1
Egipto	38.74	0.01	0	0	13	13	25
Etiopía	29.98	0.00	0	0	0	0	0
Madagascar	8.52	0.00	0	0	0	0	1 025
Malawi	3.53	0.01	0	0	12	12	25
Mali	6.04	0.00	0	0	0	0	1
Marruecos	18.25	0.72	0	0	45	45	149
Mozambique	9.68	0.38	0	0	240	240	395
Níger	6.84	0.00	0	0	0	0	5
Nigeria	66.63	0.19	169	132	0	132	1 065
Suazilandia	0.50	0.15	0	0	1 820	1 820	5 020
Tanzania	16.09	0.01	0	0	200	200	1 804
Zaire	26.38	0.08	0	0	600	600	600
Zambia	5.35	0.78	0	0	24	24	130

Zimbabwe	6.74	3.65	0	0	734	734	8 108
Latinoamérica							
Argentina	26.06	0.39	130	101	0	101	2 878
Brasil	112.24	4.09	13 000	8 190	0	8 190	14 490
Chile	10.66	1.14	1 150	897	27	924	291
Colombia	25.05	3.34	25	19	1 10	1 029	9 788
Ecuador	7.56	0.00	18	10	0	10	3
Haití	4.75	0.00	0	0	0	0	13
Honduras	2.83	0.00	0	0	0	0	16
México	64.59	6.61	496	357	1 295	1 652	4 317
Perú	16.36	0.00	0	0	0	0	884
Venezuela	12.74	0.05	34	27	275	302	11 965
Asia (con exclusión de China e India)							
Afganistán	26.06	0.18	0	0	66	66	512
Bangladesh	80.56	0.01	0	0	0	0	1 054
Burma	31.51	0.01	0	0	2	2	152
Filipinas	45.03	0.22	82	64	0	64	133
Indonesia	143.28	0.19	0	0	0	0	6 591
Irán	34.27	1.00	0	0	193	193	385
Malasia	12.60	0.00	0	0	0	0	430
Mongolia	1.53	1.32	0	0	0	0	15 960
Pakistán	75.28	1.04	102	80	0	80	355
República Árabe de Yemen	7.08	0.00	0	0	0	0	1
República de Corea	36.44	18.00	0	0	192	192	1 500
República Popular Democrática de Corea	16.65	16.65	300	234	300	534	6 650

CUADRO 10. (Conclusión)

<i>País</i>	<i>Población 1978 (millones)</i>	<i>Producción de carbón mineral 1980 (millones de tec)^a</i>	<i>Reservas</i>			<i>Total 1983 de tec [1 + 2]</i>	<i>Total de recursos de carbón mineral (millones de tec)</i>
			<i>Carbón y lignito Subbituminosos</i>		<i>Carbón bituminoso</i>		
			<i>1983 (millones de tec)</i>	<i>1983 (millones de tec) [1]</i>	<i>1983 (millones de tec) [2]</i>		
Taiwan, China	16.93	2.24	100	106	100	206	453
Tailandia	44.16	0.21	471	228	0	228	680
Turquía	42.13	9.16	1 728	518	186	704	2 470
Vietnam	47.87	4.10	0	0	0	0	1 004
Nueva Caledonia, Francia	0.14	0.00	0	0	2	2	12
Total	1 202.49	113.12	17 809	10 964	10 879	21 843	208 339
China	865.49	618.00	0	0	99 000	99 000	1 539 365
India	625.82	102.37	1 581	1 407	0	1 407	115 014
Países en desarrollo	2 693.80	833.49	19 390	12 371	109 879	122 250	1 862 718
Otros países	1 118.33	2 121.22	382 980	206 969	383 045	590 014	6 466 386
Total mundial	3 812.32	2 954.71	402 370	219 340	492 924	712 264	8 329 104

^aUna tonelada métrica equivalente de carbón mineral (tec) = 7 Gcal = 29.3 GJ.

Fuente: Fettweis 1984.

En los países industrializados, la industria del carbón mineral, principal fuente de energía hasta la aparición del petróleo, cedió terreno continuamente ante ese energético después de la segunda guerra mundial, se vio debilitada por la competencia y tuvo una baja tasa de inversión durante sus años de decadencia. En esa industria, la mayoría de las innovaciones introducidas provinieron de los fabricantes de equipo, pero la transferencia de algunas de las más importantes a los países en desarrollo no es posible sin una adaptación adecuada, ya que las empresas mineras contribuyeron a ellas definiendo las condiciones de cada mina en particular para la que se requería el equipo —esto es, el equipo fue diseñado específicamente para ciertas minas—, además de que los mercados de equipo eran y son nacionales en una gran medida. Consecuentemente, si algún país en desarrollo desea convertirse en productor de carbón mineral, es indispensable que adquiera, en primer lugar, la capacitación pertinente para comprar el equipo adecuado y, en segundo lugar, la capacidad de innovación necesaria para adaptar el equipo a las condiciones locales, áreas en las que tendría que concentrar tanto la investigación como el desarrollo de la capacidad para la misma (Surrey y Chessire, 1984).

La tecnología de la minería

El carbón mineral, el mineral de hierro y la bauxita son los minerales base más importantes del mundo, y los tres fueron descubiertos cerca de la superficie de la tierra. Las reservas de superficie de mineral de hierro y bauxita son tan abundantes que, casi en su totalidad, su extracción se hace a cielo abierto y ha dado lugar al desarrollo de una extensa industria de equipo de explotación de superficie. Esa industria ha introducido continuas innovaciones en el equipo que produce y ha aumentado el tamaño del mismo para incrementar los rendimientos y reducir los costos, y, si bien existe un flujo importante de innovaciones entre la minería de rocas duras y la del carbón, el aumento en el tamaño del equipo —excavadoras en general y camiones— ha evolucionado más en las industrias del carbón y el lignito. Así, el rápido progreso técnico logrado en el tamaño del equipo hizo que la minería de superficie del carbón ganara la delantera a la subterránea y que la

explotación del carbón de superficie se impusiera a la del carbón subterráneo en todos los países que cuentan con ambos; por lo demás, una vez retirado el material superficial que recubre los yacimientos, el carbón subterráneo se explota cada vez más con las técnicas de tajo a cielo abierto.

Los antiguos productores de carbón —la República Federal de Alemania, Francia y el Reino Unido— no cuentan con depósitos importantes de superficie del mineral, si bien la República Federal de Alemania es productora de lignito en pozo abierto. Enfrentadas a la competencia del petróleo y del carbón mineral estadounidense, las industrias de extracción de carbón subterráneo de esos tres países desarrollaron las técnicas *longwall* (explotación uniforme a todo lo largo del filón) para aumentar la productividad y reducir los costos de capital (Peng y Chiang, 1984); por su parte, las industrias de Estados Unidos, cuyas reservas son más abundantes y superficiales, desarrollaron maquinaria para la minería de cámaras y pilares (Meyers, 1983).

China y la India, por otra parte, poseen las industrias extractivas de carbón mineral más grandes y antiguas entre los países en desarrollo. Ambos países emplean técnicas de uso relativamente intensivo de mano de obra y, debido a que la remoción del material superficial por medios manuales es demasiado costosa, el tipo de extracción que utilizan es tradicional y predominantemente subterráneo; sin embargo, en vista de que el bajo rendimiento de las minas en que se aplican técnicas de uso intensivo de mano de obra hace necesario tener en explotación un gran número de minas —con su consecuente inversión fija en tiros y sistemas de acarreo por unidad de producción— y de que la gran inversión de tiempo en la construcción de tiros y galerías restringe el ritmo al que puede aumentarse la producción, los dos países han estado introduciendo la minería de superficie. Además, la misma necesidad de lograr incrementos rápidos y altos de la producción ha forzado a ambos países a buscar la mecanización de sus minas subterráneas.

Con todo, si bien es cierto que en uno y otro país existen grandes minas subterráneas que necesitan ser mecanizadas para reducir los costos de capital y sostener un rápido crecimiento de la producción, nuestra recomendación para el empleo generalizado de técnicas de uso intensivo de mano de obra no tiene aplicación en el caso de la explotación del carbón mineral subterráneo, dado que, como es bien

sabido, ese tipo de extracción es extremadamente peligroso e insalubre para los mineros de los países industrializados (cf. Ramsay, 1979; Clifford y Mead, 1984) y, sin duda alguna, lo es más para los mineros de los países en desarrollo.

Tanto China como la India han importado tecnología y maquinaria del sistema *longwall* (explotación uniforme a todo lo largo del filón) y se encuentran en el proceso de adaptarlas a las necesidades locales; no obstante, su carbón se encuentra a profundidades menores que en Europa y, en el caso de la India, las vetas son múltiples y de un gran espesor, por lo que tanto el apuntalamiento de los techos de los túneles durante la extracción como la excavación posterior plantean problemas. Los puntales mecánicos desarrollados en Europa no siempre son eficaces y el desplome de los techos después de la extracción es irregular (Mathur, 1980; Sarkar, 1980; British Mining Consultants Ltd., 1983a, b; Sarkar *et al.*, 1983). Esos problemas son específicos de cada caso, por lo que exigen la capacitación de los usuarios, capacitación que se obtiene mediante el desarrollo de la capacidad tecnológica de los mismos y su interacción estrecha con los fabricantes de equipo. También se puede aprender de la experiencia, en particular de la experiencia mutua de China y la India. Una de las mayores dificultades para la capacitación de los usuarios reside en el hecho de que la extracción mediante el sistema *longwall* (explotación uniforme a todo lo largo del filón) exige estructuras organizativas y administrativas diferentes, las cuales también deben ser transferidas y adaptadas, no sólo las tecnologías.

Otros países en desarrollo que iniciaron la extracción de carbón mineral en épocas más recientes, como Colombia, emplean invariablemente técnicas mecanizadas de extracción de superficie. A altos grados de mecanización de la extracción, tanto de superficie como subterránea, el aprovechamiento de la capacidad ejerce una influencia decisiva en la economía de la industria, y ello tiene dos aspectos importantes. Uno es el mantenimiento del equipo, área que, por lo general, es un punto débil de los países en desarrollo; un alto grado de competencia en el mantenimiento puede servir como base para la interacción de la empresa minera con el fabricante de equipo, y producir innovaciones. El segundo aspecto, relacionado con el anterior, se refiere a la capacitación de los operadores y los administradores. En la minería de uso intensivo de mano de obra, se emplea a un gran número de obreros

no calificados y se tiende a tener estructuras administrativas más bien simples y autoritarias; la minería mecanizada, por el contrario, exige la participación de obreros mejor capacitados, con experiencia y aptitudes en mecánica, y ofrece mejores resultados si se permite que éstos apliquen más su iniciativa. No obstante, en las empresas mineras antiguas no se produce fácilmente el necesario cambio del estilo de administración, pero ese cambio es esencial para que la aplicación de las nuevas tecnologías sea efectiva. En esas circunstancias, la interpretación de la experiencia mediante la investigación puede mediar entre las antiguas maneras de administrar y las nuevas tecnologías.

El sistema de acarreo, manejo y transporte del carbón mineral

En general, los sistemas de acarreo, manejo y transporte del carbón mineral tienen un mayor grado de mecanización que la extracción en sí, pero en el caso que nos ocupa, la mecanización de la extracción exige que también se incremente el rendimiento de esos sistemas (Surrey y Chessire, 1984), lo cual genera los mismos tipos de requisitos de mantenimiento y capacitación que la propia mecanización de las minas.

A menudo, el carbón de una mina se destina a ser utilizado en una sola central eléctrica, o algún otro tipo de usuario, y genera un gran volumen de transporte en una sola dirección. Cuando se utiliza un medio de transporte común —el ferrocarril, por ejemplo—, el tráfico que se genera provoca una utilización reducida del equipo de transporte y dificulta la programación de los itinerarios. Los estudios sobre el tráfico de ferrocarriles son muy importantes en los casos en que existen obstrucciones del mismo o están a punto de presentarse, pero también es necesario explorar otros tipos de soluciones. Entre ellos, el transporte de los lodos de lavado es viable, ya que los problemas técnicos que plantea son solubles y, mediante una investigación adecuada, puede ser comercializado. Esos problemas son: a) los altos requerimientos de agua de los lodos de lavado, que tendrían que ser satisfechos en el socavón de la mina; b) la deshidratación del carbón, que tendría que efectuarse en su punto de destino; c) la disposición del agua, que tendría que llevarse a cabo sin provocar contaminación, y d)

el diseño del sistema de ductos, que tendría que ser diferente al de los gasoductos y oleoductos, pues las estaciones de bombeo tendrían que estar más cerca unas de otras y sería necesario determinar las condiciones para mantener el carbón en suspensión; problemas todos que la investigación, completamente factible, podría resolver adecuadamente (Grainger y Gibson, 1981).

La preparación del carbón mineral

Todos los tipos de carbón mineral contienen proporciones variables de materias minerales no combustibles, llamadas genéricamente escoria, que reducen la densidad energética del carbón y también el rendimiento del equipo de quemado, como los hornos, las calderas y los altos hornos. En ese tipo de aplicaciones, a menudo resulta económico reducir primero la proporción de escoria del carbón, aun cuando hacerlo represente cierto costo, si con ello se reducen los costos de las etapas posteriores de los procesos. Para la preparación del carbón, como se conoce usualmente el proceso de reducción de su contenido de escoria, existen cuatro técnicas: a) las manuales, que son útiles únicamente en el caso de una producción reducida y no siempre son confiables; b) las magnéticas, que se utilizan para extraer las impurezas ferrosas, en particular los fragmentos del equipo de extracción; c) las mecánicas, las cuales se utilizan junto con el agua en los lavaderos de carbón cuando se trata de obtener una alta producción y son las de uso más generalizado, y d) las de flotación, que son las más eficaces cuando los elementos carbónicos y minerales se encuentran fuertemente aglomerados, en cuyo caso, ninguna de las tres primeras es muy eficaz. En India, al igual que en China, se emplean agentes de flotación junto con el agua en los lavaderos de carbón, pero ya ha sido probado o propuesto cierto número de técnicas nuevas; por ejemplo: la flotación mediante un aceite base, la floculación selectiva, la separación electrostática y los procesos de ionización para la remoción de azufre. Como puede verse, la preparación del carbón mineral plantea un problema bien definido, con una gama de soluciones posibles, que ofrece la oportunidad de llevar a cabo investigaciones fructíferas (Zimmerman, 1982).

EL CARBÓN VEGETAL

El carbón vegetal, el cual contiene una muy alta proporción de carbono, fue el único combustible y el único agente reductor utilizado en la obtención de hierro antes de la revolución industrial. La creciente demanda de hierro provocó la deforestación del Reino Unido, por lo que la búsqueda de una alternativa al carbón vegetal llevó al uso del carbón mineral en el siglo XVIII. En la actualidad, el carbón vegetal se utiliza nuevamente para la fundición del hierro en Argentina y Brasil; en este último país, se usa para producir aproximadamente 10 Mt (megatoneladas) de acero por año. Para los países con un gran potencial de biomasa, el carbón vegetal ofrece perspectivas muy prometedoras, pero, puesto que el uso del carbón vegetal implica la necesidad de contar con enormes cantidades de biomasa y puesto que el uso del coque permite el empleo de los grandes altos hornos, en el caso de los países que no cuentan con una gran riqueza forestal está asegurado el empleo del carbón mineral. Por otra parte, a medida que el carbón coquizable se haga cada vez más escaso, el uso del carbón no coquizable aumentará crecientemente para obtener la esponja de hierro.

El polvo de carbón vegetal, que también posee una alta razón superficie a volumen, fue utilizado como carbono activo en las reacciones químicas antes de que se iniciara el uso del coque de petróleo. En la actualidad, dado que este último es un producto secundario de la refinación del petróleo y que su precio se fija de tal manera que se venda todo el que se produce, es poco probable que el carbón vegetal pueda competir con él; sin embargo, si una disminución de la demanda total de petróleo provocara la escasez del coque de petróleo, el carbón vegetal sería, sin duda alguna, una opción importante.

El carbón vegetal sigue siendo utilizado en grandes cantidades como combustible doméstico en algunos países en desarrollo, en particular en las ciudades de África y del sureste de Asia. En ellas, y en todos los demás lugares donde se utiliza, enfrenta la competencia del gas licuado de petróleo (gas LP), del kerosén y de la electricidad, combustibles que, primero, debido a su conveniencia, resultan atractivos para los mercados de ingresos más altos y, después, a medida que sus precios relativos descienden o el ingreso aumenta, son adoptados por los mercados de menores ingresos.

No obstante, algunos países en desarrollo no tienen la capacidad económica para importar combustibles domésticos derivados del petróleo, mientras que, en aquellos que refinan sus propios combustibles, el desequilibrio entre el patrón de demanda y el patrón de producción de las refinerías provoca una escasez de kerosén —en esos países, entre más se aleja uno de los puertos y los centros de producción, los canales de distribución del kerosén se reducen continuamente y son menos confiables—; por ello, diversos segmentos de los mercados nacionales o locales siguen recurriendo al carbón vegetal y se expanden o contraen en respuesta a las variaciones de la oferta de combustibles derivados del petróleo. El kerosén requiere una destilación fraccional similar a la del combustible, por lo que los países que deseen disminuir al mínimo las importaciones de petróleo, excepto para satisfacer las necesidades esenciales e irremplazables, bien podrían considerar la sustitución del kerosén importado por carbón vegetal. En resumen, la manufactura de carbón vegetal sobrevive en muchos países en desarrollo como una industria, industria que puede crecer bajo las presiones mundiales o nacionales para reducir las importaciones de petróleo.

En la elaboración del carbón vegetal, se pierde una alta proporción de la energía de la madera; no obstante, gran parte de esa energía se perdería en cualquier proceso de combustión para vaporizar y expulsar la humedad, así como para carbonizar y separar los elementos minerales no combustibles, por lo que, si se excluyen esas pérdidas inevitables, la pérdida de energía en la elaboración del carbón vegetal no resulta muy alta. En este caso, se trata de un ejemplo de lo erróneo que sería pensar únicamente en función de la cantidad de energía sin considerar su calidad ni su economía. Recordemos que, en las zonas urbanas, el carbón vegetal es preferido como combustible sobre la madera debido a que emite menos gases, a que la temperatura de su llama es más alta y a que es de control más fácil.

Vemos así que, en las zonas urbanas, el uso del carbón vegetal como combustible de cocción y calefacción puede ser ampliado y desarrollado; sin embargo, ello debe hacerse sobre la base de tecnologías y sistemas de gestión que permitan la existencia de una oferta barata, confiable y sostenida. Los actuales métodos, de muy poco rendimiento energético y verdaderamente rapaces, consistentes en destruir los bosques existentes y quemarlos en hornos

cavados en la tierra, sólo es posible aplicarlos a bajas escalas de explotación y, si bien el aumentar la eficacia de esos hornos mejoraría su economía, ello no aumentaría la producción ni la viabilidad de los bosques en el largo plazo.

Si se desea proveer las ciudades con carbón vegetal de manera sostenida, el carbón deberá provenir de cultivos silvícolas en los que el corte y la reforestación sean regulares. Y, si bien ese tipo de cultivos ha sido promovido generalmente en tierras inadecuadas para la agricultura, la disponibilidad de esas tierras varía de manera considerable de región a región. Se sabe a ciencia cierta que, en general, la silvicultura para producir energía (a diferencia de la agrosilvicultura) no es competitiva respecto a la agricultura en ninguna parte, ni en los países en desarrollo ni en los industrializados; y no es porque los alimentos sean "más esenciales" que los combustibles producto de la madera, lo cual depende de la cantidad de alimentos que se producen en relación con las necesidades, sino porque esos combustibles (a diferencia de la pulpa de madera) se venden a precios demasiado bajos en comparación con otros productos agrícolas. Además de los alimentos, la agricultura genera una gran cantidad de productos para los mercados urbanos y satisface cierta proporción de los requerimientos de combustible de las poblaciones rurales, pero también podría satisfacer la demanda urbana de combustibles si la productividad agrícola fuese lo suficientemente alta como para crear un excedente de tierra y mano de obra por sobre el nivel de subsistencia y si el precio relativo de los combustibles producto de la madera fuese lo suficientemente alto como para que su producción fuese remunerativa. Si se desea que continúe el crecimiento de las zonas urbanas en los casos en que ya no es posible una mayor urbanización e industrialización basadas en las importaciones, las zonas rurales tendrán que proveer a las urbanas con cantidades cada vez mayores tanto de alimentos como de combustibles.

Una industria proveedora de carbón vegetal para las ciudades exigiría, en primer lugar, cultivos silvícolas sostenibles —tema que abordamos en la próxima sección— y, en segundo lugar, una selección de tecnologías —las tecnologías para la elaboración de carbón vegetal ya han sido extensamente investigadas y discutidas (Food and Agriculture Organization, 1983; Karch y Boutette,

1983; Cáceres, 1985)—. En la selección de tecnologías intervendrán, sin duda alguna, factores específicos de cada lugar; en el contexto actual, no obstante, podemos hacer ciertas recomendaciones.

Si lo que se busca es que la elaboración de carbón vegetal sea una industria fija de producción continua, los hornos también podrían ser fijos, puesto que los cavados en tierra o los portátiles no ofrecen ventajas especiales. Los hornos cavados en tierra constituyen el tipo común en África, donde se hace frente a la alternativa entre mejorarlos y construir o fabricar hornos más eficaces; pero, puesto que es probable que los hornos cavados en tierra sigan siendo utilizados, lo deseable, obviamente, es mejorarlos. No obstante, el que los productores de carbón vegetal adopten realmente las mejoras dependerá del rendimiento económico y del costo de las mismas. Dado que el rendimiento se da en gran medida bajo la forma de un producto más altamente carbonizado y mejor, una carbonización más completa reduciría de hecho el peso del carbón vegetal y no sería muy aceptable para los productores, a menos que el mercado fuese sensible a la calidad. Por otra parte, en la construcción de un horno interviene un costo significativo en la forma de una mejor capacitación y una mayor cantidad de mano de obra, por lo que las perspectivas de la difusión y mejoramiento de los hornos cavados en tierra no son claras; en vista de que su tecnología debe responder a las necesidades de los usuarios y difundirse a un número muy grande de ellos, la habilidad promedio de los usuarios en el manejo de los hornos estará muy por debajo de lo óptimo.

Consecuentemente, la elección debería recaer entre el horno de ladrillo y el crisol de arcilla refractaria. La elección adecuada sería este último en los casos en que hubiese una demanda local de alquitranes, resinas y otros productos químicos de la madera; no habiendo esa demanda, el horno de ladrillo sería la mejor elección. En Brasil se produce carbón vegetal en hornos coniformes para la obtención de hierro; ese tipo de hornos, cuyo uso se remonta a hace cuando menos 150 años y cuyo diseño los hace tener un alto rendimiento energético, se utiliza también en la fabricación de ladrillos y de coque suave. Sería deseable que su tecnología tuviese una amplia difusión y que se examinara con mucha atención la posibilidad de introducir mejoras en ellos.

LA BIOMASA

Algunos autores han demostrado que las plantas son colectores solares muy versátiles (Coombs *et al.*, 1983); además, si bien la gran variedad de sus especies, usos y condiciones de crecimiento hacen difícil tratar de abordarlas todas, el hecho de que sean reemplazables unas por otras en diferentes grados en la producción y el consumo hace necesario abordar el tema de la biomasa en su conjunto.

La calidad de la biomasa como combustible es importante para el usuario y depende de cuatro factores principales:

- *La humedad.* Cuando se quema la biomasa, el agua que contiene se evapora y escapa a la atmósfera, proceso que impide aprovechar el calor producto de la evaporación. La energía así absorbida corresponde a 2.4 kJ/g de agua y, como resultado, debido a que el contenido de humedad aumenta de 0 a 50% (base húmeda), la energía aprovechable de la madera se reduce de 18.7 a 8.2 kJ/g.¹
- *Las fracciones volátiles.* La madera contiene sustancias bituminosas y resinosas cuya proporción varía según la especie y cuyo contenido energético es más alto que el de la madera seca; no obstante, esas sustancias son corrosivas y producen mucho humo al quemarse; además, cuando se queman de manera incompleta, pueden acumularse en el equipo utilizado, como gasificadores y motores, con serios efectos negativos.
- *Las materias no combustibles.* Éstas, conocidas como cenizas, no se queman, pero absorben calor (que más tarde pierden) en el proceso de la combustión, por lo que reducen la densidad energética de la biomasa. En el caso de la combustión de la madera, la producción de ceniza no es muy alta, pero puede ser significativa en el de la paja y el estiércol.
- *Razón superficie a volumen.* Si bien la razón superficie a volumen no afecta la densidad energética de la biomasa, a un mayor coeficiente corresponde una mayor velocidad de quemado. En la cocción, que consiste esencialmente en un intercambio térmico, a un mayor ritmo de producción de calor puede corresponder una mayor pérdida de este último, un

¹ K. Openshaw, 1984. Informe personal basado en Bialy (1979).

menor rendimiento en la transferencia del mismo y un mayor requerimiento de combustible. En general, entre más largo y grueso sea el trozo de madera o de carbón, su combustión será más lenta. Por lo general, los residuos agrícolas son más delgados y su razón superficie a volumen es alta, al igual que la del estiércol.

Cuando los usuarios pueden elegir, la calidad adquiere importancia, por lo que en las zonas urbanas la gente con ingresos suficientemente altos puede controlar su elección. En los casos en que no pueden obtener, o no tienen recursos para comprar combustibles de calidad como el kerosén o el gas, eligen el carbón vegetal y la leña, que ocupan el primero y segundo lugares, respectivamente, entre los combustibles de producción local preferidos y que, además, implican la destrucción de árboles.

Por su parte, la población de las zonas rurales utiliza combustibles que sean abundantes y accesibles en ellas y tiende a disminuir al mínimo los insumos de mano de obra para la recolección y preparación de dichos combustibles; *motu proprio*, sigue por lo general prácticas de recolección menos destructivas. Cuando tiene a su disposición combustibles de mayor calidad (como los productos de la madera), también los prefiere a los de menor calidad (residuos agrícolas y estiércol) y deja que éstos se pierdan. En el acceso a los combustibles y, por ende, en los costos de mano de obra de los mismos, existen grandes desigualdades cuyo peso es soportado por los que carecen de tierra y por las mujeres (Desai, 1985; Howes, 1985).

La oferta de combustibles producto de la biomasa también presenta un aspecto regional, como lo indican las estimaciones de Hughart (1979) (cuadro 11). Las cifras consisten en proyecciones muy aproximadas a 1990 y no son lo suficientemente confiables como para hacer comparaciones detalladas entre países. Además, entre los recursos orgánicos se mencionan más de los que las poblaciones locales considerarían normalmente como combustibles potenciales. No obstante, las cifras sí sirven para indicar que la región con mayor escasez de combustibles provenientes de la biomasa es la zona árida que se extiende a lo largo del occidente de Asia y el norte de África y que en los extremos este y sur de esa región, esto es, en el sur, el este y el sudeste de Asia y en el este de

CUADRO 11. Recursos orgánicos estimados, 1990
(GJ/cápita por año)

País	Producción forestal sostenible		Residuos de cosechas	Total
		Estiércol ^a		
Argelia	3	3 OG	1	7
Egipto	0	1 GC	6	7
Irak	1	5 GO	2	8
Bangla Desh	2	4 GO	4	10
Etiopía	3	6 OC	3	12
Kenia	1	7 GO	4	12
Ghana	8	2 GO	2	12
Nigeria	8	3 GO	2	13
Pakistán	1	6 GO	7	14
Marruecos	6	5 GO	5	16
India	6	5 GO	6	17
Sri Lanka	11	2 GO	4	17
República de Corea	9	1 GP	7	17
Vietnam	12	1 GP	6	19
Afganistán	6	8 GO	7	21
Filipinas	12	3 GP	7	22
China	11	3 GP	8	22
Sudáfrica	2	8 GO	13	23
Nepal	15	11 GO	6	32
Tailandia	22	3 GP	9	34
Irán	22	6 OG	7	35
República Popular Democrática de Corea	24	1 GP	13	38
México	39	9 GC	9	57
Tanzania	54	11 GO	3	68
Indonesia	63	1 GO	6	70
Chile	71	7 GO	4	82
Burma	82	4 GP	6	92
Malasia	114	2 GP	7	123
Sudán	148	18 GO	5	171
Argentina	104	45 GO	33	182
Colombia	180	16 GC	4	200
Venezuela	211	11 GC	4	226
Brasil	229	15 GP	9	253
Perú	245	7 GO	2	254

^aLas fuentes primarias están indicadas mediante letras: G = Ganado, búfalos y camellos; O = ovejas, cabras; C = caballos, mulas y asnos; P = porcinos. Fuente: Hughart, 1979.

África, respectivamente, existe una mayor disponibilidad de biomasa, si bien sigue siendo exigua.

La crisis de energía en el campo ha generado un gran volumen de investigaciones, así como medidas de política, estimuladas por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization, 1983). Las observaciones anteriores sugieren la existencia de dos fuentes potenciales de la crisis, que no son, de ninguna manera, únicamente rurales: primera, la deforestación se extiende en torno a las ciudades que dependen principalmente de los combustibles derivados de la madera, cuyo costo aumenta continuamente; segunda, la productividad de la biomasa es pobre en las zonas áridas, lo cual ejerce presión sobre la oferta de toda la biomasa útil, no sólo del combustible. Consecuentemente, las soluciones también deben buscarse en diferentes direcciones.

Si lo que se busca es reducir y estabilizar los costos de los combustibles derivados de la madera en las ciudades que dependen de ellos, será necesario proveer éstas con madera proveniente de cultivos silvícolas permanentes, por lo que la silvicultura tendría que integrarse a los sistemas de uso de la tierra en torno a esas ciudades; además, la silvicultura podría combinarse con estufas y hornos más eficaces para hacer un mejor uso de la leña y del carbón vegetal. Vemos así que, en los casos en que la crisis energética es de origen urbano, es necesario que la investigación se concentre en esos tres factores: la agrosilvicultura, las estufas de leña y los hornos de carbón vegetal.

Por otra parte, en los casos en que la escasez de combustibles es provocada por un bajo rendimiento de la biomasa, la solución debe buscarse en dos direcciones diferentes: en la posibilidad de aumentar el rendimiento de la biomasa y en la diversificación de la base de combustibles. En este caso, no sólo es importante la investigación sobre la productividad de la biomasa en general, sino también la investigación sobre la productividad de los combustibles producto de la biomasa. Cuando, en el caso de cualquier cultivo, se incrementa el rendimiento de la tierra, potencialmente se está liberando tierra para otros cultivos (Hall, 1984); además, los habitantes de las zonas áridas ya usan una amplia gama de combustibles producto de la biomasa: tallos leñosos de cultivos alimentarios, residuos combustibles de árboles comerciales, arbustos leñosos, maleza y estiércol; por lo tanto, la investigación

debería tratar de explotar esa diversidad para desarrollar o introducir cultivos que mejoren la cantidad, la calidad y la disponibilidad de los combustibles mediante métodos menos destructivos del medio ambiente. Para ello, se requiere una investigación más amplia de las especies adecuadas para cada lugar y que las pruebas de esas especies se lleven a cabo durante periodos largos y en escalas lo suficientemente grandes como para que sean fructíferas. Asimismo, los estudios detallados de la composición de la oferta de combustibles en las diferentes zonas de las regiones áridas proporcionarían una valiosa información comparativa. Desde luego, también sería necesario hacer una inversión mínima sustancial en la investigación y establecer compromisos a largo plazo (*cf.* Du Toit *et al.*, 1984).

IX. OTRAS FUENTES TÉRMICAS

Dado que el calor se disipa fácilmente, es más adecuado utilizar localmente las fuentes térmicas como la geotermia o el calor solar, ya que ello no requiere una gran inversión en almacenamiento o transporte.

La mayoría de los descubrimientos de fuentes geotérmicas ha sido producto de la exploración en busca de petróleo, pero es probable que exista un volumen mucho mayor de energía geotérmica disponible en los sistemas ígneos jóvenes, donde nadie busca petróleo, que justificaría su exploración. Una gran parte de los mantos de aguas termales que se descubrieran tendría una temperatura demasiado baja como para intentar la conversión directa a electricidad y sólo podría ser utilizada para procesos térmicos; no obstante, los países en desarrollo deberían seguir de cerca los avances que se logren en las centrales eléctricas de ciclo binario y en la tecnología para aprovechar la energía de las rocas térmicas.

Virtualmente, todos los costos de explotación de la energía solar consisten en equipo y, dado que esa explotación se hace en pequeña escala, se requiere un gran número de dispositivos. Por otra parte, si bien la mayor parte de la investigación se concentra en el diseño de esos dispositivos, su difusión generalizada exige el desarrollo de tecnologías de producción en serie que puedan hacerlos baratos y confiables.

El hecho de que la luz solar sólo esté disponible una parte del tiempo obliga a que los dispositivos para aprovechar su energía sean de gran tamaño o a que se subutilice su capacidad; además, entre mayor sea la temperatura que alcanzan, mayores son sus costos. Por lo tanto, para que resulten económicos, los dispositivos para aprovechar la energía térmica solar deben ser utilizados como métodos para el ahorro de combustible que operen en combinación con dispositivos no solares; por ejemplo: calentadores de agua, estufas y secadoras de granos; sin embargo, si se desea que esos sistemas tengan éxito, es indispensable que los dispositivos no solares correspondan a una identificación de mercados.

Cuando está caliente, un producto no energético puede ser utilizado como conductor y fuente de energía; así, muchos procesos en los que se usa energía generan calor como producto residual que puede ser utilizado ulteriormente. En la industria, las posibilidades de recuperar el calor residual son numerosas; no obstante, debido a que el calor se transfiere rápidamente de los objetos calientes a los fríos, si un objeto más caliente que la temperatura ambiente es expuesto al aire, el calor se disipa velozmente, y la única manera de impedir la disipación del calor es confinándolo a un medio que sea un mal conductor de energía. Por ende, el aislamiento constituye otro medio importante en la industria para la conservación del calor. Ahora bien, dado que el calor se disipa fácilmente y que su valor raramente justifica su almacenamiento o transporte, por lo general es utilizado en el lugar y en el momento en que se produce. En este capítulo, abordaremos dos formas de calor: la energía geotérmica y la heliotérmica.

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

El calor contenido en los tres primeros kilómetros de la capa superior de la corteza terrestre continental ha sido estimado en 10^{14} veces el total de la energía de los recursos nucleares y de combustibles fósiles (Rowley, 1982); los obstáculos para su explotación se relacionan con su costo y con su calidad (Fridleifsson, 1984).

Para extraer el calor subterráneo a la superficie, se requiere un medio, y el único medio práctico probado hasta el presente es el agua. No obstante, si bien es cierto que bajo tierra existen grandes volúmenes de agua, para que ésta retenga el calor, no debe estar en contacto con el agua de la superficie, sino atrapada bajo tierra; además, para poder extraerla, es necesario contar con un conductor permeable. Tales son las condiciones especiales para que el agua subterránea sea explotable. Por lo demás, el costo de su explotación dependerá de la profundidad a que se encuentre, de su temperatura, presión y composición química y de la dificultad de la perforación que deba hacerse.

El primer paso para explotar la energía geotérmica es el establecimiento, delimitación y estimación de los recursos, lo cual

requiere la exploración *in situ*. En el curso de las exploraciones en busca de petróleo, se han descubierto muchos mantos geotérmicos; sin embargo, la presencia de mantos de aguas termales o de vapor no siempre coincide con la de hidrocarburos, ya que éstos se buscan en los sistemas sedimentarios o cerca de ellos, mientras que los mantos geotérmicos que contienen agua a más de 200°C de temperatura se encuentran más probablemente en los sistemas ígneos jóvenes. Cuando el vapor subterráneo alcanza tales temperaturas, puede ser utilizado de manera directa para generar electricidad, por lo que, si se utilizase en un sistema de turbinas múltiples, resultaría particularmente económico; no obstante, la presión del vapor disminuye a medida que envejece el manto geotérmico, lo cual haría disminuir también el número de turbinas que podrían utilizarse.

Los recursos geotérmicos de agua a bajas temperaturas son mucho más abundantes, pero su aplicación a la generación de electricidad no resulta económica, aunque sí lo sería su uso como medio de calefacción; de hecho, ya se está utilizando así en Tianjín y en París, y también podría utilizarse en invernaderos y viveros piscícolas en las regiones frías. En los casos de concentración de industrias que utilizan grandes cantidades de vapor o emplean termoprocesos (para el secado, por ejemplo), la aplicación de la geotermia serviría para ahorrar energía; sin embargo, el contenido de sustancias químicas del agua geotérmica podría representar problemas de corrosión y, después de la extracción térmica, también podría ser necesario reinyectar el agua residual para evitar la contaminación del medio ambiente.

La exploración en busca de recursos geotérmicos sería muy útil para los países con una geología favorable; asimismo, sería muy recomendable que aquellos países que cuentan con grandes recursos geotérmicos de bajo poder calorífico siguieran de cerca y, quizá, participaran en la investigación sobre las centrales eléctricas de ciclo binario. La tecnología para aprovechar la energía de las rocas térmicas se encuentra aún en una etapa demasiado precoz como para tener indicios firmes sobre sus perspectivas futuras; no obstante, sin duda alguna valdría la pena observar de cerca los experimentos que se llevan a cabo al respecto en la Comunidad Europea y en Estados Unidos.

LA ENERGÍA HELIOTÉRMICA

Cuando se trata de aprovechar la energía heliotérmica, entre mayor temperatura se requiere, más debe concentrarse la radiación solar; por ello, las aplicaciones de alta temperatura exigen el uso de grandes reflectores distribuidos en áreas muy amplias y coordinados mediante mecanismos de seguimiento de la luz solar. En los dispositivos que no requieren la concentración o el seguimiento y que, por ende, operan a bajas temperaturas, los costos de capital son mucho menores. En ese caso, se trata básicamente de dispositivos que alcanzan temperaturas moderadamente más altas que el medio ambiente mediante la captación de la energía solar; por ejemplo: calentadores de agua, secadoras, estufas y alambiques. Debido a que esos dispositivos no concentran la radiación, las economías de escala se agotan a un tamaño relativamente reducido, por lo que su uso principal es doméstico y en la pequeña industria; sin embargo, ello no significa necesariamente que no existan economías de escala en su fabricación, ya que las posibilidades de las economías de escala dependen del diseño y de la ingeniería. Hasta ahora, casi toda la investigación sobre esos dispositivos ha sido hecha por investigadores interesados en hacer y probar prototipos, pero la mayoría de ellos no ha tomado en consideración los problemas de producción; los que sí han tomado en cuenta esos problemas, han tenido la tendencia a suponer que la producción se haría sobre pedido o en lotes pequeños. Si, no obstante, los países en desarrollo desearan adoptar alguno de esos dispositivos en gran escala, sería necesario que llevaran a cabo una gran labor de investigación tanto acerca de la tecnología para su producción como acerca del diseño de los productos.

Las variaciones en las horas de luz solar y en la intensidad de la radiación obligan, por una parte, a que esos dispositivos tengan que ser de un gran tamaño o a que se subutilice su capacidad y, por la otra, a que sean utilizados junto con dispositivos que empleen combustibles convencionales; o, bien, a ambas cosas. Por ende, su economía se ve determinada por los ahorros que puedan hacerse en otros combustibles y no por los ahorros en gasto de capital en otros dispositivos.

En todos los casos, se trata de dispositivos para temperaturas medias que operan a entre 60°C y 150°C; entre ellos, los que

operan a temperaturas más altas son menos económicos porque requieren materiales más costosos y su funcionamiento se lleva a cabo en condiciones de operación más severas. Como vemos, es muy probable que los dispositivos económicamente viables sean aquellos que operan a temperaturas relativamente bajas (Collins, 1985); por ende, en los casos en que sean utilizados junto con dispositivos convencionales, es probable que estos últimos actúen como amplificadores.

Los calentadores de agua solares

Los calentadores de agua solares son comunes en Australia, Israel y Japón y los fabrican compañías que, en comparación con los patrones de esos países, son pequeñas, si bien, conforme a los patrones de los países en desarrollo, no se trataría, de ninguna manera, de compañías grandes; sin embargo, esas compañías consisten básicamente en ensambladoras que compran los componentes. En esos tres países hay épocas del año en las que la insolación es fuerte, pero las temperaturas ambientes son tan bajas que se prefiere el uso del agua caliente. La aplicación de los calentadores de agua solares sería adecuada en aquellos países en desarrollo con condiciones climáticas similares —en regiones templadas o subtropicales, así como en zonas secas y montañosas—; no obstante, en los lugares donde la electricidad o el petróleo estuviesen disponibles, su economía dependería fundamentalmente del precio relativo de esos dos energéticos. Los calentadores de agua solares son un producto bien desarrollado y las necesidades de investigación sobre ellos son reducidas; con todo, si se instalan en grandes unidades habitacionales, pueden ofrecer problemas de interconexión con las instalaciones de plomería (Isaza, 1984).

Las estufas solares

Es improbable que las estufas solares de tipo concentrador logren acceso a los grandes mercados en los países en desarrollo debido a que son costosas, esto es, accesibles sólo a escalas de ingreso

relativamente altas, y a que los inconvenientes que presenta su operación son mayores de lo que una familia de altos ingresos toleraría.

En el caso de las cocinas solares de placa plana, las operaciones que pueden llevarse a cabo se limitan a la cocción por ebullición, vaporización y horneado; además, esas estufas son lentas y no siempre es posible utilizarlas cuando se requiere hacerlo, ya que su efectividad varía según la época del año. Por otra parte, no requieren atención cuando se utilizan y, puesto que son relativamente baratas y podrían serlo más si su diseño fuese concebido adecuadamente y se comercializara su producción, podrían ser mejor aplicadas como un dispositivo auxiliar que justificaría su uso en función del combustible ahorrado en la estufa principal; por ello, probablemente resultarían más atractivas en aquellos casos en que se cuente con una estufa principal que consuma un combustible costoso: kerosén, gas LP o carbón vegetal. Desde luego, la promoción de las estufas solares entre las personas pobres no sería conveniente, al menos en los países de bajos ingresos. Por lo demás, su éxito depende de que se haga una buena identificación de los mercados y de que se desarrollen éstos para poder llevar a cabo la producción en gran escala del producto.

Los alambiques solares

La demanda de las comunidades que necesitan agua desalinizada es muy alta; sin embargo, puesto que a pesar de decenios de experimentación con los alambiques solares, éstos, por su diseño, no consisten sino en una simple trampa de calor que no ofrece economías de escala, la mayor parte de la desalinización que se hace en el mundo se lleva a cabo en países ricos en petróleo en plantas de gran tamaño que funcionan a base de combustibles fósiles. Así, vemos que es muy poco probable que esos dispositivos puedan llegar a suministrar agua dulce en grandes volúmenes; no obstante, como medida de apoyo a los programas de salud, los modelos pequeños podrían ser introducidos para proveer de agua potable las zonas donde ésta no exista o en las que se padezcan enfermedades endémicas debidas al agua contaminada.

Las bombas solares

Los costos de capital de las bombas solares termodinámicas son muy altos, por lo que tendrían que disminuir considerablemente si se desea que aun a costos corrientes ese tipo de bombas compita con los sistemas fotovoltaicos; sin embargo, puesto que es muy probable que el trabajo de desarrollo que se requiere para hacerlas competitivas resulte costoso y dados los actuales y previsibles grados de financiamiento, el buen éxito de las investigaciones en esta área será sin duda reducido (McNelis y Fraenkel, 1984).

Las secadoras solares de granos

El secado es un proceso térmico en el que, además de todos los combustibles y la electricidad, también es posible utilizar el calor solar. Las secadoras solares han sido experimentadas extensamente en los países en desarrollo, pero existen dos tipos de restricciones para su aplicación. En primer lugar, muchos granos pueden ser secados mediante el simple expediente de esparcirlos por el suelo a la luz del sol sin tener que invertir en los gastos de capital de las secadoras. Así, en los casos en que el secado a la intemperie es posible, la única justificación para introducir secadoras sería el efecto que éstas ejercen en la calidad del producto; por ejemplo: impedir que se deposite polvo en él, que lo ataquen las aves o los insectos o que lo contaminen organismos extraños; sin embargo, incluso en los casos en que esas mejoras marginales pueden significar una diferencia importante, las aplicaciones de las secadoras son reducidas, ya que, por una parte, es posible limpiar el polvo del grano e impedir por otros medios que aves e insectos lo ataquen y, por la otra, la contaminación no es un inconveniente serio, excepto cuando el grano se destina para usos médicos (ya han sido diseñadas secadoras solares para la esterilización de equipo médico, pero como es necesario que alcancen altas temperaturas, son más costosas).

En segundo lugar, las temperaturas que pueden alcanzar las secadoras solares simples limitan su rendimiento y las hacen inadecuadas cuando el volumen de producción tiene que ser grande o cuando el secado debe hacerse rápidamente. Por lo

común, la inversión que requiere una secadora solar sólo pueden hacerla los productores que cuentan con medios relativamente abundantes, pero el rendimiento requerido bien puede ser tan alto que una secadora diesel o eléctrica resultase más barata que una batería de secadoras solares. Además, en general sólo se recurre al secado artificial en los casos en que a la intemperie es imposible; por ejemplo: cuando se siembran cultivos múltiples y es necesario cosechar uno de ellos antes de que se seque en pie o cuando el clima posterior a la temporada de cosecha es demasiado lluvioso o frío.

En nuestra opinión, dondequiera que exista un mercado posible para las secadoras solares, éstas tendrán que competir invariablemente con las que utilizan combustibles o electricidad, puesto que, además de ser lentas, las actuales también exigen el manejo manual de los granos, mientras que en las de diesel o electricidad, puede incorporarse fácilmente un motor para introducir y extraer el grano. En resumen, la economía de las secadoras solares no es muy atractiva (Bruggink, 1984), y las posibilidades parecen ser más amplias para las secadoras diesel o eléctricas híbridas, en las que el aire que se utiliza es precalentado mediante el calor del sol.

X. LA ELECTRICIDAD

Tan versátil en sus aplicaciones como en sus orígenes, la electricidad es una fuente de energía de uso industrial y doméstico muy apreciada cuya demanda aumenta rápidamente a medida que avanza el proceso de desarrollo.

Las instalaciones eléctricas de los países en desarrollo son a menudo de alcance nacional y de propiedad gubernamental; no obstante, la interferencia política en su administración da como resultado estructuras organizativas ineficaces. Por ello, y dado que una de las prioridades más altas es la introducción de reformas institucionales y el establecimiento de una relación funcional con el gobierno, la innovación en el plano de la organización constituye el área de primordial importancia para la investigación en este terreno. Después de la organización, vienen las políticas de inversión y precios, áreas interrelacionadas en las que la investigación también debe desempeñar una función primordial; para ello, los diagnósticos correctivos de las centrales eléctricas en operación son potencialmente muy útiles.

Una vez que las celdas fotovoltaicas de silicio cristalino fueron comercializadas, sus costos descendieron rápidamente; en la actualidad, no obstante, las celdas de película delgada, en particular las de silicio amorfo, representan un potencial de investigación mucho mayor y, al menos hasta que alcancen la etapa de la comercialización, su investigación en los países en desarrollo ofrece perspectivas prometedoras.

Para un país que desee introducir el aprovechamiento de la energía eólica para la generación de electricidad, el primer paso consiste en la identificación de los lugares adecuados, ya que el número de éstos será determinante del mercado de generadores, sobre la base de los diseños y procesos de fabricación que deban elegirse. Por otra parte, la adaptación de los generadores a las redes de transmisión también generará problemas que deberán ser investigados.

La electricidad puede ser producida a partir de un gran número de fuentes de energía primarias, y es igualmente versátil en sus aplicaciones; además, debido a su conveniencia, rendimiento y bajo costo en relación con otras fuentes de energía primarias basadas en el petróleo o en el carbón mineral, ha llegado a ser la fuente principal de energía motriz estacionaria en la industria. Asimismo, de su uso, como agente de iluminación y como fuente de energía para aparatos electrodomésticos, se derivan algunas de las grandes mejoras en la calidad de la vida. En consecuencia, su proporción en el consumo de energía ha mostrado un aumento continuo en los países en desarrollo (Brooks, 1984).

Todos los países en desarrollo producen electricidad, por lo que las mejoras que puedan introducirse en la producción y administración de esa fuente de energía son de interés para todos ellos. Y ése es un campo que ofrece algunas de las perspectivas más prometedoras para la investigación.

LA ORGANIZACIÓN, LA ADMINISTRACIÓN Y LAS POLÍTICAS DEL SECTOR ELÉCTRICO

En la mayoría de los países en desarrollo, el sector eléctrico se desarrolló con rapidez, en particular a partir de los años 1950. En virtud de que se trata de uno de los sectores de la economía de uso más intensivo de capital, potencialmente capaz de generar ingresos significativos y, también, dependiente de una tecnología relativamente moderna, el sector eléctrico ha mostrado la tendencia a atraer una mayor participación extranjera en todo el Tercer Mundo. En general, en sus inicios, la energía eléctrica sólo estaba disponible en las ciudades principales y era producida mediante centrales termoeléctricas e hidroeléctricas aisladas de tamaño relativamente reducido; además, el establecimiento de esas centrales se relacionaba a menudo con los grandes usuarios industriales y con las compañías extranjeras. A medida que más países en desarrollo obtuvieron su independencia después de la segunda guerra mundial y la demanda de los consumidores empezó a crecer, cada vez resultó más ventajoso el establecimiento de redes de distribución interconectadas —tanto a escala nacional como regional— y de estaciones de generación más grandes para así

obtener economías de escala en la planeación y en las operaciones, una mayor confiabilidad, mejoras en la coordinación y el rendimiento y otros beneficios. Al mismo tiempo, las presiones socio-económicas y políticas obligaron a muchos gobiernos a absorber a los productores privados (tanto nacionales como extranjeros) y a centralizar la oferta de electricidad.

El principal objetivo de la producción de electricidad es satisfacer la carga, por lo que, para proporcionar un servicio satisfactorio a sus clientes, se espera que una compañía de electricidad moderna lleve a cabo eficazmente las siguientes funciones técnicas: a) pronosticar la demanda (a corto, mediano y largo plazos); b) planificar la inversión menos costosa a largo plazo para satisfacer la demanda futura con una calidad de suministro aceptable (sistemas de generación, transmisión y distribución); c) operar y mantener en condiciones óptimas el sistema de redes de distribución (incluidas la seguridad, las pérdidas, etcétera), y d) fijar los precios.

Una empresa eléctrica eficaz —como, en realidad, todas las empresas públicas— debería contar con:

- directrices políticas bien definidas, generales y a escala nacional provenientes del gobierno, pero sin participación de éste en las actividades cotidianas;
- una junta de directores relativamente independiente que interprete las directrices nacionales, proporcione directrices políticas más específicas y, en general, proteja la administración de la empresa de interferencias indebidas;
- una administración competente y bien motivada con un alto grado de continuidad;
- la autoridad tanto para contratar personal capacitado y retenerlo, ofreciéndole salarios y otros incentivos competitivos, como para despedir al personal incompetente;
- un alto grado de capacidad e independencia financiera, incluida la capacidad para fijar tarifas que produzcan ingresos suficientes, ayuden a satisfacer los objetivos de subsidio social, aseguren la eficacia económica, etcétera;
- la responsabilidad principal para la adquisición de bienes y servicios, y
- un órgano regulador separado, imparcial y competente cuya responsabilidad se centre más en los objetivos de política (esto

es, los problemas relativos a las inversiones y la fijación de precios, por ejemplo) que en aspectos menores, ya que intervenir en estos últimos podría llevar a interferencias y demoras indebidas en la toma de decisiones.

Si acaso, sólo unos cuantos de estos requisitos son satisfechos en la práctica en la enorme mayoría de los países en desarrollo. De manera general, las presiones políticas para mantener bajas las tarifas llevan a un financiamiento inadecuado, a un grado de inversión demasiado bajo y a un mantenimiento deficiente del sistema eléctrico. De continuar esa situación, la calidad del suministro podría deteriorarse, al mismo tiempo que aumentarían las interrupciones en el servicio y las pérdidas, imponiendo una carga aún más pesada sobre las instalaciones, al igual que sobre los consumidores; además, la interferencia en las decisiones administrativas relacionadas con el personal, las adquisiciones e incluso los problemas de operación cotidianos, así como el frecuente remplazo de los directivos superiores, podrían minar tanto la competencia como el ánimo del personal en general; asimismo, alentar mediante la retórica política (en particular en lo que concierne a la electrificación rural) el aumento de la demanda y las expectativas de los consumidores exacerbaría aún más la situación.

El problema de la reforma institucional se ve complicado por la necesidad de mantener la continuidad y de no someter la estructura, a menudo frágil, del sector eléctrico de un país en desarrollo a cambios violentos con consecuencias imprevisibles. Los cambios estructurales deben consistir más bien en una especie de transición en la que se tome en cuenta el marco institucional y las restricciones sociopolíticas y socioeconómicas existentes para así llevarla a cabo tomando como base la experiencia acumulada.

Las condiciones que determinan si el sector eléctrico de un país determinado requiere contar con las características de un monopolio natural deben ser estudiadas cuidadosamente en relación con los múltiples aspectos del sistema eléctrico (generación, transmisión y distribución); asimismo, es necesario examinar las economías de la integración y la coordinación verticales. De manera general, otros aspectos que constituyen factores igualmente importantes y que deben tomarse en cuenta

cuando se trata de tomar decisiones respecto al marco institucional y a la política que deben regir al sector eléctrico son:

a) los principios globales inherentes a la macroeconomía (por ejemplo: si es mixta, capitalista o centralizada); b) el grado existente de confianza en los mecanismos del mercado, y c) el grado de acceso de las instituciones autónomas a los mercados de capital.

El área del sector eléctrico en la que, en principio, es más factible la introducción de reformas es la distribución. En general, la transferencia de la función de distribución constituye un paso relativamente poco complicado en la dirección adecuada. En los casos en que los mercados del sector eléctrico sean muy grandes, también podría alentarse cierta competencia en el terreno de la generación, iniciando esa competencia, quizá, con una cogeneración proveniente del sector industrial. Con todo, es muy probable que los problemas legales y contractuales fuesen mayores que los técnicos.

En general, las reformas organizativas no darían como resultado beneficios importantes sin una fijación eficaz de precios para la electricidad, si bien podrían mejorar el rendimiento de áreas de ejecución como la medición, la facturación y la cobranza. Por lo tanto, es necesario que continúe alentándose la introducción de reformas en la política tarifaria, independientemente de la política de reorganización del sector eléctrico (Munasinghe y Warford, 1982; Collier, 1984).

Asimismo, sería conveniente observar de cerca la experiencia de otros países y llevar a cabo más estudios de caso específicos de ciertos países; por lo demás, también es pertinente la observación de los avances logrados en otros sectores relacionados, como las telecomunicaciones y el gas natural.

Por otra parte, para determinar en qué medida es posible la adaptación de la organización de ese servicio público a las nuevas condiciones tecnológicas, es necesario llevar a cabo más investigaciones aplicadas. Nosotros creemos que las innovaciones que pueden introducirse en la organización de la industria eléctrica y los aspectos económicos relacionados con ellas constituyen una de las áreas de investigación más prometedoras en los países en desarrollo.

EN BUSCA DEL GRADO ÓPTIMO DE LA PLANEACIÓN DE LAS INVERSIONES, DE LA FIJACIÓN DE PRECIOS Y DE LAS OPERACIONES

Las dos principales decisiones normativas que deben tomar las compañías que proporcionan el servicio eléctrico público se relacionan con las inversiones en el sector y con la fijación de precios de la electricidad; por ende, esas dos son las áreas principales donde deberían llevarse a cabo más investigaciones. En la mayoría de los países en desarrollo en los que el principal proveedor de los servicios relacionados con la electricidad es el gobierno, éste puede intervenir directamente en el sector; no obstante, para que el análisis y la formulación de políticas sean adecuados, es necesario que se cumpla con los siguientes requisitos: 1) los objetivos de las políticas nacional y corporativa deben ser definidos con toda claridad; 2) los modelos tomados en cuenta para la formulación de las políticas deben definir y cuantificar explícitamente las relaciones tecnoeconómicas más importantes existentes en el seno del sector eléctrico, así como las interacciones de éste con el medio externo; 3) todas las otras restricciones sociales y políticas que sean difíciles de cuantificar deben ser tomadas en cuenta sistemáticamente, y 4) los resultados deben traducirse inmediatamente en opciones normativas directas y la metodología debe ser práctica y aplicable, aun cuando los datos sean deficientes.

Desde el punto de vista de la concepción tecnoeconómica, el objetivo básico del análisis consiste en determinar un conjunto de políticas con las que se logre que los beneficios netos del consumo de electricidad sean los óptimos para la sociedad en su totalidad; lo cual corresponde también a hacer el uso más eficaz de los escasos recursos económicos y a alcanzar un rendimiento de la producción o un PIB óptimos basados en un punto de vista económico de alcance nacional. Desde luego, existen otros muchos objetivos importantes que también influyen en la fijación de precios y en la política de inversiones.

En la política de inversiones, el principio de búsqueda de los beneficios netos óptimos puede ser aplicado para lograr que la planeación y la confiabilidad globales sean las óptimas y para que las pérdidas totales se reduzcan al mínimo. A menudo, el criterio de beneficios netos óptimos puede reducirse a la regla, más simple, de reducir al mínimo los costos totales, como, por ejemplo,

planear la inversión de menor costo. En años recientes fueron desarrollados complejos modelos y técnicas de planeación del sistema eléctrico basados en el principio de reducción al mínimo del costo de satisfacción de determinada demanda prevista a largo plazo con cierto grado de confiabilidad aceptable (o calidad de la oferta) (Munasinghe, 1979). La magnitud, la combinación y la oportunidad óptimas de los incrementos de capacidad son abordadas a partir de esos enfoques y, mediante modelos similares, se determina también la operación óptima (de menor costo) del sistema (Turvey y Anderson, 1977).

En la actualidad, se está explorando un nuevo enfoque que abarca la reducción al mínimo de los costos totales, incluidos tanto los costos del suministro como los de la escasez (a cargo de los consumidores debido a un suministro inestable). Es necesario investigar más en detalle los métodos para medir los costos de la escasez en los países en desarrollo.

En lo que respecta a la política de fijación de precios, los principios económicos fundamentales estipulan que los precios deben reflejar los costos marginales de la oferta para así asegurarse de que se satisfagan los criterios de eficacia económica; sin embargo, esos costos marginales deben ser ajustados sistemáticamente de manera que generen una estructura tarifaria práctica que permita alcanzar otros objetivos de la política nacional, como son satisfacer las necesidades básicas de electricidad de los consumidores pobres, asegurar la viabilidad financiera y la estabilidad de los precios, etcétera.

La escasez mundial de recursos energéticos y el incremento continuo de los costos del suministro de energía han subrayado la importancia de la conservación y de la eliminación del desperdicio de la energía tanto por parte de los productores como de los usuarios de ésta, y la reducción de las pérdidas en el sistema de energía eléctrica constituye uno de los principales medios para lograrlo en el sector eléctrico (Munasinghe y Scott, 1982).

En un sistema eléctrico, las pérdidas se presentan en las tres etapas del proceso que se sigue para poner el fluido a la disposición del consumidor, esto es, en la generación, transmisión y distribución de la electricidad. Las pérdidas en la generación pueden reducirse mejorando el rendimiento de las centrales y disminuyendo el uso de las estaciones; por ejemplo: mediante la aplicación de tecnologías nuevas, como las centrales termoeléctricas de ciclo

combinado, mediante el remplazo de calderas viejas y, en general, mediante el mejoramiento de las viejas centrales termoeléctricas, el uso de diseños de mayor rendimiento en las nuevas centrales hidroeléctricas, el remplazo de las turbinas más viejas, etcétera. Sin tomar en cuenta el tema de la generación (en los casos en que las normas aceptables en cuanto a las pérdidas varían según la combinación de centrales), los estudios recientes indican que, normalmente, las pérdidas promedio de energía en el sistema de suministro eléctrico, es decir, en la transmisión y la distribución, deben ser inferiores al 10% de la generación bruta, mientras que el grado de pérdidas económicamente óptimo puede ser tan bajo como el 5%. En muchos países en desarrollo, no obstante, las pérdidas correspondientes a la red de distribución se aproximan al 20%, aun después de haber considerado una magnitud importante de robos del fluido.

El principio básico implicado en lo anterior es la reducción al mínimo de los costos totales del suministro, definidos como la suma de los costos más el valor de las pérdidas del sistema. Es frecuente que inversiones modestas en la rehabilitación del sistema puedan dar como resultado una reducción de pérdidas más que proporcional; en otras palabras, desde el punto de vista de los costos, a menudo resulta mucho más eficaz reducir las pérdidas que construir más instalaciones de suministro eléctrico para sostenerlas.

Un área importante para el mejoramiento de las operaciones se refiere a la disponibilidad de las centrales, la cual, según se ha observado, es baja en muchos países en desarrollo (Khatib, 1983). Las principales causas de esa baja disponibilidad son:

- *Una deficiente configuración del sistema.* La falta de una red de distribución integrada puede hacer imposible la estabilización del sistema o, bien, la proporción de grandes centrales en un sistema puede ser demasiado alta en comparación con la capacidad de reserva conectada y lista para su utilización.
- *Una inversión desequilibrada.* Las cantidades de piezas de repuesto pueden ser inadecuadas o, bien, puede no haber una capacidad de reserva suficiente en los sistemas auxiliares, de control y de protección.
- *Las restricciones operativas.* El combustible puede no ser el adecuado para la central o, bien, puede haber una escasez de personal calificado.

- *La disminución de la capacidad de las centrales.* El manejo descuidado de las instalaciones puede llevar a un descenso en la capacidad de las centrales.

En todos estos casos, los diagnósticos correctivos específicos de cada una de las centrales y sistemas son de una gran utilidad potencial.

Los sistemas eléctricos de los países en desarrollo son considerablemente menores que los de los países industrializados y, por lo general, sus centrales eléctricas también lo son. Las centrales eléctricas pequeñas no constituyen uno de los principales productos de los fabricantes de grandes centrales, sino que las producen sobre pedido; sin embargo, existe una demanda continua de ellas y, si fuesen normalizadas a capacidades entre 25 y 25Mw, su producción en serie permitiría las economías de escala y las innovaciones progresivas. Ese tipo de producción sería más factible si se llevase a cabo mediante un programa conjunto de varios países en desarrollo.

En general, no obstante, los países en desarrollo no cuentan, como los industrializados, con una ventaja comparativa en investigación y desarrollo sobre los accesorios relacionados con equipo complejo para la generación, transmisión y distribución de electricidad. Con todo, es posible que los grandes países en desarrollo como Brasil, China e India cuenten con los recursos y mercados internos que puedan apoyar esfuerzos de ese tipo a una escala viable. Otras opciones son la cooperación entre los países en desarrollo y las empresas mixtas con empresas extranjeras.

LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOLARES

Desde hace mucho tiempo se conoce el potencial de energía solar de los países en desarrollo, que en su mayoría son tropicales o subtropicales. En ese sentido, los países áridos de Asia occidental y el norte de África, que reciben una intensa radiación solar durante una gran parte del año, son los que ofrecen un interés muy particular (Kettani, 1982); pero a pesar de que ese interés en la energía solar data de hace casi treinta años (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1956), los resultados prácticos son todavía modes-

tos. En cambio, las perspectivas son diferentes, por una parte, para los sistemas fotovoltaicos solares y, por la otra, para las aplicaciones termosolares, las cuales abordamos por separado en la próxima sección.

El hecho de que los sistemas fotovoltaicos solares no presenten economías de escala pronunciadas los hace atractivos para su uso autónomo en localidades alejadas de las redes de distribución; sin embargo, dado que los costos de capital por watt siguen siendo altos, esa tecnología es más adecuada para aplicaciones de bajo voltaje. Entre ellas, la radio, la televisión y las telecomunicaciones son las obvias, pero el alumbrado también es atractivo. Todas esas aplicaciones requieren que la electricidad generada por un sistema fotovoltaico solar sea almacenada en baterías, pero los costos del almacenamiento pueden evitarse si la electricidad así generada es canalizada directamente hacia la red de distribución del sistema eléctrico convencional. Los sistemas fotovoltaicos solares conectados a las redes de distribución de energía eléctrica convencionales serían adecuados en los países con una alta demanda máxima diurna (por ejemplo: en los casos en que el aire acondicionado y la refrigeración son importantes y en aquellos en que la demanda doméstica y comercial predomina en la curva de carga).

Tanto los sistemas fotovoltaicos solares autónomos como los conectados a las redes de distribución exigen la instalación de equipo de transformación de corriente, cuyo costo sería relativamente más alto en los sistemas más pequeños. En el caso de los sistemas autónomos, el equipo varía en función del tipo de aplicación; por ejemplo: las cargas de corriente alterna requieren un regulador de voltaje y un inversor automático de corriente continua; por su parte, los sistemas fotovoltaicos solares conectados a las redes de distribución requieren inversores más simples y baratos en combinación con filtros de armónicas para suprimir la inyección de ruido eléctrico en la red de distribución.

Los sistemas fotovoltaicos solares actuales

Los sistemas fotovoltaicos solares actuales, basados en el silicio monocristalino y policristalino, comprenden cuatro etapas de fabricación (Backus, 1984a, b; Luque, 1984):

- *La producción de silicio.* En esta etapa, los esfuerzos para disminuir los costos han tenido como consecuencia una reducción en la pureza del silicio, pero ello tiene el inconveniente de empobrecer el rendimiento de las celdas, por lo que las posibilidades de disminuir los costos son limitadas.
- *Fabricación de las láminas.* Los adelantos recientes, esto es, las láminas continuas de silicio monocristalino y las rodajas de silicio policristalino, reducen asimismo tanto los costos como el rendimiento.
- *La fabricación de las celdas.* En este caso, la tecnología no ha cambiado mucho; quizá se ha estancado como resultado de la automatización de las operaciones.
- *La fabricación de los paneles.* Actualmente se están haciendo esfuerzos para aumentar el rendimiento de las celdas mediante el uso de concentradores, lo cual limitaría las celdas fotovoltaicas al uso directo de la luz solar y exigiría la instalaciones de rastreadores; éstos, a su vez, introducirían economías de escala en la operación y provocarían que el tamaño económico mínimo de la planta de generación aumentara a 3 Mw.

Los costos de los módulos fotovoltaicos han experimentado un rápido descenso de US\$50/w en horas de consumo máximo en 1973 a US\$6 en 1984; no obstante, en los años recientes se ha desatado una guerra de precios entre las subsidiarias de las compañías petroleras y otros fabricantes y, cuando la guerra termine, bien podrían aumentar los precios de las celdas. Sea lo que fuere, no es muy probable que en la fabricación de celdas fotovoltaicas convencionales se produzcan las innovaciones que podrían provocar una reducción importante de los costos.

Los adelantos en perspectiva

Las celdas de película delgada no son competitivas en la actualidad, pero son en las que se pueden fincar mayores esperanzas de lograr innovaciones; además, su fabricación es más fácil. Por el momento, su rendimiento es bajo, al igual que su estabilidad a la intemperie. De los dos tipos de celdas de película delgada que se

fabrican, las semiconductoras compuestas y las de silicio amorfo, son estas últimas las que ofrecen el mayor interés.

Comparadas con las celdas cristalinas, las de silicio amorfo poseen una mejor absorción óptica y mejores propiedades fotoconductoras para el espectro solar; además, requieren menos silicio en su fabricación. En la actualidad son utilizadas principalmente en relojes y calculadoras; no obstante, es posible depositarlas en cualquier sustancia cristalina. En Japón han sido depositadas en películas de polímeros y en bases de acero inoxidable y de cerámica. La firma Sanyo intenta actualmente depositarlas en tejas para techo. Según informes conocidos, su rendimiento es de aproximadamente el 10% en aplicaciones comerciales (Hamakawa, 1985).

La facilidad de fabricación de las celdas de película delgada ha hecho que la investigación sobre ellas proliferen en los países en desarrollo. Cuando la tecnología de las celdas de película delgada alcance la etapa de comercialización, exigirá otro tipo de conocimientos; por lo pronto, no obstante, no presenta desventajas, lo cual hace que su investigación sea particularmente prometedora para los países en desarrollo, investigación que recibiría un gran impulso mediante la creación de redes de comunicación entre los investigadores de esos países.

LA TERMOELECTRICIDAD SOLAR

La radiación solar es muy difusa; Tabor (1981) hizo notar que:

[...] si se considera que la radiación solar mundial media es de aproximadamente 200 w/m^2 (continuos) o 17 MJ/m^2 / día, se requerirían unos 260 m^2 de colectores para sustituir un barril de petróleo por día, siempre y cuando el rendimiento de un colector fuese del 100%; en la práctica, los rendimientos son mucho más bajos, por lo que se requerirían superficies considerablemente mayores.

En realidad, la central eléctrica receptora Solar One de 10 Mw constó de 1 818 helióstatos de 39 m^2 cada uno, alcanzó un rendimiento promedio de 13%, produjo 71 Mw/día en un lugar donde la insolación era de 950 a 990 w/m^2 y en días con una media de 10

a 11 horas de insolación y tuvo un costo de US\$13/w^e (Weingart, 1984); por supuesto, en lugares con una menor insolación o menos horas de luz solar, los costos de capital serían aún mayores. No cabe duda de que la tecnología mejorará y de que los costos disminuirán a medida que se construyan nuevos prototipos, pero en la actualidad se trata de una tecnología submarginal y sólo se puede especular sobre su futuro, por lo que no vemos ninguna justificación para que los países en desarrollo inviertan en investigaciones al respecto por el momento.

LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA

Los generadores de energía eléctrica eólica pueden ser autónomos o estar conectados a las redes de distribución. En los países en desarrollo, los generadores autónomos tendrían un mercado potencial en las regiones a las que no llegan las redes de distribución. Dado que requieren el uso de baterías para almacenar la electricidad generada, la determinación del tamaño adecuado de las baterías para obtener confiabilidad en el funcionamiento a un costo bajo sería un aspecto importante para decidir su adopción y requeriría que se hicieran cálculos sobre cada lugar de instalación en particular.

Los generadores conectados a las redes de distribución no necesitan baterías y, puesto que su producción no se ve limitada por la demanda local, también pueden explotar economías de escala, por lo que sus costos de capital son más bajos (Piepers, 1985).

En su gran mayoría, los avances logrados en Estados Unidos respecto a los generadores eólicos se han dado en los dispositivos para conectar los generadores a las redes de distribución; las razones para ello, aparte de la gran fuerza de los vientos en algunas regiones de ese país, son tres: 1) los incentivos fiscales o la ayuda gubernamental directa para alentar las compras de esos dispositivos; 2) las instrucciones del gobierno a las empresas de servicios públicos en el sentido de que utilicen la fijación de costos eludidos para comprar la electricidad así generada, y 3) un generador eólico con conexión a la red de distribución constituye un producto de más fácil comercialización y más redituable para los

fabricantes de Estados Unidos porque ya casi todos los consumidores potenciales de electricidad están conectados a las redes de distribución (Merriam, 1984).

La gran mayoría de los generadores eólicos conectados a las redes de distribución consisten en máquinas de eje horizontal y su tecnología está bien probada. Aunque ya han sido desarrolladas las máquinas de eje vertical, como la Savonius y Darrieus, todavía no se ha demostrado que sean tan confiables y eficaces como los dispositivos de eje horizontal (Kristoferson *et al.*, 1984); uno de los problemas importantes que presentan es que no es posible ajustarlas a la velocidad máxima admisible del viento, por lo que requieren otros métodos de control de la velocidad.

El mayor problema de operación de los generadores eólicos conectados a las redes de distribución consiste en el control de la potencia para mantener la estabilidad de los sistemas. El control del límite de potencia en los generadores eólicos de eje horizontal se logra mediante la regulación del paso (inclinación de las aspas de la hélice), mientras que en los de eje vertical, se utiliza algún tipo de deflector o freno aerodinámico (Quraeshi *et al.*, 1984). La elección del generador es una consecuencia directa de la necesidad de controlar el voltaje y la potencia reactiva. En la actualidad, la tendencia en lo que respecta a los generadores comerciales parece ser su fabricación con: a) paso fijo de las aspas con control de velocidad excesiva y un generador de inducción, y b) paso variable con un generador sincrónico (Sexon *et al.*, 1981).

Aunque en algunos países industrializados ha habido intentos por utilizar los generadores eólicos en batería con generadores diesel, cuando el generador diesel tiene que cambiar frecuentemente su producción en función de la fluctuación de energía eólica disponible, pueden presentarse problemas: además de disminuir el potencial de ahorro de combustible del generador eólico, ello puede provocar la necesidad de hacer afinaciones más frecuentes del generador diesel; en ambos casos, una de las consecuencias sería el incremento de los costos (Kristoferson *et al.*, 1984). Una manera de evitar ese problema consistiría en intercalar baterías de almacenamiento, lo cual haría disminuir la carga de trabajo del motor diesel, pero aumentaría los costos.

Para que un país en desarrollo pudiera adoptar un programa de generación de energía eólica, sería necesario que llevara a cabo una investigación detallada sobre el lugar donde habría de desarrollarlo

con el propósito de determinar si la fuerza de los vientos es adecuada para la generación: la velocidad del viento no debe ser ni demasiado débil ni tan fuerte que exija la instalación de estructuras excesivamente robustas y costosas. Para empezar, una investigación de ese tipo delimitaría verosímilmente el número de lugares potenciales para la instalación de generadores de energía eólica y determinaría la extensión máxima del mercado para éstos, es decir, dónde podrían instalarse de manera que resultasen viables desde el punto de vista económico. Llegado a este punto, sería necesario que uniformara algún diseño para su producción; en este caso, sería recomendable elegir el mayor tamaño que fuese posible producir económicamente, dado que la producción de energía eléctrica de un aeromotor varía en proporción con el cuadrado de la envergadura de su hélice. Los mayores problemas de investigación técnica que enfrentaría serían muy probablemente los relacionados con la interconexión de los sistemas de generación y transmisión.

XI. LAS FUENTES DE LA ENERGÍA MOTRIZ

Una gran parte de la demanda de energía se da en la forma de fuerza motriz, pero sólo el viento, el agua corriente y las fuentes animadas generan energía directamente en esa forma. La fuerza del viento fue de capital importancia para la navegación y de uso muy extendido en la molienda de granos, pero en la actualidad ya perdió esa importancia. La fuerza del agua solía proporcionar energía para la industria y ahora sólo se usa para generar electricidad. Por su parte, la energía animada continúa siendo importante en los países en desarrollo, aunque en diversos grados. El mejoramiento de las condiciones y la calidad del trabajo es una parte fundamental del desarrollo, ya que implica la reducción del trabajo físico fatigoso; por ello, el estudio de la energía humana constituye un área de gran importancia para la investigación sobre la energía.

A pesar de que las bombas de viento son cada vez más ligeras y fáciles de armar y operar, su diseño continúa siendo empírico, si bien éste podría ser mejorado mediante una observación más detallada del funcionamiento de esos dispositivos. En este caso, la adaptación de rotores a las bombas constituye otra área de investigación.

La energía humana ha sido medida conforme a tres enfoques: desde el punto de vista de la cantidad de trabajo realizado por el hombre, desde el punto de vista del tiempo de trabajo y desde el punto de vista de las calorías consumidas. Mediante los dos primeros enfoques es posible obtener aproximaciones, mientras que las mediciones reales desde el punto de vista de las calorías consumidas todavía no han podido servir como base para elaborar una teoría sólida porque las variaciones en el gasto de calorías implicado por el trabajo no han sido estudiadas sistemáticamente. En este campo, una medición más precisa debería ir de la mano con las innovaciones teóricas.

A pesar de que la fuerza motriz representa una alta proporción de la energía que se consume en la industria, la agricultura y el

transporte, sólo tres fuentes primarias generan energía directamente en esa forma: el viento, el agua corriente y las fuentes animadas. Hasta la aparición del barco de vapor, la fuerza del viento fue la principal fuente de energía para la navegación; además, en algunas regiones de Europa y China se utilizó extensamente para la molienda de los granos; en la actualidad, no obstante, su importancia es reducida y no es probable que vuelva a llegar a ser una fuente de energía de gran significación. La fuerza del agua, por su parte, fue importante como fuente de energía para la industria en muchos lugares antes de la aparición de las fuentes de energía primarias, si bien en el presente sólo es utilizada para producir electricidad.

Antes de la revolución industrial, la energía animada fue la principal fuente de energía motriz; a partir de entonces, las fuentes inanimadas la han sustituido y complementado en los países industrializados. La cantidad de energía animada que ahora se utiliza en esos países es pequeña en comparación con la que se obtiene de las fuentes inanimadas, y la mayor parte del trabajo humano es destinado a tareas que no exigen grandes esfuerzos físicos.

De manera similar, la oferta de energía proveniente de fuentes inanimadas se encuentra en crecimiento en los países en desarrollo y en muchos de ellos supera la proveniente de las fuentes animadas; sin embargo, la proporción de energía inanimada varía considerablemente de un sector a otro y la energía animada sigue siendo importante en la agricultura y en el transporte en pequeña escala. Desde luego, una gran proporción de la población trabajadora se gana la vida mediante el trabajo físico, por ende, dado que el desarrollo consiste tanto en un cambio en la calidad del trabajo como en un incremento del patrón de vida, la energía humana y su aplicación constituyen una de las áreas más importantes de la investigación sobre la energía.

LA ENERGÍA EÓLICA

Los motores de viento, o aeromotores, no tienen una aplicación directa, sino que son utilizados siempre con un convertidor de energía, ya sea un generador o una bomba. Para reducir los costos

al mínimo, es necesario adaptar la fuerza del viento, el motor y el convertidor mediante un servomecanismo, lo cual representa una tarea de cierta complejidad matemática y específica de cada lugar; asimismo, es necesario que los aeromotores y los convertidores sean producidos en cierta escala mínima. A este respecto, por lo tanto, la planeación integrada de los sistemas de aeromotores puede representar ventajas considerables.

Si bien es cierto que los vientos más fuertes significan una mayor cantidad de energía aprovechable, también exigen la construcción de estructuras más robustas, de ahí que los costos de capital aumenten en función de la velocidad del viento. Si ésta fuese muy alta, los aeromotores tendrían que ser demasiado costosos como para ser económicos; y, aun cuando fuesen viables, sería necesario impedir que sufriesen daños por las altas velocidades. Esto podría lograrse cambiando, ya sea la orientación del rotor respecto al viento, ya el paso de las aspas; no obstante, si se hiciese manualmente, ello implicaría una supervisión humana constante y los consecuentes costos de mano de obra y, si se hiciese mediante servomecanismos, aumentaría los costos de capital. Por otra parte, la exposición de las partes móviles a la intemperie también implica un mantenimiento frecuente. En resumen, los sistemas de aeromotores no sólo pueden tener altos costos de capital sino que sus costos de operación no son nada despreciables tampoco.

Ya hemos abordado los generadores de viento en el capítulo x; en éste, nos limitaremos a las bombas de aeromotor o aerobombas. La diferencia entre éstas y los generadores reside en los parámetros de su diseño. En el caso de las aerobombas, es necesario hacer que el pistón se eleve antes de que puedan arrancar, por lo que las utilizadas para la extracción de agua requieren un par de arranque más alto, el cual varía inversamente a la relación de velocidad periférica (en la punta de las paletas), mientras que la producción de energía de los generadores de viento varía directamente con la relación de velocidad periférica. De ahí que los diseños con una relación de velocidad periférica baja y una alta relación de superficie de las paletas a zona barrida por el viento (solidez) sean utilizados para los aeromotores; por ejemplo: los diseños de eje de transmisión horizontal múltiple o los rotores Savonius.

Las aerobombas se clasifican en dos categorías distintas según su uso final: suministro de agua y riego. Para el suministro de agua, es necesario que las aerobombas sean de funcionamiento seguro, que operen sin supervisión la mayor parte del tiempo y que requieran un mínimo de mantenimiento, lo cual las hace por lo general costosas en relación con su producción de fuerza motriz. Esas aerobombas son fabricadas industrialmente con componentes de acero e incluyen dispositivos de protección automáticos para impedir la aceleración excesiva durante las tormentas (McNelis y Fraenkel, 1984). Las aerobombas tradicionales de paletas múltiples entran en esta categoría de uso final; comúnmente son pesadas, requieren una gran cantidad de material y su armado es complicado, pero son robustas y confiables. Las bombas modernas son en general más ligeras porque en su construcción se utilizan tubos en lugar de hierro laminado; así, sus subconjuntos modulares dan como resultado una simplicidad estructural que las hace de manufactura más fácil. Si se introducen dispositivos de impulsión eléctrica, también pueden ser utilizadas para velocidades de viento más altas (Intermediate Technology Power, Ltd., 1983).

Las aerobombas para riego se utilizan únicamente en la temporada adecuada y es más importante tener un dispositivo de bajo costo que uno que no necesita atención, por lo que, en general, los diseños de ese tipo de bombas son primitivos o instintivos, a menudo improvisados o contruidos por los campesinos con materiales locales para tener una mecanización de bajo costo. La mayoría de esos dispositivos "autocontruidos" se hace con madera o con acero, en el caso de sus componentes estructurales básicos, y aspas de tela o madera. En promedio, su rendimiento equivale a la mitad del rendimiento de las aerobombas para suministro de agua y pueden necesitar lubricación y ajuste relativamente frecuentes. Ya se ha hecho un gran número de intentos para mejorarlas mediante la aplicación de los principios científicos a los materiales y diseños tradicionales (*cf.* Stanley, 1977; Govinda Raju y Narashima, 1980).

Si bien los diseños antiguos son generalmente más confiables, también son de armado complejo, pesados y, por esto último, de flete costoso. Por otra parte, no obstante, los nuevos diseños no tienen antecedentes probados de funcionamiento en uso real ni en función de su rendimiento ni de su tiempo de vida útil. En general,

los intentos por transferir la tecnología de las aerobombas de bajo costo para riego de una región a otra han fracasado; las principales razones residen probablemente, por una parte, en la incompatibilidad entre la fuerza del viento, los requerimientos de riego y la capacidad de las aerobombas y, por la otra, en el hecho de que no se considere el bajo costo de la aerobomba como una función directa del costo de las materias primas y la mano de obra, todo lo cual podría provocar variaciones interregionales en el costo de una aerobomba.

Desde el punto de vista técnico, existen dos áreas de investigación que podrían resultar provechosas a largo plazo. En el pasado, debido a la carencia de conocimientos científicos y de equipo de medición, el diseño de las aerobombas era mayormente empírico, por lo que, en general, no alcanzaban un rendimiento óptimo; así, a través de modificaciones comparativamente menores, el rendimiento de algunos dispositivos podría ser mejorado de manera significativa.

La segunda área de investigación en este campo consiste en la adaptación de rotores a las aerobombas en los casos en que las que se utilizan sean oscilantes (de movimiento alternativo). Existen dos tipos de incompatibilidad entre los rotores y las aerobombas; la primera es el resultado de que la fuerza generada por un rotor es proporcional al cubo de la velocidad del viento, mientras que la fuerza que la aerobomba requiere sólo varía linealmente con su velocidad. La segunda incompatibilidad surge del hecho de que las aerobombas de pistón requieren un par rotor cíclico en el que el par de arranque del primer recorrido del pistón es tres veces mayor que el par promedio requerido. La primera incompatibilidad exige una investigación sobre las aerobombas cuya velocidad se adapte mejor a la fuerza disponible; la segunda, sobre los métodos para reducir el par de arranque.

A pesar de que las aerobombas eléctricas poseen un rendimiento potencialmente mayor que el de los aerosistemas mecánicos, sus aplicaciones han sido muy limitadas hasta ahora; sin embargo, ofrecen las siguientes ventajas: a) pueden funcionar a mayores alturas de elevación; b) es posible instalarlas lejos de los mantos acuíferos en lugares con mejores vientos, y c) también es posible utilizarlas para cargar baterías.

LA ENERGÍA HUMANA

La energía humana es quizá el componente más importante de la energía en los países en desarrollo; si se excluyera de los estudios sobre la energía, la importancia de éstos disminuiría grandemente sin lugar a dudas; sin embargo, se trata también de un área en la que la investigación ha sido de menor utilidad desde el punto de vista de la comprensión o de la formulación de políticas. La dificultad en este campo reside en la medición de ese tipo de energía.

En economía, el concepto que más se acerca al de energía humana es el del número de trabajadores. El número potencial de trabajadores se denomina mano de obra; el de los que realmente trabajan, empleo, y el de los que no tienen un empleo, desempleo. En los años 1930, época en la que una gran proporción de trabajadores carecía de empleo en los países industrializados, Keynes (1936) ofreció una explicación para el desempleo. En los países en desarrollo, el problema surge a menudo, no del desempleo total de la gente que desea trabajar, sino del desempleo ocasional o parcial. Robinson (1947) denominó desempleo encubierto a ese fenómeno y otros autores observaron un gran número de variaciones conceptuales del fenómeno y ofrecieron explicaciones para el mismo (Turham y Jaeger, 1970; Todaro, 1981); sin embargo, las estimaciones empíricas en función del número de trabajadores siguieron siendo demasiado aproximadas desde el punto de vista de la intensidad del trabajo como para poder ser utilizadas en la investigación sobre la energía.

La definición del concepto mejoró cuando se introdujeron las mediciones de la utilización del tiempo, las cuales permiten un estudio más detallado del fenómeno del trabajo. Durante ciertos estudios antropológicos (Carlstein *et al.*, 1978a, b y c) se recolectaron muchas pruebas sobre la utilización del tiempo, mismas que recientemente fueron aplicadas por Carlstein (1983) para afinar el concepto de capacidad de potencia, el cual, a su vez, fue utilizado como sustituto de las cargas de trabajo en las familias (Tinker, 1984). La utilización del tiempo también se convirtió en tema de interés para los sociólogos (*cf.* Szalai *et al.*, 1972) y los economistas (*cf.* Winston, 1982); no obstante, en los estudios que se han hecho sobre ella se implica que la energía gastada por

unidad de tiempo es constante, lo cual no es el caso, manifiestamente.

Los fisiólogos saben desde hace mucho tiempo de las diferencias existentes en la intensidad de uso de energía de las actividades físicas y uno de los esfuerzos más sistemáticos para cuantificarlas fue hecho por Passmore y Durnin (1955); a partir de entonces, se han hecho numerosas estimaciones del gasto de energía por unidad de tiempo en una gran variedad de circunstancias, estimaciones que han sido utilizadas para calcular balances energéticos aplicables a los seres humanos (*e. g.*, Thomas, 1973).

La idea de que el costo del trabajo puede variar en función del alimento fue propuesta por Leibenstein (1957), quien supuso que el rendimiento de la conversión de alimento en trabajo físico es menor cuando el trabajador está severamente desnutrido, aumenta a medida que mejora el patrón de nutrición, después disminuye y, finalmente, alcanza cierto punto en el que un aumento en el consumo de alimentos ya no incrementa la producción de trabajo. Esta relación, conocida como mecanismo de rendimiento del trabajo, fue utilizada extensamente en la teoría económica (Bliss y Stern, 1978); sin embargo, careció de base fisiológica hasta que Sukhatme y Margen (1982) afirmaron que el rendimiento de la energía humana en las actividades físicas presentaba variaciones sistemáticas. Más recientemente, Borrini y Margen (1984), en un informe escrito para el Grupo, presentaron una gran cantidad de pruebas de las variaciones en el rendimiento de la energía humana y pusieron en tela de juicio la validez de los modelos mecánicos de balances energéticos aplicados al ser humano; sus puntos de vista, no obstante, fueron impugnados enérgicamente por otros fisiólogos (*cf.* Rand y Scrimshaw, 1984).

Hemos observado que todos los estudios sobre la fisiología de la energía humana se caracterizan por una abundante especulación sin mediciones suficientes para poner a prueba las teorías, por un trabajo empírico voluminoso sin la comprobación de las teorías y por generalizaciones basadas en promedios sin tomar en cuenta las variaciones en torno a las medias. En esas circunstancias, es probable que la medición de las reacciones del metabolismo humano a las variaciones en el trabajo, la nutrición y el medio ambiente llevaran al establecimiento de hipótesis más precisas. Sea lo que fuere, parece evidente que invertir en más estu-

dios empíricos sobre el tema sin una mayor claridad en el plano teórico sólo podría significar un desperdicio.

Mientras tanto, la función de la energía humana en los sistemas de producción sigue siendo un aspecto central de los problemas del desarrollo. Nunca subrayaremos lo suficiente la importancia de la investigación en esta área, pero creemos que primero es necesario renovar las teorías para lograr una comprensión más cabal de cómo se utiliza o subutiliza la energía humana en las actividades socioeconómicas.

XII. LOS EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Si bien es cierto que los efectos que la producción y el uso de la energía ejercen sobre el medio ambiente son muy penetrantes y extensos, ese tipo de efectos no es exclusivo de la energía y su estudio no se relaciona estrechamente con la investigación sobre ésta; por ello, este informe únicamente aborda tres cuestiones estrechamente relacionadas con la energía: la deforestación y la desertificación, el efecto de invernadero y la lluvia ácida.

El vínculo lógico entre el consumo de leña, la deforestación y la desertificación no es claro y en gran parte se ha interpretado incorrectamente. El uso de la leña no provoca necesaria o frecuentemente la deforestación. Ésta puede despertar el interés desde los puntos de vista científico, estético o económico, pero el mejor remedio según cada uno de ellos no es necesariamente la reforestación —la cual requiere ser estudiada en cada circunstancia específica—. La desertificación es producto de la desaparición de la capa vegetal, pero ésta raramente consiste en bosques en las regiones áridas propensas a convertirse en desiertos. En este caso también existe cierto número de soluciones posibles, de las que la repoblación forestal no es, de ninguna manera, la mejor. Este campo exige una mejor investigación.

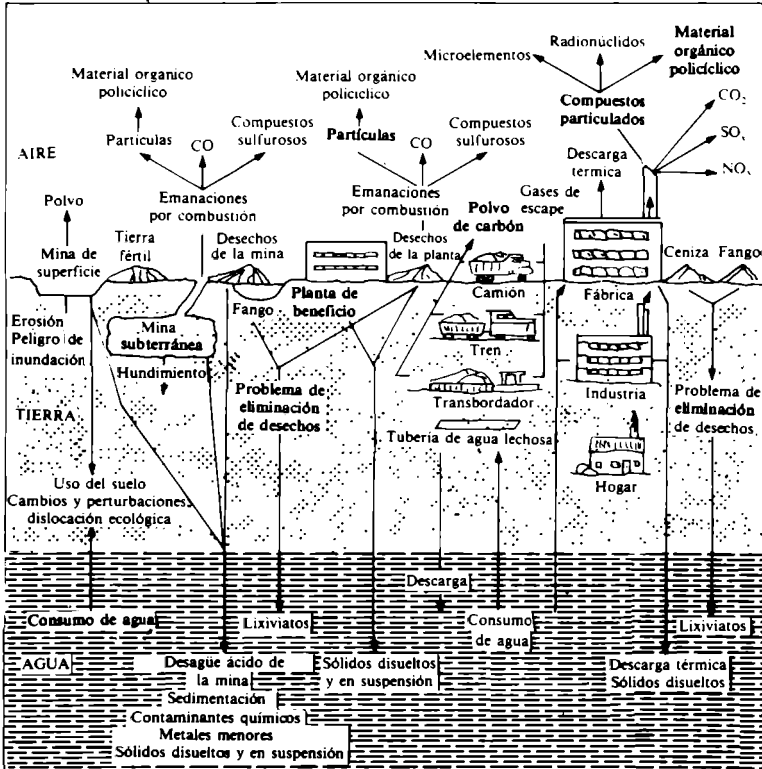
Las pruebas de que está ocurriendo un incremento progresivo en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre son irrefutables y la relación de ese incremento con la quema de combustibles fósiles es bien evidente, aunque también existen otros factores que son importantes. Las proyecciones que han sido hechas valiéndose de esa relación sugieren que la concentración actual de dióxido de carbono se habrá duplicado a mediados del siglo XXI; sin embargo, existe una gran incertidumbre acerca de cual será la medida en que esa concentración de dióxido de carbono elevará la temperatura de la tierra y respecto a cuáles serían los efectos del calentamiento. El mecanismo de los cambios climáticos es muy poco conocido, por lo que comprenderlo mejor es de capital importancia tanto para los países en desarrollo como para los industrializados.

Casi toda la lluvia es ligeramente ácida y se cree que ello se debe a los óxidos de nitrógeno. Éstos se forman debido a la combustión y a la desintegración de los fertilizantes naturales, pero la mayoría de las emisiones de óxidos de nitrógeno en el mundo provienen de la putrefacción natural de las materias orgánicas (biomasa). La lluvia puede ser acidificada por el anhídrido sulfuroso y también por el ácido sulfhídrico, los cuales pueden ser emitidos por el quemado de combustibles sulfurosos y por las erupciones volcánicas. En el norte de América y en Europa occidental, las precipitaciones se han vuelto tan ácidas en los últimos años que han destruido parte de la flora y de la fauna, y ello ha sido relacionado con el quemado de combustibles sulfurosos. No obstante, la química de la lluvia ácida presenta dos zonas oscuras: el ciclo óxidos de nitrógeno —compuestos orgánicos volátiles y la función de los radicales hidroxilo e hidroperoxilo, cuya comprensión se relacionaría estrechamente con la mejor manera de abordar el problema. Asimismo, para disminuir la acidez de la lluvia, también sería necesario investigar sobre la preparación del carbón mineral, la geometría de los hornos, el rendimiento de la combustión y el tratamiento de los gases de la combustión, investigaciones que serían pertinentes para los países en desarrollo que consumen combustibles fósiles y biomasa en gran escala.

La mayoría de las principales actividades de producción y consumo ejercen efectos sobre el medio ambiente, y los efectos de algunas de ellas son penetrantes y extensos; por ejemplo: la minería y la utilización del carbón pueden tener efectos generalizados bajo tierra, en la superficie y en el aire (figura 1). Un gran número de los efectos sobre el medio ambiente son perniciosos y causa de preocupación, por lo que cuando se hacen planes de inversión en la energía, deberían ser abordados claramente y tomados en cuenta.

Durante la elaboración de este informe, el grupo se enfrentó al problema de la definición de los límites; problema particularmente agudo en lo que concierne a las cuestiones ambientales, porque un gran número de los principales efectos sobre el medio ambiente se relaciona, no con las actividades en torno a la energía en sí, sino con los tipos de explotación y procesamiento de los recursos; es por ello que, en la formulación de políticas sobre cuestiones ambientales, también sería un error relacionarlas únicamente con la energía. Los efectos sobre el medio ambiente

FIGURA 1. Perturbaciones al medio ambiente provocadas por actividades relacionadas con el carbón. (Fuente: United States of America 1979.)



tienen su origen en toda una gama de fenómenos relacionados con el proceso del crecimiento, tales como el incremento de la población, el aumento del ingreso y la extensión de la agricultura, la industria, la minería y el transporte; fenómenos a los que deben relacionarse las políticas sobre el medio ambiente. La investigación sobre el medio ambiente tampoco se relaciona estrechamente con la investigación sobre la energía, ya que en ambos campos existe una gran distancia entre la gente, las técnicas y los problemas, por lo que hacer una buena investigación sobre el medio ambiente habría exigido una gama diferente de expertos. Ésas son

las razones por las que el grupo decidió restringirse a la investigación sobre la energía en su sentido estricto.

Con todo, existen tres cuestiones ambientales que se relacionan estrechamente con la energía y a las que en opinión del Grupo, los países en desarrollo deberían prestar una gran atención: la deforestación y la desertificación, el efecto de invernadero y la lluvia ácida; cuestiones que serán abordadas a continuación.

LA DEFORESTACIÓN Y LA DESERTIFICACIÓN

A pesar de que nunca han existido estudios que aborden detalladamente el vínculo lógico existente entre la combustión doméstica de leña, por una parte, y la deforestación y desertificación, por la otra, ese vínculo se ha afianzado tanto en la imaginación popular que creemos necesario estudiarlo seriamente.

El consumo de leña

Las estimaciones disponibles sobre el consumo de leña simplemente no sirven como base para juzgar la naturaleza y gravedad del problema. Smil (1983:81-83) consigna estimaciones que van de 1 300 a (la suya) 3 200 millones de metros cúbicos por año y factores de conversión que van de 0.15 a 0.8 ton/m³. Las dudas se extienden en tres direcciones: primera, el consumo de combustibles per cápita varía enormemente; segunda, la composición de ese consumo varía no sólo de un lugar a otro y de una familia a otra, sino en el seno de una misma familia, según la estación del año, en respuesta a la oferta y a la necesidad de combustibles; tercera, la mayor parte de lo que sabemos respecto a ese consumo proviene de estudios sobre el consumo de energía, la mayoría de los cuales no ofrecen información sobre el origen de los combustibles —esto es, si son producto de la madera o de cultivos o, en el primer caso, si fueron obtenidos del cultivo de bosques con ese propósito o de la destrucción de árboles o, bien, si constituyen el producto principal o secundario de otra actividad, como la producción de madera para la construcción. Es muy importante distinguir entre los combustibles que provienen de la acumulación natural anual de biomasa y otros combustibles producto de la biomasa.

La deforestación

Éste es un problema estrictamente regional y lo encontramos en dos tipos de situaciones: cuando se lleva a cabo el desmonte de la tierra para dedicarla a la agricultura, como en Brasil e Indonesia (ambos exportadores de madera a los países industrializados), y cuando existe una fuerte demanda en centros urbanos cercanos para utilizar la madera con dos propósitos principales, la construcción y la combustión, como en Nepal y en ciertas regiones de China y África. El hecho de que una fuerte demanda urbana e industrial provoque la deforestación no es desconocido en algunos países industrializados; ocurrió en las cercanías del Mediterráneo en la época del Imperio Romano, en el Reino Unido y Europa ya en el siglo XVIII, en Estados Unidos en el XIX y está ocurriendo en la actualidad incluso en Canadá y en la Unión Soviética. Se trata de un problema que debería provocar preocupación desde un gran número de puntos de vista: el científico (*e. g.*, la destrucción de las especies de la selva tropical), el estético (*v. g.*, la fealdad de los paisajes deforestados) o el económico (por ejemplo: la erosión puede ser la causa de inundaciones o reducir la productividad de la tierra; la destrucción de los bosques puede privar de su medio de vida a las poblaciones que dependen de ellos; la deforestación puede provocar la desertificación, etcétera). No obstante, la deforestación debería discutirse en contextos regionales, puesto que las razones para preocuparse y las soluciones serán diferentes en cada región. Si así se hiciese, rara vez se llegaría a la conclusión de que el remedio para la deforestación es la reforestación, ya que, como en el caso de la desertificación, es posible encontrar soluciones más baratas y efectivas si se enfrenta de manera específica cada uno de los problemas provocados por la deforestación.

La desertificación

Cuando se ha presentado en la historia reciente, la desertificación no consiste en la creación de nuevos desiertos en lo que fueron áreas ricas en vegetación, sino la extensión de las áreas que han sido desiertos durante algunos miles de años. La relación actual

entre el clima y los desiertos es evidente y la relación que ha habido durante los últimos 4 000 a 6 000 años entre el cambio climático y la desertificación fue bien establecida por Kellogg y Schneider (1977); no obstante, mientras que la desertificación es un fenómeno local y progresivo, el cambio climático ha sido mundial, es decir, el clima de toda la tierra es más seco y más frío que hace 4 000 a 6 000 años, y las pruebas de largo plazo con que se cuenta no apoyan la tesis de que la desertificación haya provocado el cambio climático.

Le Houérou (1977:20) sugiere que son dos los mecanismos mediante los cuales la remoción de la capa vegetal lleva, a través de la reducción de la precipitación pluvial, a la desertificación:

Cuando la vegetación de una zona árida no ha sido degradada por la erosión, el suelo está siempre cubierto por una capa de al menos 20 a 40% de especies perennes como arbustos, plantas aparradas y hierbas, lo cual es suficiente para proteger la superficie del suelo de la erosión o, más precisamente, en esas condiciones, la erosión del viento es compensada por la arena que se deposita tras los obstáculos que constituyen las plantas perennes.

Cuando la distancia entre dos especies perennes es igual a cinco veces su altura o mayor, la deflación ya no es compensada por la arena que se deposita, por lo que la erosión aumenta hasta el grado en que toda la superficie de la tierra queda cubierta de guijarros y piedras después de que el viento ha arrastrado todas las materias móviles. La arena acarreada por el viento se acumula en todo tipo de dunas y mantos de arena, y ese acarreo ocurre en distancias más bien cortas, rara vez más allá de algunos cientos de metros y nunca más de unos cuantos kilómetros. El resultado final es que las capas de suelo que solían estar superpuestas en forma de depósitos arenosos o margosos sobre afloramientos o capas calizas quedan yuxtapuestas por la acción del viento. Así, la vida vegetal permanente se vuelve imposible por dos razones: porque la falta de reservas de agua en la delgada capa de suelo del área desértica impide que los brotes de las especies perennes sobrevivan al primer periodo prolongado de sequía y porque la arena en movimiento por la acción del viento impide que los brotes se afiancen, ya que, tan pronto emergen, los desarraiga y arrastra consigo.

En este caso, se hace referencia a la vegetación; pero la vegetación de las regiones áridas está constituida por arbustos y hierbas perennes, no por árboles.

El segundo factor que ha sido sugerido como causa de la desertificación es el pastoreo excesivo, ya que éste, según parece, incrementa el albedo y reduce los detritos vegetales. Por una parte, un aumento del albedo reduce el calentamiento de la tierra y la formación de las corrientes de convección que provocan la lluvia (Charney *et al.*, 1975); por otra parte, la presencia de núcleos de condensación en las nubes facilita la precipitación pluvial y, entre las fuentes de formación de esos núcleos, se encuentran la microflora y las bacterias producidas por la descomposición del humus y cuya producción varía con el tipo de vegetación (Schnell y Vali, 1976; Vali *et al.*, 1976), por ende, bien puede ser que la disminución de la capa vegetal tienda a reducir la precipitación pluvial debido a la menor producción de núcleos de condensación (Kellogg y Schneider, 1977).

Entre las medidas para remediar la desertificación, los estudiosos del tema otorgan poca importancia a la reforestación, ya que, según ellos, puede no ejercer un efecto trascendente sobre el clima regional y, además, genera necesidades subsecuentes de administración y organización (Le Houérou, 1977). Para el Sáhara ha sido propuesto un número sorprendentemente grande de planes de regeneración. Entre ellos, uno ha sido demostrado: Egipto y Pakistán son pruebas permanentes de la eficacia del riego en zonas desérticas; otro, el bombardeo de las nubes con partículas sólidas para provocar la precipitación, ha sido probado a menudo, pero nunca ha sido evaluado. Otros planes de regeneración, más especulativos y sensacionales, han incluido la aplicación de capas de asfalto sobre vastas áreas para reducir el albedo; el bombardeo de las nubes con polvo de carbono para absorber la radiación solar, calentar el aire circundante, y aumentar la evaporación de los océanos; y la inundación del Sáhara mediante un canal desde el Mediterráneo. En el plano social, ha sido sugerido un gran número de opciones, que incluyen el control del pastoreo excesivo (Kellogg y Schneider, 1977), la concentración del desarrollo en unas cuantas zonas mejor dotadas, la urbanización y la industrialización (Ware, 1977).

Los problemas de las zonas desérticas ocuparon un lugar destacado entre la opinión mundial debido a la hambruna ocurrida en el Sahel. Nosotros estamos seguros de que las soluciones no son obvias; pero también estamos seguros de que reducir el problema a las relaciones entre dos variables, como son la deforesta-

ción y la desertificación, constituye una caracterización errónea de un conjunto de relaciones complejas y de que, si ello se utiliza como base para la formulación de políticas, puede llevar a un gran desperdicio de recursos. Por lo tanto, consideramos que lo que se requiere es llevar a cabo un estudio de esas relaciones que sea más meticuloso, más amplio y que incluya múltiples variables.

EL EFECTO DE INVERNADERO

El dióxido de carbono se encuentra principalmente en las capas más bajas de la atmósfera y constituye un eficaz elemento de absorción de la energía radiante infrarroja reflejada por la tierra, de ahí que se piense que un aumento en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera provoca una mayor retención de la energía radiante —que, de otra manera, escaparía a la estratósfera— y, por ende, que se lo asocie con el incremento de la temperatura en las distintas regiones del mundo.

Después de que la concentración de dióxido de carbono atmosférico empezó a ser medida en el Laboratorio Mauna Loa de Hawai en 1958, se observó que entre ese año y 1981, hubo un claro aumento de aproximadamente 315 ppmv (partes por millón por volumen) a 339 ppmv (Bergman, 1983); las variaciones anuales por estación son fuertes, de 5 a 7 ppmv, pero la tendencia al aumento es evidente. A pesar de que no se cuenta con mediciones directas anteriores a 1958, la concentración de dióxido de carbono puede ser medida indirectamente basándose en la composición de la vegetación, así como en los isótopos de oxígeno presentes en los estratos geológicos, y las mediciones indirectas sugieren que dicha concentración era de entre 265 y 290 ppmv en 1860 (Rotty, 1983). Como vemos, existen pruebas de un aumento progresivo de la concentración de dióxido de carbono durante el último siglo y, en especial, durante los últimos decenios.

El dióxido de carbono es liberado a la atmósfera cuando se quema cualquier combustible carbónico: carbón mineral, petróleo, gas, combustibles sintéticos o combustibles producto de la biomasa. Por cada 100 quads ($105 \text{ ergJ} [= 1.5 \times 10^{20} \text{ J}]$) de energía liberada, el gas natural produce 1.45 Gton de carbono en el dióxido de carbono liberado; el petróleo, 2 Gton; el carbón

mineral 2.5 Gton; y los combustibles sintéticos, quizá 50% más por unidad de energía útil en el producto final; es decir, desde el punto de vista del peso, el dióxido de carbono producido equivale a 3.67 veces el carbono liberado. A partir de estas y otras cifras, se estima que las emisiones de dióxido de carbono de los combustibles fósiles fueron de 150 Gton entre 1860 y 1975; durante ese periodo, el incremento de dióxido de carbono atmosférico fue de 95 a 148 Gton; por lo tanto, tal parece que el dióxido de carbono liberado por la quema de los principales combustibles entre 1860 y 1975 excedió de manera significativa el aumento de dióxido de carbono atmosférico (Woodwell, 1974). Vemos así que otros factores redujeron la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera; sin embargo, la quema de combustibles fue la causa individual más importante del aumento de la concentración de dióxido de carbono y continúa siéndolo.

Para poder predecir el efecto de la concentración de dióxido de carbono sobre la temperatura de la tierra han sido utilizados modelos generales de la circulación atmosférica, los cuales sugieren que la duplicación del actual grado de concentración de 335 ppmv aumentaría la temperatura de la tierra en 3°C (1.5°C) (National Research Council, 1983a). Tal aumento de temperatura provocaría cambios trascendentales en los patrones de precipitación pluvial, incluida una menor precipitación en algunas de las regiones templadas que en la actualidad son las principales productoras de alimentos del mundo; además, podría provocar la fusión de parte del casquete polar antártico y, por ello, el aumento del nivel de las aguas del mar y la inundación de extensas zonas costeras. Y son esos cambios posibles, por inciertos que puedan ser, los que hacen urgente la investigación sobre el efecto de invernadero.

Las proyecciones mundiales

Si bien es cierto que las proyecciones sólo señalan las posibles consecuencias futuras de las tendencias reales o supuestas, durante los años recientes han sido utilizadas para estudiar las consecuencias de discontinuidades ya hechas realidad o de realización inminente. Todas las discontinuidades que se han tomado como

punto de partida para elaborar los recientes modelos a escala mundial sobre la energía pertenecen a la categoría de las catástrofes, por lo que esos modelos llevan en sí un fuerte elemento tranquilizador: explícita o implícitamente, se trata de modelos normativos, y en cada uno de ellos se hace énfasis en unas cuantas variables que coadyuvan a ese propósito.

De entre los principales de esos modelos, en el primero, el del Seminario sobre Estrategias Energéticas Opcionales (Workshop on Alternative Energy Strategies; WAES), se adoptó la perspectiva del agotamiento del petróleo como punto de partida y se concibió el problema resultante básicamente como un cambio en la combinación de combustibles. Según Wilson (1977), el problema podría resolverse si:

[...] casi todos los combustibles fósiles fuesen retirados de su uso en las centrales eléctricas para reducir las pérdidas de proceso; [si] se produjese petróleo crudo sintético a partir de las reservas disponibles de carbón mineral para satisfacer la demanda básica de combustibles líquidos, y [si] los sectores industrial y doméstico utilizaran cantidades más importantes de carbón mineral y menos electricidad que lo contemplado en los planes actuales y a los que se da preferencia.

Dicho en otras palabras, el WAES abogaba por un desplazamiento del petróleo hacia el carbón mineral y la energía nuclear.

Por su parte, el International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) contemplaba un descenso aún más veloz del consumo de petróleo y, por ende, un desplazamiento más rápido hacia otros combustibles. Asimismo, se mostraba escéptico en cuanto a la viabilidad de aumentar rápidamente la capacidad nuclear, por lo que se inclinaba en favor de un mayor aumento que el propuesto por el WAES para la producción de carbón mineral hasta el año 2000. No obstante, las restricciones físicas para la producción de carbón mineral llevaron al IIASA a abogar por un rápido incremento de la capacidad nuclear a partir del año 2000, por lo que la combinación de combustibles que proyectó para el año 2030 no resultó muy diferente de la sugerida por el WAES para el año 2000 (Häfele *et al.*, 1981).

Las proyecciones de la International Energy Agency (IEA) implican un desplazamiento similar hacia el carbón mineral y la

energía nuclear para el año 2000 en el caso de los países pertenecientes a la OCDE, si bien sugieren un desplazamiento mayor hacia el carbón mineral y menor hacia la energía nuclear que las proyecciones del WAES y, por lo tanto, se acercan más a las del IIASA (International Energy Agency, 1982b).

El Oak Ridge Institute of Energy Analysis (ORIEA) elaboró proyecciones, relacionándolas con las de la IEA, sobre las emisiones implícitas de dióxido de carbono; sin embargo, debido a que supone que el efecto de invernadero se volverá un problema grave después de la fecha límite establecida en las proyecciones de la IEA, extendió las suyas propias hasta el año 2050. Como puede verse en el cuadro 12, las proyecciones de Edmonds y Reilly (1985a) para el año 2000 son similares a las del IIASA; para el año 2050, no obstante, la extrapolación del mismo conjunto de supuestos provoca estimaciones de consumo de energía considerablemente superiores y, por ende, de mayores requerimientos de carbón mineral y energía nuclear. Las proyecciones de Edmonds y Reilly sobre el suministro de petróleo parecen demasiado altas, si hemos de creer en las curvas de agotamiento de ese energético, en cuyo caso, sus estimaciones sobre el crecimiento de la producción de carbón mineral y energía nuclear serían demasiado bajas. Basándose en su modelo, esos autores llegaron a la conclusión de que el grado mundial de concentración de dióxido de carbono se duplicará en algún momento entre los años 2049 y 2067, es decir, treinta años más tarde que lo previsto por los estudios previos; y, de acuerdo con ellos, la única manera de posponer efectivamente el momento de la duplicación sería mediante un crecimiento económico mundial más lento o el empleo de tecnologías solares y nucleares cuyas emisiones de dióxido de carbono fuesen mucho menores.

Otros investigadores del ORIEA estudiaron de manera similar las consecuencias que tendría la concentración de dióxido de carbono supuestas en las proyecciones del IIASA y llegaron a conclusiones que sugieren que el problema debe enfrentarse con mayor urgencia (Perry *et al.*, 1982). En la opinión de esos investigadores, podría ser necesario mantener el grado límite de concentración mundial de dióxido de carbono por abajo de las 800 ppmv y, quizá, abajo de las 500 ppmv. Para lograrlo, el desplazamiento de la quema de combustibles, en especial de los combustibles fósiles, hacia otras fuentes de energía tendría que iniciarse

CUADRO 12. Algunas proyecciones recientes de consumo mundial de energía para años selectos, 2000-2050

Cobertura	Total para el año				Origen						Fuente
	2000	2025	2030	2050	Gas		Hidro-		Otros		
					Petróleo	natural	Nuclear	eléctrico		Carbón	
MEPC ^a	436				204	61	62	26	75	8	Wilson
	364				161	47	86	19	47	4	(1977)
Mundial	531				186	98	55	26	156	10	Häfele <i>et</i>
	428				150	80	40	26	124	8	<i>al.</i> (1981)
			1 122		215	188	255	46	377	41	
			705		158	109	163	46	203	26	
OCDE ^b	244				88	35	26	— ^c	73	22 ^d	International
	213				67	40	24	— ^c	62	20 ^d	Energy
	231				63	43	27	— ^c	78	20 ^d	Agency
Mundial	485				154						(1982b)
		922			183	82	40	57 ^d	152	—	Edmonds
				1 646	301	113	158	118	350	—	y Reilly
					89	363	119	747	27 ^e		(1985a)

^a“Mundial, excepto países comunistas.”

^bPaíses miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

^cIncluido en “otros”.

^dIncluye origen electricosolar.

^eIncluye origen hidroeléctrico.

en los próximos decenios, probablemente hacia el año 2040 y, posiblemente, tan pronto como el año 2010. Ello implicaría un aumento en el uso de fuentes de energía renovables, en particular de las no combustibles; sin embargo, su potencial máximo viable en el próximo siglo no es de más de 250 a 315 EJ, lo cual significa que el consumo mundial total de energía tendría que ser sometido a un límite absoluto y que todo crecimiento del ingreso tendría que lograrse dentro de ese límite. En otras palabras, el crecimiento tendría que basarse en el aumento del rendimiento energético, en la conservación de la energía.

Y tal es el punto de partida del estudio de Goldemberg *et al.* (1985.) Puesto que los combustibles fósiles no son renovables, finalmente deberán ser remplazados por fuentes de energía renovables. Mientras tanto, el uso de combustibles fósiles genera un gran número de efectos objetivos indeseables, de entre los cuales, el incremento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico es sólo uno. El enfoque de otros investigadores ha consistido en abogar por el consumo continuo de grandes cantidades de combustibles fósiles en los próximos decenios mientras se encuentran las soluciones técnicas a los problemas ambientales que acompañan a dicho consumo. El enfoque de Goldemberg y sus colegas, por el contrario, consiste en tratar de eliminar directamente esos problemas esforzándose por obtener el rendimiento óptimo de la energía en todo el mundo.

Las áreas de incertidumbre

Con todo y lo que se ha dicho anteriormente, hasta la fecha no existen pruebas contundentes de que, tal como esperan algunos estudiosos del tema, la temperatura de la tierra aumentará debido al incremento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico. La temperatura media del hemisferio norte fue apreciablemente más alta (de 0.4 °C a 0.5°C más) entre 1920 y 1960 que entre 1880 y 1920; sin embargo, a partir de 1960, parece haber descendido ligeramente (de 0.2°C a 0.3°C) (Bergman, 1983). Como quiera que sea, las variaciones de la temperatura de un año a otro son tan grandes que resulta muy aventurado tratar de deducir de ello tendencias o ciclos.

Es evidente que existen factores que influyen en la temperatura de la tierra y que, por ello, oscurecen su supuesta relación con la concentración de dióxido de carbono atmosférico; asimismo, existe un gran número de estilos o modificaciones de esa relación.

Primero, los intercambios con las grandes reservas de carbono de la tierra y el agua afectan el volumen de dióxido de carbono a través de numerosos mecanismos diferentes a la combustión (Figura 2).

Segundo, existen mecanismos de realimentación que introducen desplazamientos (diferencias de tiempo) en la relación (Hansen *et al.*, 1985).

Tercero, Somerville (Yulsman, 1985) pone en tela de juicio la magnitud del efecto de calentamiento del dióxido de carbono y afirma que el aumento de éste formará nubes más densas y con mayor capacidad de reflexión, lo cual reducirá el cuanto de energía solar que ingresa a la atmósfera.

Cuarto, en un estudio reciente se afirma que la influencia de los gases menores —*i. e.*, los fluorocarburos, el ozono, el metano y los compuestos nitrogenados— puede provocar un calentamiento mucho mayor (de 1.5 a 3.4 veces) que el dióxido de carbono y, si tal fuere el caso, las causas del cambio climático podrían ser más variadas que la sola quema de combustibles (Ramanathan *et al.*, 1985). Las proporciones de la concentración atmosférica de varios gases menores están aumentando a ritmos diferentes y esos ritmos de incremento podrían ser de consecuencias importantes para el patrón temporal del efecto de calentamiento. Existen diversas estrategias para reducir también las emisiones de esos gases, algunas de las cuales son más fáciles de controlar que otras y que las de dióxido de carbono, cuya reducción exigiría una disminución a escala mundial en la quema de combustibles fósiles y de biomasa.

El efecto de invernadero constituye uno de los campos en los que la investigación es más activa y es imposible resumir el actual estado del conocimiento al respecto con cierto grado de aceptabilidad. Pero si bien es cierto que una gran parte de la incertidumbre es atribuible a muchos aspectos del complejo mecanismo del cambio climático, las consecuencias potenciales de éste pueden ser tan graves (aunque no las mismas) para los países en desarrollo como para los industrializados, por lo que los primeros deberían interesarse en observar y seguir de cerca las investigaciones al

respecto, así como participar en ellas. Este problema constituye un campo en el que no existe alternativa para sustituir la cooperación internacional en la investigación y, finalmente, en las políticas.

LA LLUVIA ÁCIDA

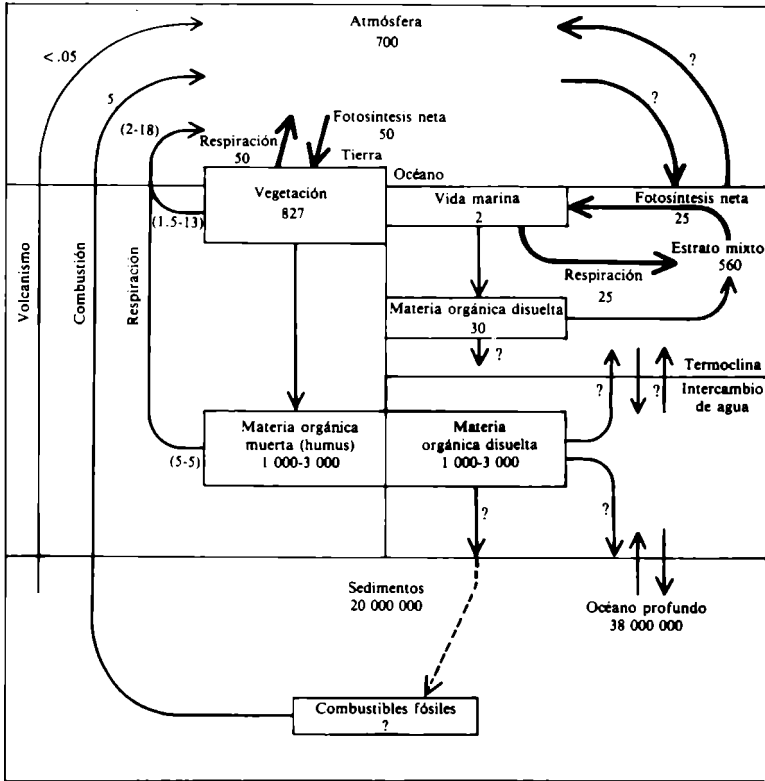
La realidad de la lluvia ácida ya no admite más dudas, ni su efecto sobre la vegetación, los peces, las carreteras, los edificios, etcétera. Aunque sí se puede dudar sobre el mecanismo de su causalidad, el papel de la combustión en éste también ha sido establecido muy sólidamente, no así el grado preciso de su importancia.

La lluvia normal es ligeramente ácida: la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua de lluvia provoca que su pH sea de entre 5.60 y 5.65, aproximadamente. Este valor varía un poco de región a región y puede ser inferior a 5.6 en aquellas donde la atmósfera carece de elementos alcalinos (Canadá, 1981; Harte, 1982; Haines *et al.*, 1983).

No obstante, la lluvia (la precipitación —lluvia y nieve—, para ser precisos) se ha vuelto sensiblemente más ácida en algunas zonas de Estados Unidos y de Europa occidental y el aumento de su acidez muestra una relación con ciertos deterioros graves de la flora y la fauna; en particular, la destrucción en los bosques de ciertas especies comunes de árboles y la desaparición de los lagos de peces sensibles a la acidez, como la trucha y el salmón. Se cree que los iones de hidrógeno de la lluvia ácida interfieren en el ciclo de los elementos minerales de las plantas porque los desplazan de las hojas y del suelo e impiden que las raíces los absorban. Además, es posible que el incremento de acidez de la lluvia provoque un aumento en la absorción de sustancias tóxicas, como el cadmio, en el caso de las plantas, y el mercurio, en el de los peces de agua dulce; sin embargo, todavía no se comprende cabalmente esta última correlación. Tampoco existen pruebas directas aún de los efectos de la lluvia ácida sobre los seres humanos (Taylor, 1980).

La tolerancia de la vegetación a ciertas sustancias tóxicas específicas varía mucho entre las especies y, a menudo, entre diferentes variedades de la misma especie (Taylor, 1980); asimis-

FIGURA 2. Depósitos y flujos globales de carbón. Los depósitos están expresados en miles de millones de toneladas métricas de carbón, los flujos en miles de millones de toneladas métricas de carbón por año. (Fuente: Woodwell, 1974.)



mo, el grado en que la lluvia ácida afecta los ecosistemas depende también de la capacidad de regulación de los suelos; por ejemplo: cuando los suelos y el agua de los lagos son alcalinos, el efecto de la lluvia ácida puede ser menor, pero en cualquier otro caso, el mismo incremento puede alterar el equilibrio del suelo y transformar los nutrientes básicos en compuestos que las plantas no puedan absorber (Haines *et al.*, 1983).

La precipitación ácida se debe principalmente a la liberación en la atmósfera de dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y óxidos de nitrógeno, que reaccionan con el agua para formar

ácidos sulfúrico y nítrico. Las emisiones de dióxido de azufre provienen principalmente de la quema de combustibles sulfurados y de las erupciones volcánicas, y se estima que las emisiones de la quema de combustibles duplican las de las erupciones volcánicas (cuadro 13). Todo proceso de combustión a alta temperatura provoca la formación de óxidos de nitrógeno por la reacción de este elemento con el oxígeno atmosférico, y la principal fuente urbana de ese tipo de emisiones es el transporte motorizado; sin embargo, la mayoría de las emisiones de óxidos de nitrógeno provienen de la descomposición de la biomasa, aunque también pueden formarse por la fragmentación de los fertilizantes nitrogenados (Chamberlain, 1981).

En virtud de su volumen, los óxidos de nitrógeno de esas emisiones desempeñan una función muy importante en la formación de la lluvia ácida a través de la oxidación directa del ácido nítrico, al igual que como elementos previos y desencadenadores de la formación de poderosos oxidantes como el peróxido de hidrógeno y el ozono. Por lo demás, las emisiones de óxidos de nitrógeno superan a las de dióxido de azufre; las primeras, cuando provienen de procesos naturales, presentan una distribución mundial y, probablemente, explican la acidez de la lluvia normal. Las adaptaciones locales a la acidez son muy numerosas; sin embargo, los efectos destructores de la lluvia ácida han sido observados principalmente en Estados Unidos y Europa occidental y han sido relacionados con las emisiones de dióxido de azufre.

La investigación sobre la lluvia ácida

Una debilidad importante de la investigación parece ser la falta de comprensión de la química atmosférica de la precipitación ácida. A pesar de que se cuenta con muchos modelos numéricos, la gran cantidad de parámetros ajustables hace difícil afirmar si la eficacia predictiva de un modelo refleja o no de manera precisa dicha química atmosférica. Desde el punto de vista de la comprensión de las reacciones atmosféricas, las que se entienden mejor en la actualidad son las reacciones homogéneas de la fase gaseosa, seguidas, en orden descendente, por las reacciones de la fase

CUADRO 13. Fuentes generalizadas en el mundo de emisiones de dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y óxidos nitrogenados^a

	<i>Emisiones (millones de toneladas)</i>			<i>Concentración atmosférica (ppmm)^b</i>	<i>Tiempo de permanencia (días)</i>
	<i>Antropogénicas</i>	<i>Naturales</i>	<i>Totales</i>		
Dióxido de azufre	207	100	307	0.2	4-8
Sulfuro de hidrógeno	— ^c	200	200	0.2	1-2
Óxidos nitrogenados	48	391	439		
Dióxidos nitrogenados	— ^c	598	598		
Amoniaco	4	1 054	1 055		
Óxido nítrico	— ^c	536	536		

^aEstas estimaciones se refieren a principios del decenio de 1970. Las estimaciones de las emisiones provenientes de fuentes naturales pueden incluir un factor de error de 2 o más.

^bPartes por mil millones.

^c Únicamente pequeñas cantidades (millones).

Fuente: Chamberlain, 1981.

líquida (química de la “gotita”), las reacciones heterogéneas y las reacciones catalíticas.

Dos vastos temas que deberían investigarse y cuya comprensión ayudaría, a su vez, a entender mejor la química de la precipitación ácida son: a) el ciclo óxidos de nitrógeno —compuestos orgánicos volátiles (COV)— y su influencia en la concentración de los radicales hidroxilo e hidroperoxilo, y b) la función de esos radicales.

El radical hidroxilo es un importante reactivo de la fase gaseosa (*i. e.*, fuera de la nube y la lluvia) tanto para el dióxido de azufre como para los óxidos de nitrógeno y es fundamental para la formación de peróxido de hidrógeno, un poderoso oxidante del dióxido de azufre en la nube y las gotas de lluvia, de ahí que muchos químicos crean que la oxidación del dióxido de azufre en la fase líquida pueda ser la principal manera como se produce el ácido sulfúrico. Finalmente, cuando el propio dióxido de nitrógeno es oxidado por el radical hidroxilo, el producto resultante es el ácido nítrico (Chamberlain, 1981; Shaw, 1984).

Llegar a comprender los dos fenómenos mencionados en el párrafo precedente tendría consecuencias directas en el diseño de las estrategias para hacer que disminuyera la lluvia ácida. Las fuentes principales de los óxidos de hidrógeno son la fotodisociación del ozono y el formaldehído; en ambos casos, los óxidos de nitrógeno constituyen la materia prima básica (si bien la formación de formaldehído se inicia con la presencia en la atmósfera de radicales hidrocarbonosos). Así, si fuese posible reducir los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera, ello reduciría, a su vez, la concentración de óxidos de hidrógeno y podría, por ende, disminuir las dos fuentes principales de acidificación, a) mediante la disminución directa del ácido nítrico y b) mediante la disminución del ritmo del ciclo oxidación-reducción en fase líquida del dióxido de azufre a ácido sulfúrico. La disminución del ritmo de oxidación del dióxido de azufre haría más probable que éste pudiera ser absorbido en la superficie de la tierra como un gas, lo cual reduciría la precipitación acidificada; sin embargo, una parte del dióxido de azufre absorbido en la superficie se convertiría en sulfatos debido a la acción de los oxidantes, incluido el oxígeno molecular.

En efecto, un menor ritmo de oxidación del dióxido de azufre en la atmósfera podría no suprimir todos los efectos dañinos de

la precipitación de ácidos, pero sí alteraría su distribución geográfica y también, probablemente, la naturaleza de sus efectos.

Estrategias para hacer disminuir la precipitación ácida

En Estados Unidos, la altura de las chimeneas pasó de una media de 61 m en 1960 a 183 m en 1981 (Chamberlain, 1981); no obstante, ello no puede considerarse como parte de una estrategia para hacer disminuir la precipitación ácida. Las chimeneas altas hacen que disminuya la contaminación local, pero aumentan grandemente las probabilidades de contaminación a distancia (Postel, 1984).

El tratamiento de los lagos con cal para reducir su acidez debe verse como una estrategia cuyo objetivo consiste en aliviar el daño en el extremo de recepción de la lluvia ácida (las zonas hacia donde sopla el viento) antes bien que en controlar las emisiones de sustancias dañinas en su fuente de origen (United States of America, 1984). En el mejor de los casos, se trata de un paliativo temporal, ya que disminuir la acidez no hace que los metales tratados mediante la lixiviación vuelvan a las rocas.

Consecuentemente, para que tengan éxito a largo plazo, las estrategias para hacer disminuir la precipitación ácida deben concentrarse en las técnicas para reducir las emisiones, las cuales, en el caso del dióxido de azufre, consisten en: a) el lavado del carbón mineral; b) el lavado (depuración) de los gases de la combustión en las centrales eléctricas antiguas; c) la sustitución de combustibles de alto contenido de azufre por otros de bajo contenido de ese elemento, y d) el uso de quemadores plurifásicos de inyección de caliza (Limestone Injection Multistage Burners; LIMB). En el presente, desde el punto de vista de los costos, la primera técnica no es eficaz para tratar el carbón mineral con bajo contenido de azufre y los LIMB, por otra parte, se encuentran en las primeras etapas de desarrollo en Estados Unidos y, en la República Federal de Alemania, en su etapa de demostración comercial (United States of America, 1984).

El control de las emisiones de óxidos de nitrógeno es más difícil que el de las emisiones de dióxido de azufre. En la actualidad, es posible controlar los óxidos de nitrógeno haciendo variar

los ritmos y proporciones de la mezcla de aire y combustible en el proceso de la combustión; sin embargo, no todas las calderas de uso general pueden ser readaptadas con equipos para modificar la combustión y, de cualquier manera, ello sólo reduciría las emisiones en aproximadamente un 25%, por lo que, para alcanzar mayores grados de control, podría ser necesario modificar la geometría de los hornos. También es posible remover los óxidos de nitrógeno mediante el tratamiento de los gases de la combustión y reducirlos mediante el uso de los LIMB.

Si aumentase el uso de unidades de combustión de carbón mineral en pequeña escala (las estufas, por ejemplo) en una región en particular, es muy probable que las altas concentraciones de ácido nítrico se convirtieran en un grave problema local. En ese caso, la investigación sobre el rendimiento de la combustión en las estufas de carbón mineral y sobre el control de las emisiones de óxidos de nitrógeno sería de especial importancia (Harte, 1982). Para aquellos países en desarrollo en los que se presentan altas concentraciones de quemado de combustibles fósiles y de biomasa y que poseen grandes extensiones territoriales —Brasil, China e India, por ejemplo—, sería de una gran conveniencia el estudio de la acidez de la precipitación pluvial y de toda correlación que dicha precipitación pudiera mostrar con la flora y la fauna. Si se descubriese la existencia de correlaciones, la disminución de la lluvia ácida sería un objetivo tan pertinente para los países en desarrollo como para los industrializados.

XIII. LAS CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Éste y los dos capítulos siguientes constituyen un resumen de las conclusiones generales del Grupo.

La eficacia de un sistema de investigación depende a) de que existan usuarios profesionales —esto es, usuarios de la investigación idóneos, capacitados profesionalmente, que cuenten con los conocimientos adecuados para aplicar y explotar los resultados de la investigación—; b) de la acumulación de conocimientos de largo alcance y a largo plazo; c) de la existencia de directores de investigación informados, y d) de que se cuente con un financiamiento orientado hacia los objetivos de la investigación.

Los usuarios profesionales son aquellos que pueden tanto plantear los problemas de tal manera que la investigación de éstos sea posible como evaluar la calidad de la misma; además, deben estar diseminados en las organizaciones que utilizan la investigación. Por lo tanto, los usuarios profesionales de la investigación deben ser capacitados de manera que ellos mismos puedan llevar a cabo investigaciones y juzgar la calidad de éstas; asimismo, deben actualizar sus conocimientos continuamente.

La acumulación de conocimientos toma tiempo y exige instalaciones físicas —como las bibliotecas—, pero debe ser puesta a la disposición de los investigadores a través de un proceso de aprendizaje y de resolución de problemas; por ello, es necesario planear las carreras de investigación de tal manera que, en el corto plazo, se incrementen su alcance y, en el largo plazo, se les dé versatilidad.

La posición de director de investigación exige que éste pueda llevar a cabo el estudio del ámbito de la investigación, en especial de las necesidades que se presentan a los usuarios de la misma y de la manera de traducir esas necesidades en problemas que puedan ser resueltos por los investigadores y, así, permitan que éstos incrementen su capacidad.

Finalmente, el financiamiento orientado hacia los objetivos de la investigación exige que se hagan inversiones a largo plazo en programas de importancia potencial para los usuarios de aquélla y que se explote esa importancia mediante proyectos.

Una vez terminado nuestro examen de las prioridades que debe tener la investigación sobre la energía, resumiremos nuestras conclusiones en los últimos tres capítulos. En el presente capítulo, abordamos las condiciones que debe satisfacer la investigación, en el siguiente, los usos de la energía y, en el último, los recursos energéticos.

El hecho de establecer temas prioritarios para la investigación carece de sentido si no se cuenta con una organización bien estructurada que lleve a cabo la investigación de tales temas; por ende, primero es necesario dar forma a un sistema de investigación de esa naturaleza y, si ya se cuenta con él, mejorar su funcionamiento si éste es defectuoso. Lo importante no es sólo la capacidad con que pueda contar el sistema para determinar cuáles son las prioridades de la investigación, sino también su capacidad para que sus investigaciones sean de calidad. La eficacia de un sistema de investigación depende de cuatro factores principales: 1) de que existan usuarios profesionales; 2) de que cuente con instalaciones adecuadas para la acumulación de conocimientos de largo alcance y a largo plazo; 3) de que los directores de investigación estén bien informados, y 4) de un patrón de financiamiento orientado hacia los objetivos de la investigación.

EL USUARIO PROFESIONAL

Un usuario profesional es aquel que puede decidir qué es necesario investigar para resolver ciertos problemas específicos y que puede juzgar respecto a la calidad de la investigación. Los usuarios profesionales deben estar diseminados en las organizaciones que pueden utilizar la investigación, principalmente entre las del gobierno y las de los productores. Las instituciones de investigación también pueden desempeñarse como usuarios profesionales respecto a las organizaciones —de pequeños productores, por ejemplo— que utilizan aquélla y que no cuentan con la capacidad necesaria para llevarla a cabo por sí mismas; no obstante, cuando

las instituciones de investigación forman parte de la propia organización, se obtienen resultados más efectivos.

La primera condición indispensable para contar con usuarios profesionales es la capacitación, la cual puede no ser tan avanzada como la que necesitan los investigadores, pero es del mismo género.

La segunda condición es la presencia de personas capacitadas cerca de los centros donde se toman las decisiones en las organizaciones usuarias de la investigación. Es muy fácil que los técnicos sean absorbidos por tareas administrativas rutinarias que, no obstante, no contribuyen a aumentar la capacidad del usuario de la investigación; por ende, es importante que la función profesional que constituye la evaluación de los resultados de la investigación sea desempeñada por personas capacitadas profesionalmente para ello.

Por otra parte, ese tipo de personal especializado sólo puede mantener su capacidad de evaluación si actualiza constantemente sus conocimientos, lo cual puede lograrse mediante intercambios periódicos de esos especialistas entre las organizaciones usuarias y las instituciones de investigación, intercambios que también contribuirían a formar vínculos sociales informales útiles en la transferencia de investigación y tecnología. Si, no obstante, los intercambios no fuesen posibles, sería aconsejable que el personal capacitado de las organizaciones usuarias de la investigación volviera periódicamente a las instituciones de capacitación e investigación con el propósito de renovar sus conocimientos.

Finalmente, bien puede haber cierto tipo de conocimientos cuya obtención sea más fácil en las organizaciones usuarias que en las instituciones de investigación; en el caso de la formulación de políticas, por ejemplo, la información que requieren los responsables de tomar decisiones cotidianamente es más fácil de almacenar en las propias oficinas gubernamentales para su uso inmediato, mientras que, en las organizaciones de productores, los aspectos de la explotación —como la elaboración de procesos para productos nuevos, las innovaciones en la comercialización, etcétera— constituyen servicios intermedios que se encuentran a medio camino entre la investigación y su uso, por lo que deben ser desarrollados por las organizaciones usuarias de esta última.

Las condiciones antes mencionadas son particularmente importantes en lo que respecta a la investigación para la formulación de políticas: los graves problemas relacionados con la energía

constituyen inevitablemente el tema de las políticas nacionales y tanto el volumen como la calidad de las investigaciones que se hagan sobre ellos dependerán de la capacidad que tengan los responsables de formular las políticas para guiar y utilizar la investigación. Lo anterior es particularmente claro en la administración de la demanda de energía, que sólo es pertinente en el ámbito de la formulación de políticas. En las posiciones clave del gobierno, debe haber personas que cuenten con los conocimientos y la capacidad suficientes para traducir los problemas de la formulación de políticas en temas de investigación y los resultados de ésta en soluciones para la formulación de políticas; además, los gobiernos deben contar con un enfoque lo suficientemente amplio y de largo alcance —que tenga como marco de referencia, por ejemplo, la planeación nacional— para poder utilizar la investigación.

LA ACUMULACIÓN DE CONOCIMIENTOS DE GRAN ALCANCE Y A LARGO PLAZO

Los conocimientos y la experiencia que se requieren para resolver los problemas rápida y satisfactoriamente son acumulados por los investigadores, pero éstos los adquieren a través de un proceso de aprendizaje y de resolución de problemas, lo cual hace que el patrón de las carreras de investigación sea muy importante, ya que los problemas que tengan que abordar los estudiantes de esas carreras y las instalaciones con que cuenten para abordarlos influirán en su capacidad. Como vemos; es necesario construir instalaciones adecuadas en las instituciones de investigación, lo cual toma un tiempo muy largo; las instalaciones pueden ser simples y austeras para el estudio de un campo como las matemáticas —si bien las computadoras han ensanchado las oportunidades de estudio en ese campo— o costosas y complejas para la investigación de un campo como la física nuclear; no obstante, la escala y suficiencia de las instalaciones construidas a lo largo de un periodo de tiempo prolongado influyen en la capacidad de acumulación de conocimientos de los investigadores.

Es muy cierto que las instalaciones y el uso que se hace de ellas determinan la amplitud de la experiencia de un investigador, pero

es la variedad de los problemas abordados por el investigador lo que determina su campo de acción y su versatilidad, razón por la que los directores de investigación deben asegurar que los investigadores se dediquen a campos de estudio de utilidad actual.

EL DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN INFORMADO

El director de investigación traduce las demandas del medio externo en problemas que puedan ser abordados por los investigadores y busca la aplicación adecuada para el ingenio de éstos; en esa función, el director de investigación debe ser alguien con una visión muy amplia y capaz de prever las áreas que probablemente llegarán a ser importantes.

Asimismo, el director de investigación debe estar informado sobre los recursos del país que definen las necesidades de investigación. Invariablemente, el uso de los recursos nacionales plantea problemas locales específicos, mientras que la carencia de recursos —en países que no pueden importarlos— genera problemas para encontrar sustitutos de los mismos.

Finalmente, los directores de investigación deben estar informados sobre el medio externo —nacional e internacional— en lo que respecta a los campos pertinentes. La observación y el seguimiento de las investigaciones paralelas son tarea de todo investigador, pero, en el caso del director de investigación, son particularmente útiles para impedir la duplicación de esfuerzos y las pérdidas de recursos y para acelerar el progreso de la investigación.

EL FINANCIAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El financiamiento sólo puede generar investigaciones útiles si antes se satisfacen las condiciones institucionales mencionadas en los párrafos precedentes, pero, en cierta medida, también puede dar forma a las instituciones. El desarrollo de las instituciones de investigación toma tiempo, por lo que éstas requieren que sus programas cuenten con un financiamiento de largo alcance. Una vez establecidas, no obstante, deben estar en condiciones de res-

ponder con rapidez a los problemas que surjan, lo cual se logra mediante el financiamiento a corto plazo.

Los gastos que se hagan en el desarrollo de las instituciones de investigación y en las áreas de programas deben ser considerados como una inversión en capital humano y material y, si bien no debe esperarse que tal inversión produzca resultados inmediatos, finalmente debe generar rendimientos en la forma de proyectos, rendimientos que demostrarán el buen sentido de las decisiones iniciales. Las expectativas que se tengan acerca de los proyectos definitivos que dicha inversión genere deberán constituir la base para decidir si se invierte en instalaciones de investigación y para elegir las áreas en las que dichas instalaciones habrán de desarrollarse.

XIV. LOS USOS DE LA ENERGÍA

Los sistemas nacionales de energía deben ser proyectados para un periodo al menos tan largo como los intervalos de gestación y desarrollo de las industrias de la energía; además, las proyecciones que se hagan deberán basarse en el conocimiento de las relaciones existentes entre dichas industrias y entre ellas y el resto del sistema socioeconómico.

El conocimiento de las relaciones estructurales ayudaría a decidir cómo puede modificarse la demanda de energía mediante la variación de la estructura de producción y consumo. De manera similar, la comprensión del comportamiento de los consumidores puede utilizarse para influir en su consumo de energía y regularlo.

Cuando se presenta una modificación de la escasez relativa de las fuentes de energía, se hace necesaria la sustitución entre combustibles, y la sustitución de energía humana por mecánica inherente al proceso de desarrollo es una de las principales formas de sustitución entre combustibles que generan grandes problemas para la formulación de políticas, problemas que exigen una investigación sobre bases muy amplias.

Existen dos tipos de investigación destinados a la conservación de la energía que son particularmente prometedores para los países en desarrollo. El primero de ellos consiste, por una parte, en hacer un inventario de cada clase de equipo que consume energía para diagnosticar las razones del bajo rendimiento energético y, por la otra, en encontrar los medios para mejorar este último; el segundo consiste en utilizar los resultados del primero para mejorar el diseño de los nuevos equipos.

El término “países en desarrollo” es una expresión genérica que oculta muchas diferencias, por lo tanto, la decisión de asignar las prioridades para la investigación sobre la energía tendría que tomarse en el ámbito de cada país en desarrollo o en el ámbito aún más microeconómico de una organización de productores o de una institución de investigación. A esos niveles, la toma de deci-

siones mejoraría mucho si fuera posible contar con una perspectiva de largo plazo sobre la evolución del sistema de energía.

La magnitud del periodo para el que tal proyección debería hacerse equivale al periodo necesario para la planeación anticipada de las industrias de energía con largos intervalos de gestación y desarrollo y es particularmente prolongado en los casos del carbón mineral, el petróleo y el gas; entre el inicio de la exploración y la producción comercial en gran escala, puede transcurrir un periodo de cinco a ocho años. En el caso de la electricidad, el periodo puede ser más corto, pero los proyectos de centrales hidroeléctricas pueden tardar un decenio en completarse, en particular cuando se topan con problemas geológicos inesperados. En todas esas industrias, se hacen necesarios el acopio de información, la elaboración de los mejores supuestos y la reducción al mínimo de la incertidumbre mediante proyecciones que abarquen periodos al menos tan largos como sus intervalos de gestación y desarrollo. Por otra parte, los intervalos de gestación y desarrollo de las industrias de fuentes de energía renovables no son necesariamente cortos; por ejemplo: los proyectos silvícolas tardarían al menos cinco años a partir de la repoblación con árboles para producir rendimientos económicos. Consecuentemente, los intervalos de gestación y desarrollo de las industrias de la energía hacen imprescindible que los responsables de tomar las decisiones cuenten con una visión y una capacidad de previsión muy amplias.

Cuando se trata de hacer proyecciones para periodos tan largos, es imposible planificar la trayectoria de las industrias de la energía si no se tiene una idea precisa de las relaciones que existen entre ellas y de las relaciones que tienen con el resto del sistema socioeconómico. Son tres las áreas acerca de las cuales es fundamental contar con ese conocimiento: 1) los vínculos entre el consumo de energía y el sistema socioeconómico; 2) las posibilidades de sustitución entre las diferentes formas de energía, y 3) las posibilidades de incrementar el rendimiento energético.

LAS RELACIONES ESTRUCTURALES

Con excepción de los usos domésticos —calefacción, cocción de alimentos y usos domésticos en general de la electricidad— y del

uso para el transporte de pasajeros, la energía no es utilizada por consumidores finales, sino por productores que la emplean para producir otros bienes y servicios, y las relaciones existentes entre estos últimos y el consumo de energía —llamadas relaciones estructurales— pueden ser exploradas mediante las técnicas mencionadas en el capítulo IV. Generalmente, las técnicas más complejas ofrecen resultados más confiables, pero también exigen más información y el recurso a las computadoras, por lo que es necesario avenirse a las posibilidades con que se cuente.

La aplicación más prometedora de la investigación en el plano macroeconómico consiste en que pueda llegar a revelar cómo podría modificarse la composición de la demanda de energía mediante la variación de la estructura de producción y consumo. Si se logra el desarrollo de modelos que muestren ese vínculo, podrían ser utilizados para la formulación de políticas fiscales y de otro género que alejaran la demanda de los recursos energéticos más escasos. Dichas políticas podrían ser aplicadas en los sectores consumidores —como el transporte y la industria—, en las fuentes de energía —los derivados del petróleo, por ejemplo.

En el plano microeconómico, se requiere hacer avanzar más la investigación sobre los factores que llevan a los consumidores a decidir qué proporción de su ingreso habrán de dedicar a sus necesidades de energía. Los consumidores de los países en desarrollo poseen características particulares, por ejemplo: su ingreso no siempre es en dinero contante, sino que puede ser en especie o en la forma de su propia mano de obra, y sus decisiones como consumidores las toman en función de toda la familia, más bien que del individuo; por lo tanto, esas características particulares exigen el uso de herramientas analíticas particulares.

LA SUSTITUCIÓN ENTRE COMBUSTIBLES

La forma de sustitución entre combustibles de mayor importancia para los países en desarrollo es la sustitución de la energía animada por la inanimada. El uso de esta última puede generar mayores incrementos en la productividad de la mano de obra y en los patrones de vida, aunque con su aplicación, también se corre el riesgo de generar desempleo. La administración de tal transición

en el ámbito de los energéticos provoca algunos de los problemas más difíciles para la formulación de políticas en los países en desarrollo, en particular en la agricultura, de la que depende un alto porcentaje de la población. En el plano macroeconómico, la sustitución entre combustibles en la agricultura puede tener consecuencias para el empleo, la balanza de pagos y el uso de los recursos energéticos, factores que deben ser estudiados en conjunto para poder llegar a conclusiones útiles para la formulación de políticas. La agricultura puede producir biomasa en muchas formas utilizables; si su productividad de biomasa aumenta con cierto tipo de cultivo, es posible dedicar una parte de la superficie a otro tipo de cultivo. Como vemos, la investigación puede tener objetivos más amplios y no reducirse únicamente al uso y a la productividad de la energía.

En el plano del transporte, la sustitución entre combustibles ha provocado una gran cantidad de investigaciones durante los últimos doce años debido a la dependencia de ese sector respecto del petróleo. Los resultados no incluyen todavía ninguna alternativa prometedora para el petróleo, pero en los países industrializados sí han generado mejoras en el rendimiento energético. En los países en desarrollo, por otra parte, la investigación sobre la planeación urbana y nacional para reducir al mínimo el transporte y sobre el uso más eficaz de las instalaciones del mismo puede arrojar resultados más fructíferos a largo plazo.

LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Mientras que los países industrializados producen una alta proporción del equipo necesario para la producción y transformación de la energía, los países en desarrollo emplean cantidades muy grandes de equipo que la consume —calderas, motores, estufas, etcétera—, por lo que una difusión generalizada de dispositivos para ahorrar energía aplicables a ese tipo de equipo podría generar ahorros considerables. Este enfoque sugiere dos orientaciones para la investigación.

La primera consiste en crear un inventario de cada clase de equipo existente, diagnosticar las razones de su bajo rendimiento energético y perfeccionar la práctica de su operación e introducir

adaptaciones con el propósito de que dicho rendimiento sea el óptimo. El perfeccionamiento de la práctica de operación y las adaptaciones desarrolladas podrían aplicarse más tarde a todo el equipo.

La segunda consiste en buscar la manera de mejorar los dispositivos sobre la base de estudios de diagnóstico similares y en introducir los dispositivos mejorados en los nuevos equipos. Los beneficios de las modificaciones dependerán de la rapidez de aumento y remplazo de las existencias de equipo; a corto plazo serán menores, pero a la larga será posible obtener importantes ahorros de energía.

XV. RECURSOS ENERGÉTICOS

La norma del Grupo consistió en definir las prioridades basándonos en la manera en que la investigación puede contribuir al campo de las decisiones globales de política y producción. Desde este punto de vista, podemos clasificar los recursos en dos grupos generales: a) aquellos cuya explotación eficaz depende principalmente del estudio y la identificación cuidadosa de su mercado, y b) aquellos cuya explotación eficaz depende de que se logre abatir sus costos.

En general, la mayor incertidumbre respecto al mercado de los energéticos se relaciona con la explotación del gas natural, la cual se beneficiaría muchísimo de la investigación sobre la demanda. El carbón mineral puede encontrarse en una situación similar cuando existe una competencia reñida, pero es posible desplazarlo más fácilmente de un usuario a otro. El petróleo cuenta con un mercado relativamente seguro, definido por la red de distribución; no obstante, puede tener que hacer frente a la competencia internacional, de ahí la necesidad de estudiar el mercado mundial del mismo. La electricidad, por su parte, es menos sensible a las presiones del mercado, a menos que se hayan hecho inversiones excesivas en ella. Los mercados para las fuentes de energía menores, en fin, generalmente serán locales y reducidos, pero identificarlos puede requerir una mayor investigación.

Las fuentes de energía menores enfrentan, sobre todo, la competencia de las principales fuentes de energía; por ello, la investigación podría contribuir con más eficacia a su explotación buscando la manera de reducir sus costos de producción. En el caso de los recursos cuyos costos de capital son muy altos, el aumento del uso de las reservas puede hacerlos directamente más viables. En cuanto a los recursos disponibles sólo por temporadas —como el etanol producto de la caña de azúcar—, su almacenamiento a bajo costo podría constituir la solución para aumentar el uso de las reservas. Por otra parte, cuando los costos de almacenamiento son altos —como en el caso de la energía solar y

eólica—, un tema de investigación adecuado es la identificación de los lugares de emplazamiento de los sistemas y de las aplicaciones de la energía producida. Todos los recursos energéticos de la biomasa producto del cultivo de la tierra pueden ser más viables si se incrementa la productividad de esta última; además, también sería benéfico realizar investigaciones sobre la productividad de la biomasa que permitieran liberar áreas para el cultivo de esta última con el propósito de obtener combustibles.

Finalmente, las reservas de combustibles minerales presentan a menudo problemas geológicos inesperados; empero, mediante la identificación de esos problemas y la búsqueda de soluciones para hacerles frente, la investigación puede contribuir a la viabilidad de los proyectos de minería.

Como explicamos en el capítulo 1, los miembros del grupo resolvimos no profundizar en las tecnologías de producción y gestión de las grandes industrias de la energía —carbón mineral, petróleo, gas y electricidad (térmica, hidroeléctrica y nuclear)—; asimismo, resolvimos pasar por alto la novedad y los avances potenciales en el conocimiento como base para la definición de prioridades. Antes bien, llegamos a la conclusión de que lo mejor era definir las basándonos en la manera en que la investigación puede contribuir al campo de las decisiones globales estratégicas de política y producción. Consecuentes con lo anterior, tratamos, fundamentalmente, de evaluar el grado en que la investigación puede contribuir a mejorar la calidad y la pertinencia de decisiones importantes en las que un error podría provocar la pérdida de recursos. Desde este punto de vista, la contribución de la investigación será mayor en los casos en que el mercado para un recurso sea incierto —puesto que asegurarse de que el mercado será lo suficientemente amplio y de que el recurso podrá hacer frente a la competencia de otras formas de energía será determinante para la viabilidad de la explotación de dicho recurso— y en aquellos en que la aplicación de tecnologías existentes o disponibles a situaciones nuevas implique un riesgo verosímil de hacer surgir problemas graves específicos del lugar de aplicación. De entre los numerosos ejemplos de ambos tipos de contribución presentados en los capítulos VI a XI, en este resumen sólo abordaremos los más importantes. Las áreas prioritarias fueron definidas en función de los tipos o grupos de problemas.

LOS RECURSOS ENERGÉTICOS SENSIBLES AL MERCADO

Desde el punto de vista del volumen y estabilidad de la demanda, probablemente sea la explotación del gas natural la que enfrente la mayor incertidumbre y la que más se beneficiaría de la investigación. En este caso, es necesario identificar previamente a los usuarios del energético y tener en cuenta que la escala mínima de producción del kiso es grande. En todo proyecto de explotación de gas natural, las bases para determinar la escala, identificar los mercados y establecer los términos de los contratos hacen imperativa la investigación.

La explotación del carbón mineral puede enfrentar problemas similares en los casos en que constituye una fuente de energía de uso relativamente reciente o en aquellos en que se busca incrementar su producción de manera sustancial; generalmente hablando, no obstante, el transporte del carbón mineral es más fácil, al igual que su desplazamiento de un usuario a otro, por lo que la viabilidad de los proyectos de explotación de carbón mineral dependerá probablemente más de los costos de producción que de la identificación previa del mercado.

En vista de que la mayoría de los países en desarrollo cuenta con una red de distribución para el petróleo, este energético es, asimismo, menos sensible a las condiciones del mercado; sin embargo, puede ser sensible a la competencia internacional, sobre todo en los países que dependen en gran medida de las exportaciones o importaciones de ese recurso, lo cual hace necesaria la investigación sobre el mercado mundial del petróleo y sobre la determinación de sus precios.

La electricidad producida por empresas de servicios públicos es el energético menos sensible al mercado, en particular en los países con una demanda en crecimiento. Lo anterior es cierto en todos los casos de instalaciones de generación propiedad de empresas de servicios públicos. Por supuesto, aunque la presencia de fuentes de energía competitivas no la afecte relativamente, la demanda de electricidad puede limitar el crecimiento en los casos en que se haya hecho una inversión excesiva o en aquellos en que la construcción de grandes instalaciones haya dado lugar a una capacidad superior a la demanda existente.

Los mercados de las fuentes de energía descentralizadas y en pequeña escala son relativamente reducidos, por lo que el proble-

ma de encontrarlos es menos grave, si bien puede ser necesario identificarlos, como es el caso de los hornillos, las estufas solares, los dispositivos fotovoltaicos domésticos, las secadoras solares, etcétera; y aun cuando no existan limitaciones de mercado, éstas pueden ser producto de las preferencias de los compradores, problema que puede surgir respecto al equipo; por ejemplo: estufas de rendimiento óptimo del combustible que no satisfagan las expectativas del usuario en otros aspectos. En este caso, el problema para la investigación reside en la adaptación del dispositivo al mercado.

LOS RECURSOS ENERGÉTICOS SENSIBLES A LOS COSTOS

Cuando existen sustitutos potencialmente más baratos para los recursos energéticos, el problema para la investigación reside en la reducción de los costos de producción de dichos recursos. Las fuentes de energía descentralizadas y en pequeña escala son de un volumen de producción relativamente reducido y enfrentan problemas menos graves para encontrar mercados; pero, si se presenta la competencia de fuentes de energía mayores, su costo de producción será determinante de su viabilidad. Lo anterior es particularmente cierto en el caso de las instalaciones de generación de energía eléctrica descentralizadas —fotovoltaicas, eólicas, geotérmicas, dendrotérmicas, etcétera— cuando enfrentan la competencia de la red nacional de energía eléctrica, pero también lo es en el caso de otros recursos como el carbón vegetal, el gas de generador y las aerobombas.

Muchos recursos energéticos nuevos y renovables se caracterizan porque sus costos de operación son bajos —insignificantes, en ocasiones— y altos sus costos de capital, y, siempre que los costos de capital son altos, el aprovechamiento de los recursos puede alterar considerablemente su viabilidad; por ende, el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía a bajo costo debe ser considerado como una prioridad de la investigación. En el caso de la energía cuyo almacenamiento es difícil o costoso —la solar y la eólica, por ejemplo—, el aprovechamiento de los recursos dependerá de la disponibilidad de los mismos, así como del patrón de comportamiento de la demanda en el tiempo. En tales

casos, la identificación de los lugares de instalación favorables y de los usos adecuados constituye el objetivo más importante de la investigación. No obstante, aun en el caso de las fuentes de energía basadas en la biomasa barata —como el gas de generador, el biogás y el etanol—, el principal medio para hacerlas viables puede ser la reducción del coeficiente capital-rendimiento.

Los recursos energéticos basados en la biomasa requieren tierra de cultivo y su productividad por unidad de superficie ejerce un efecto muy grande en sus costos de recolección; de manera similar, la productividad de la tierra se vuelve un factor importante cuando esta última es escasa. En tales situaciones, si se logra aumentar el rendimiento de cierto tipo de cultivo, ello permite liberar áreas para otros tipos de cultivo. Por lo tanto, una investigación amplia sobre la productividad de la biomasa acarrearía un beneficio indirecto para los recursos energéticos producto de esta última.

La escala de producción de los combustibles provenientes de la biomasa se ve limitada por los costos de recolección, pero, si logra aumentarse la productividad de la biomasa, la explotación en gran escala puede resultar redituable, como pueden ser los casos de la producción de etanol, electricidad dendrotérmica y carbón vegetal. Así, en este caso también, cuando se busca la expansión de los procesos intermedios, el aumento de la productividad de la biomasa puede generar la necesidad de una investigación consecuente.

Finalmente, la explotación de los combustibles minerales se ve sujeta a menudo al surgimiento de dificultades y problemas geológicos inesperados cuya solución puede tener que ser local y específica del yacimiento; en esos casos, la investigación para encontrar las soluciones posibles puede generar beneficios importantes desde el punto de vista de los rendimientos. Ese tipo de situación es común en el caso del carbón mineral.

BIBLIOGRAFÍA

- Adelman, M. A., Houghton, G. Kaufmann y M. B. Zimmerman
1983 *Energy Resources in an Uncertain Future. Coal, Gas, Oil and Uranium Forecasting*. Cambridge, Ma., Ballinger.
- Advisory Committee on Technology Innovation
1977 *Methane Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes*. Washington, National Academy of Sciences.
- Alam, M., J. Dunkerley y A. K. N. Reddy
1985 "Fuelwood Use in the Cities of the Developing World: Two Case Studies from India", en *Natural Resources Forum*, 9(3), pp. 205-213.
- Alston, L. L.
1984 *Railways and Energy*. Washington, World Bank, Staff Working Paper 634.
- Apte, P. C.
1983 "Substitution among energy and non-energy inputs in selected Indian manufacturing industries: an econometric analysis", en *Indian Economic Journal* 31(2), pp. 71-90.
- Asian Development Bank
1984 *Compilation of Technical Assistance Activities in the Energy Sector of Asian Development Bank's Developing Member Countries*. Manila, Filipinas, ADB.
- Aureille, R.
1984 "Deux siècles de production d'hydrogène", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference*, Toronto, Canada, 15-20 July 1984. Nueva York, Pergamon Press, vol. 1, pp. 21-46.
- Backus, C. E.
1984a "Principles of photovoltaic conversion", en G. Furlan, N. A. Mancini y A. A. M. Sayigly, eds., *Nonconventional Energy*. Nueva York, Plenum Press, pp. 297-348.
1984b "Photovoltaic technology assessment", en G. Furlan, N. A. Mancini y A. A. M. Sayigly, eds., *Nonconventional Energy*. Nueva York, Plenum Press, pp. 349-386.

- Baldwin, S.
1986 "New opportunities in electric motor technology", en *Technology and Society* 5(1), Institute for Electrical and Electronic Engineers, pp. 11-18.
- Banco Interamericano de Desarrollo
1982 *The Impact of Energy Costs on Transportation in Latin America*. Washington, BID, Economic and Social Development Department.
- Banco Interamericano de Desarrollo e Instituto para la Integración de América Latina
1981 *Fuentes nuevas de energía, situación y perspectivas de desarrollo y cooperación-encuesta regional*. Buenos Aires, BID.
- Baudequin, F., M. Boillot y B. Mignard
1984 "Sugar cane bagasse gasification", en H. Egnéus y A. Ellegård, eds., *Bioenergy 84: Proceedings of an International Conference on Bioenergy Held on 15-21 June 1984 at the Swedish Trade Fair Centre, Gotëborg, Sweden*, vol. III: *Bio ass Conversion*. Londres, Elsevier, pp. 80-93.
- Baumol, W. J., J. C. Panzar y R. D. Willig
1982 *Contestable Markets and the Theory of Industrial Structure*. Nueva York, Harcourt, Brace Jovanovich.
- Beale, W. T.
1981 "Stirling Engines for Developing Countries" (borrador del artículo publicado en el Suplemento de la National Academy of Sciences, *Energy for Rural Development: Renewable Sources and Alternative Technologies for Developing Countries*). Washington, National Academy Press.
- Becker, G. S.
1981 *A Treatise on the Family*. Cambridge, Ma., Harvard University Press.
- Behrens, A.
1984 "Energy and Output Implications of Income Redistribution in Brazil", en *Energy Policy* 12(2), pp. 110-116.
- Bellin, A., H.-J. Scharf, L. Schrader y H. Teggers
1985 "Application of Rheinbraun HTW-Gasification Process to Biomass Feedstocks", en H. Egnéus y A. Ellegård, eds., *Bioenergy 84: Proceedings of an International Conference on Bioenergy Held on 15-21 June 1984 at the Swedish Trade Fair Centre, Göteborg, Suecia*, vol. III: *Biomass Conversion*. Londres, Elsevier, pp. 65-72.
- Ben Daniel, D. J. y E. E. David Jr.
1979 "Semi-Conductor Alternating-Current Motor Drives and Energy Conservation", en *Science*, 206(4420), pp. 773-776.

- Bergman, K. H.
 1983 "Climate Change", en *International Journal of Environment Studies*, 20, pp. 91-101.
- Berndt, E., y D. Wood
 1975 "Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy" en *Review of Economics and Statistics*, 57(3), pp. 259-268.
 1979 "Engineering and Economic Interpretations of Capital-Energy Complementarity", en *American Economic Review*, 69(3), pp. 342-354.
- Berry, R. A., y W. Cline
 1979 *Agricultural Development: An International Perspective*. Baltimore, Md., John Hopkins University Press.
- Bhagavan, M. y R. Carlman
 1982 *Strengthening of Energy Research Capacity in Developing Countries*. Estocolmo, Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries.
- Bhatia, R.
 1984a *Energy Alternatives for Irrigation Pumping: An Economic Analysis for Northern India*. Ginebra, Organización Internacional del Trabajo, ILO Working Paper 137.
 1984b *Energy and Agriculture in Developing Countries*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Bhushan, B.
 1984 *Energy Research and Development Programmes in India*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Bialy, J.
 1979 *Firewood Use in a Sri Lankan Village: A Preliminary Survey*. Edinburgh, University of Edinburgh, Occasional Papers on Appropriate Technology.
- Binswanger, H. P.
 1978 *The Economics of Tractors in South Asia -An Analytical Review*. Nueva York, Agricultural Development Council, e Hyderabad, India, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Bliss, C. y N. Stern
 1978 "Productivity, Wages and Nutrition", en *Journal of Development Economics*, 5(4), pp. 331-398.
- Blitzer, C. R., P. Clark y L. Taylor
 1975 *Economy-Wide Models and Development Planning*. Oxford, Oxford University Press.
- Blitzer, C. R., y R. S. Eckhaus
 1983 *Energy-Economy Interactions in Mexico: A Multiperiod General Equilibrium Model*. Cambridge, Ma., Massachu-

- setts Institute of Technology, Working Paper MIT-EL 83-017WP.
- Blitzer, C. R.
1984 "Energy Demand in Jordan: A Case Study of Energy Economy Linkages", en *The Energy Journal*, 5(4), pp. 1-19.
- Bockris, J. O'M., D. Dandapani, D. Cocke y J. Ghoroghchian
1985 "On the Splitting of Water", en *International Journal of Hydrogen Energy*, 10(3), pp. 179-202.
- Bockris, J. O'M., y T. N. Veziroglu
1985 "A Solar-Hydrogen Energy System for Environmental Compatibility", en *Environmental Conservation*, 12(2), pp. 105-118.
- Borrini, G. y S. Margen
1984 *Human Energetics*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Bos, M. G. y J. Nugteren
1974 *On Irrigation Efficiencies*. Wageningen, Hol., International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication 19.
- British Mining Consultants Ltd.
1983a *Operational Assistance, Mechanized Longwall Mines, Coal Sector India: Progress Report 2*. Londres, Informe para la Overseas Development Administration.
1983b *Report on Further Development of Moonidih Mechanized Longwall Training Institute and Proposed Scheme of Training for Work on Mechanized Longwall Faces for Coal India Limited*. Londres, Informe para la Overseas Development Administration.
- Brooks, D.
1984 *Markets for Electricity with Efficient Application*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Brown, N. y P. Tata
1984 *Biomethanation*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Bruggink, J. J. C.
1984 *The Socio-Economic Aspects of Introducing Solar Flat Plate Collector Technology in the Sahel*. Ginebra, Organización Internacional del Trabajo, ILO Working Paper 130.
- Buchanan, M., N. Burse, K. Lewis y P. Mullen
1980 *Transport Planning for Greater London*. Aldershot, Saxon House.
- Bullard III, C. W. y R. A. Herendeen
1975 "The Energy Costs of Goods and Services", en *Energy Policy*, 3(6), pp. 268-278.
- Bullard III, C. W., D. A. Pilati y P. S. Penner
1978 "Net Energy Analysis: Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis", en *Resources and Energy*, 1, pp. 267-313.

- Cabrera, S. de, M. C. de Arriola, E. Morales y C. Rolz
 1982 "EX-FERM Ethanol Production Using Chipped Sugarcane in Packed Bed Fermenters", en *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 14, pp. 21-28.
- Cáceres, A.
 1985 "Combustion of Wood and Charcoal: Challenges to the Diffusion of Efficient Stoves and Kilns", ponencia presentada en el *Symposium on Biomass Energy Systems: Building Blocks for Sustainable Agriculture*, 29 de enero al 1º de febrero de 1985, Airlie Va.
- Campbell, B.
 1983 "Petrodollar Recycling: An Explanation and Evaluation of What Happened from Oil Shock One to the Present Time", en R. M. Bautista y S. Naya, eds., *Energy and Structural Change in the Asia Pacific Region: Papers and Proceedings of the 13th Pacific Trade and Development Conference Held in Manila, Philippines, 24-28 January 1983*. Manila, Philippine Institute for Development Studies y Asian Development Bank, pp. 447-467.
- Campos, E. V.
 1984 "Electrolytic Hydrogen: Application Feasibility in Brazil", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 1. Nueva York, Pergamon Press, pp. 313-322.
- Canada House of Commons
 1981 *Still Waters: The Chilling Reality of Acid Rain. A Report of the Subcommittee on Acid Rain of the Standing Committee on Fisheries and Forestry*. Ottawa, Department of Supply and Services.
- Carlstein, T., D. Parks y N. Thrift
 1978a *Timing Space and Spacing Time*, vol. 1: *Making Sense of Time*. Londres, Edward Arnold.
 1978b *Timing Space and Spacing Time*, vol. 2: *Human Activity and Time Geography*. Londres, Edward Arnold.
 1978c *Timing Space and Spacing Time*, vol. 3: *Time and Regional Dynamics*. Londres, Edward Arnold.
- Carlstein, T.
 1983 *Time Resources, Society and Ecology: On the Capacity for Human Interaction in Space and Time*, vol. 1: *Preindustrial Societies*. Londres, Allen and Unwin.
- Carpetis, C.
 1984 "Break-Even and Optimization Conditions for Overall Energy Systems wherein Hydrogen Storage Facilities Are Used", en T.

- N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 1. Nueva York, Pergamon Press, pp. 233-248.
- Casimir, H. B. G.
1983 «Comment on Paper Presented by R. L. Garwin (“Industrial Support for Research Mechanisms and Magnitude”)», en J. Kendrew y J. H. Shelley, eds., *Priorities in Research: Proceedings of the 4th Boehringer Ingelheim Symposium Held at Kronberg, Taunus, 12-15 May 1982*. Amsterdam, Excerpta Medica.
- Casler, S. y S. Wilbur
1984 “Energy Input-Output Analysis: A Simple Guide”, en *Resources and Energy*, 6, pp. 187-201.
- Cecelski, E.
1984 *The Rural Energy Crisis, Women’s Work and Family Welfare: Perspectives and Approaches to Action*. Ginebra, Organización Internacional del Trabajo, Programa Mundial para el Empleo, Research Working Paper WEP10/WP35.
- Clifford, T. E. y W. J. Mead
1984 “The External Costs of Electricity Power from Coal-Fired and Nuclear Power Plants”, ponencia preparada para la reunión de la International Association of Energy Economists, 4-7 de enero de 1984, Nueva Delhi, India.
- Cole, D. E. y D. J. Patterson
1983 “Future Trends of U. S. Passenger Car Engines”, ponencia presentada en la Mesa Redonda “Development in Transportation Fuels” del *11th World Petroleum Congress*, Londres, en *Preprint of the 11th World Petroleum Congress, RTD6*. Londres. Chichester, John Wiley and Sons.
- Colitti, M.
1985 “Oil Industry Participation in Natural Gas Development”, en *Energy*, 10(2), pp. 151-156.
- Collier, H.
1984 *Developing Electric Power*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.
- Collins, R. E.
1985 “Medium Temperature Solar Thermal Systems”, en E. Bilgen y K. G. T. Hollands, eds., *Intersol 85 —Extended Abstracts—Biennial Congress of the International Solar Energy Society, 23-29 June 1985, Montreal, Quebec*. Montreal, International Solar Energy Society/Solar Energy Society of Canada Inc.

- Commission of European Communities
 1983 *Scénarios à l'horizon 2000: une étude du marché de l'énergie dans la Communauté Européenne*. Bruselas, CEC.
- 1984 *Energy and Development. What Challenges? Which Methods? Synthesis and Conclusions*. París, Lavoisier.
- Coombs, J., D. O. Hall y P. Chartier
 1983 "Plants as Solar Collectors: Optimizing Productivity for Energy—An Assessment Study", en *Solar Energy R&D in the European Community*, serie E, vol. 4: *Energy from Biomass*. Dordrecht, D. Reidel.
- Cooper, C.
 1973 *Science, Technology and Development: The Political Economy of Technical Advance in Underdeveloped Countries*. Londres, Frank Cass.
- Costanza, R. y R. A. Herendeen
 1984 "Embodied Energy and Economic Value in the United States Economy: 1963, 1967 and 1972", en *Resources and Energy*, 6, pp. 129-163.
- Chamberlain, J.
 1981 *The Physic and Chemistry of Acid Precipitation*. Menlo Park, Ca., SRI International, Technical Report JSR-81-25.
- Charney, J., P. H. Stone y W. J. Quirck
 1975 "Draught in the Sahara: A Biogeophysical Feedback Mechanism", en *Science*, 187(4175), p. 434.
- Chateau, B. y B. Lapillone
 1978 "Long-Term Energy Demand Forecasting: A New Approach", en *Energy Policy*, 6(2), pp. 140-157.
- 1979 "Long-Term Energy Demand Simulation", en A. Strub, ed., *Energy Models for the European Community*, Guildford, IPC Science and Technology Press, pp. 120-128.
- 1984 *La Simulation des actions et investissements de maîtrise de l'énergie pour l'industrie et le chauffage des logements dans le modèle MEDEE3-ME*. Grenoble, Institut Économique et Juridique de l'Énergie. Borrador.
- Chile, Comisión Nacional de Energía
 1982 *Balance de Energía, 1961-1980*. Santiago, Comisión Nacional de Energía.
- Choucri, N. y S. Lahiri
 1984 "Short-Run Energy-Economy Interactions in Egypt", en *World Development*, 12(8), pp. 799-820.
- Christensen, L., D. W. Jorgenson y L. J. Lau
 1973 "Transcendental Logarithmic Production Frontiers", en *Review of Economics and Statistics*, 55, pp. 28-45.

- Chung, K.
1985 *Issues of Civilian Nuclear Technology Policy in Developing Countries*. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC project file 3-A-78-4120.
- Deaton, A.
1978 "Specification and Testing in Applied Demand Analysis", en *Economic Journal*, 88(3), pp. 524-536.
- Deaton, A. y J. Muellbauer
1980 *Economics and Consumer Behaviour*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Demos, J. y S. S. Boocock, eds.
1978 "Turning Points: Historical and Sociological Essays on the Family", en *American Journal of Sociology*, Suplemento 84.
- Deolalikar, A. B. y Vijverberg, W. P. M.
1983 "The Heterogeneity of Family and Hired Labour in Agricultural Production: A Test Using District-Level Data from India", en *Journal of Economic Development*, 8(2), pp. 45-69.
- Desai, A. V.
1985 *Ends and Means in Rural Energy Surveys*. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC-MR112e.
- Desai, N.
1984 *Atoms for Peace, Atoms for War, Atoms for Profit*. Ottawa, International Development Research Centre. Mimeo.
- Doniat, D. y R. Rouget
1984 "Étude d'une pile alcaline H₂O₂ pour le vehicule orbital récupérable Hermes", en *Entropie*, 20(116-117), pp. 79-81.
- Dorado, H. J.
1985 "Strategies for Cooperation in Petroleum Exploration and Development among Developing Countries", ponencia presentada en el Simposio de la Organización de las Naciones Unidas *Financing of Petroleum Exploration and Development in Developing Countries*, 22-27 de abril de 1985, Atenas, Grecia.
- Dowdy, M. W.
1983 "Advanced Automotive Heat Engines", en R. A. Meyers, ed., *Handbook of Energy Technology and Economics*, Nueva York, John Wiley and Sons, pp. 1003-1031.
- Dryden, I. G. C.
1982 *The Efficient Use of Energy*, 2a. ed. Londres, Butterworth Scientific Publications.
- Du Toit, R. F., B. M. Campbell, R. A. Haney y D. Dore
1984 *Wood Usage and Tree Planting in Zimbabwe's Communal Lands: A Baseline Survey of Knowledge, Attitudes and Practi-*

- ces, informe para la Forestry Commission de Zimbabwe y el World Bank. Harare, Resources Studies.
- Duersten, A. L.
1983 *External Financing for Energy in the Developing Countries*. Washington, World Bank, Energy Department Paper 8.
- Dumont, R.
1957 *Types of Rural Economy: Studies in World Agriculture*. Londres, Methuen.
- Edmonds, J. y J. M. Reilly
1985a *Global Energy: Assessing the Future*, Nueva York, Oxford University Press.
1985b *Uncertainty in Carbon Emissions: Report of the Carbon Dioxide Emissions Project*. Oak Ridge, Tn., Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated University. Mimeo.
- Egnéus, H. y A. Ellegård, eds.
1985 *Bioenergy 84: Proceedings of an International Conference on Bioenergy Held on 15-21 June 1984 at the Swedish Trade Fair Centre, Göteborg, Sweden (5 vols.)*. Londres, Elsevier.
- El Salvador, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa
1980 *Balance energético nacional*. San Salvador, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
- Fein, E.
1982 "An Assessment of Nonfossil Hydrogen", en T. N. Veziroglu, ed., *Alternative Energy Sources IV*, vol. 5: *Nuclear, Hydrogen, Biogas*. Ann Arbor, Mi., Ann Arbor Science Publishers, pp. 265-282.
1985 "Hydrogen: An Accommodating Fuel", en *International Journal of Hydrogen Energy*, 10(5), pp. 281-290.
- Fettweis, G. B.
1984 "Some Remarks on Coal and Development", en *Bergund Hüttenmännische Monatshefte*, 129(10), pp. 379-385.
- Foley, G. y G. Barnard
1982 *Biomass Gasification in Developing Countries. Final Report to the World Bank*. Londres, Earthscan.
- Foley, G. y P. Moss
1983 *Improved Cooking Stoves in Developing Countries*. Londres, Earthscan.
- Fondo Monetario Internacional
1984 *International Financial Statistics Yearbook*. Washington, FMI.
- Foster, J.
1985 "Petroleum Exploration and Development Trends in the Developing Countries", ponencia presentada en el Simposio de la

Organización de las Naciones Unidas *Financing of Petroleum Exploration and Development in Developing Countries*, 22-27 de abril de 1985, Atenas, Grecia.

Freeman, C.

1982 *The Economics of Industrial Innovation*. Londres, Frances Pinter.

Freeman, C., J. Clark y L. Soete

1982 *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. Londres, Frances Pinter.

Fridleifsson, I. B.

1984 *Geothermal Energy Exploration and Utilization*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.

Gaines, L. L. y A. M. Wolsky

1984 "Economics of Hydrogen Production: The Next Twenty-five Years", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 1. Nueva York, Pergamon Press, pp. 259-270.

Gelin, P. y G. Petit

1980 "Évolution du marché de l'hydrogène au cours des 25 prochaines années", en A. A. Strub y G. Imarisio, eds., *Hydrogen as an Energy Vector: Proceedings of the International Seminar, Held in Brussels, 12-14 February 1980*. Dordrecht, D. Reidel, pp. 664-674.

Georgescu-Roegen, N.

1976 *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*. Nueva York, Pergamon Press.

Gibbons, J.

1984 "Capital-Energy Substitution in the Long Run", en *The Energy Journal*, 5(2), pp. 109-118.

Glantz, M. N.

1977 "The U. N. and Desertification: Dealing with a Global Problem", en M. N. Glantz, ed., *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Co., Westview Press, pp. 1-16.

Goblirsch, G. M. y R. D. Talty

1980 "Recent Developments in Fluidized Bed Combustion Technology for Lignites and Subbituminous Coals in the U. S. A.", en *Fluidized Combustion: Systems and Applications*. Londres, Graham and Trotman, Institute of Energy Symposium Series 4, vol. III, IA-4-1-IA-4-9.

- Gold, T.
1985 "The Origin of Natural Gas and Petroleum, and the Prognosis for Future Supplies", en *Annual Review of Energy*, 10, pp. 53-78.
- Goldberger, A. S.
1967 *Functional Form and Utility: A Review of Consumer Demand Theory*. Madison, Wi., Social Systems Research Institute, University of Wisconsin. Systems Formulation, Methodology and Policy Workshop, Paper 6703.
- Goldemberg, J., R. Y. Hukai, C. A. Scarpinella, E. N. Kaneko, E. R. Ueki *et al.*
1984 "Country Study-Brazil. A Study on End-Use Energy Strategy", estudio presentado en el Taller Internacional *End-Use Oriented Energy Strategy*, 4-15 de junio de 1984, São Paulo, Brasil.
- Goldemberg, J., T. B. Johansson, A. K. N. Reddy y R. H. Williams
1985 *Energy for a Sustainable World* (2 vols.). Princeton, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University. Mimeo.
- Gordon, A.
1984 *Guide to World Coal Markets*. Arlington, Va., Pasha Publications.
- Govinda Raju, S. P. y R. Narasimha
1980 "A Low-Cost Waterpumping Windmill Using a Sail Type Savonius Rotor", en A. K. N. Reddy, ed., *Rural Technology*. Bangalore, Indian Academy of Sciences, pp. 163-178.
- Grainger, L. y J. Gibson
1981 *Coal Utilization: Technology, Economics and Policy*. Londres, Graham and Trotman.
- Greene, R. P. y J. M. Gallagher
1980 *World Coal Study: Coal-Bridge to the Future*. Cambridge, Ma., Ballinger.
- Griffin, J. y P. Gregory
1976 "An Inter-Country Translog Model of Energy Substitution Responses", en *American Economic Review*, 66(5), pp. 845-857.
- Häfele, W., J. Anderer, A. McDonald y N. Nakicenovic
1981 *Energy in a Finite World: Paths to a Sustainable Future*. Cambridge, Ma., Ballinger.
- Haines, B., C. Jordan, H. Clark y K. E. Clark
1983 "Acid Rain in an Amazon Rain Forest", en *Tellus*, 35B(1), pp. 77-80.
- Halbouty, M. T.
1983 "Reserves of Natural Gas Outside Communist Block Countries", ponencia presentada en el Panel "World Reserves of

- Natural Gas” del *11th World Petroleum Congress*, Londres, en *Preprint of the 11th World Petroleum Congress, PD12*. Chichester, John Wiley and Sons.
- Hall, D. O.
1984 “Biomass: Fuel versus Food, A World Problem?”, en N. S. Margaris, M. Arianoustou-Faraggitaki y W. C. Oechel, eds., *Being Alive on Land: Proceedings of the International Symposium on Adaptation to the Terrestrial Environment, Held in Halkidiki, Greece, 1982*. La Haya, Dr. W. Junk.
- Hamakawa, Y.
1985 “Recent Advances in Amorphous Silicon Solar Cells and Their Technologies”, en E. Bilgen y K. G. T. Hollands, eds., *Intersol 85-Extended Abstracts-Biennial Congress of the International Solar Energy Society, 23-29 June 1985, Montreal, Quebec*. Montreal, International Solar Energy Society/Solar Energy Society of Canada Inc.
- Hansen, J., G. Russell, A. Lacis, I. Fung, D. Rind y P. Stone
1985 “Climate Response Times: Dependence on Climate Sensitivity and Ocean Mixing”, en *Science* 229(4716), pp. 857-859.
- Harris, M.
1977 *Cannibals and Kings: The Origins of Cultures*. Nueva York, Random House.
- Harte, J.
1982 “New Developments in Acid Precipitation Research”, en S. W. Yuan, ed., *Energy, Resources and Environment: Papers Presented at the First U. S.-China Conference, 7-12 November 1982*. Nueva York, Pergamon Press.
- Hayami, Y. y V. W. Ruttan
1971 *Agricultural Development: An International Perspective*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.
- Hossain, K.
1979 *Law and Policy in Petroleum Development: Changing Relations between Transnationals and States*. Londres, Frances Pinter.
- Houthakker, H.
1957 “An International Comparison of Household Expenditure Patterns Commemorating the Centenary of Engel’s Law”, en *Econometrica*, 25(3), pp. 532-551.
- Howard, J. R.
1979 “A Technology for Helping to Alleviate the Energy Problems-Fluidized Bed Combustion and Heat Transfer”, en P. W. O’Callaghan. ed., *Energy for Industry: A Collection of Scientific and Engineering Papers Concerned with Utilising Energy*

- with Maximum Efficiency in Industry*. Oxford, Ing., Pergamon Press., pp. 111-129.
- Howes, M.
1985 *Rural Energy Surveys in the Third World: A Critical Review of Issues and Methods*. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC-MR107e.
- Hubbert, M. K.
1962 *Energy Resources: A Report to the Committee on Natural Resources*. Washington, National Academy of Sciences-National Research Council, pub. 1000-D.
- Hudson, E. A. y D. W. Jorgenson
1974 "U. S. Energy Policy and Economic Growth", en *Bell Journal of Economics*, 5(2), pp. 461-514.
- Hughart, D.
1979 *Prospects for Traditional and Non-Conventional Energy Sources in Developing Countries*. Washington, World Bank.
- Humphreys, G. C.
1977 "Methanol Production and Fuel Methanol vs. LNG", en D. M. Considine, ed., *Energy Technology Handbook*. Nueva York, McGraw-Hill, pp. 2-120-2-132.
- Hurst, C.
1984 *Energy for Small-Scale Engines: A Review of Potential Energy Sources*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Instituto de Economía Energética
1982 *Methodology for the Evaluation of Energy Requirements in the Developing Countries*. Buenos Aires, Fundación Bariloche. Mimeo.
1983 *Latin American Integral Energy Balances—Second Report*. Buenos Aires, Fundación Bariloche. Mimeo.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
1981 *Potencial de biomassas vegetais para fins energéticos no estado de São Paulo*. São Paulo, Companhia Energética de São Paulo.
- Instituto Nacional de Energía
1984 *Perspectivas energéticas para el año 2000: escenarios de evolución de la demanda*. Quito, Instituto Nacional de Energía.
- Intermediate Technology Power Ltd.
1983 *Wind Technology Assessment Study*, vol. 1: *Wind Study Report*. Mortimer Hill, Intermediate Technology Power Ltd.
- International Energy Agency
1979a *Workshop on Energy Data of Developing Countries, December 1978 — Proceedings*, vol. 1: *Summary of Discussions and Technical Papers*. París, OCDE.

- 1979b *Workshop on Energy Data of Developing Countries, December 1978 — Proceedings*, vol. *Basic Energy Statistics and Energy Balances of Developing Countries*. París, OCDE.
- 1982a *The Use of Coal in Industry. Report by the Coal Industry Advisory Board*, IEA. París, OCDE.
- 1982b *World Energy Outlook*. París, OCDE.
- 1984 *Energy Balances of Developing Countries, 1971-1982*. París, OCDE.
- Isaza, J. F.
1984 "Solar Energy in the Tropics", en Y. Lambert, D. Fall y J. F. Isaza, *Renewable Energy Resources*. Ottawa, Energy Research Group, ERG-MR3e.
- Jenkins, D. M., B. R. Allen y T. S. Reddy
1982 *Evaluation of the EX-FERM Process to UNIDO*. Viena, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
- Julius, D.
1985 *Natural Gas Utilization Studies: Methodology and Application*. Washington, World Bank, Energy Department Paper 24.
- Kahane, A.
1985 *Economic Aspects of the Brazilian Alcohol Program*, tesis MA. Berkeley, Ca., University of California.
- Kamien, M. I. y N. L. Schwartz
1982 *Market Structure and Innovation*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Karch, E. G. y M. Boutette
1983 *Charcoal: Small Scale Production and Use*. Eschborn, R. F. A., German Appropriate Technology Exchange/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- Kaupp, A. y J. R. Goss
1984 *State of the Art for Small-Scale (up to 50 kW) Gas Producer-Engine Systems*. Informe para el USDA Forest Service. Allenspark, Co., Tipi Workshop Books.
- Kellogg, W. M. y S. H. Schneider
1977 "Climate, Desertification, and Human Activities", en M. N. Glantz, ed., *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Co., Westview Press, pp. 141-164.
- Kettani, M. A.
1982 "Photovoltaics in the Arab World", en *Solar Cells*, 6(3), pp. 239-249.
- Keynes, J. M.
1936 *General Theory of Employment, Interest and Money*. Londres, Macmillan.

Khatib, H.

- 1983 "Availability of Thermal Generating Plant in Developed and Less Developed Countries", ponencia presentada en el Grupo de Trabajo "Availability of Thermal Generating Plant" en el *12th Congress of the World Energy Conference*, 18-23 Septiembre 1983, Nueva Delhi.

Klass, D. L.

- 1982 *Energy from Biomass and Wastes, VI*. Ponencias presentadas en el simposio del 25 al 29 de enero de 1982 (dirigido por D. L. Klass), Lake Buena Vista, Florida. Chicago, Institute of Gas Technology.

Koide, S., R. B. Brooks y T. Vicharangsang

- 1982 *Regional Study on Production of Fuel Ethanol from Agro-Products*. Bangkok, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.

Kristoferson, L. V. Bokalders y M. Newman

- 1984 *Renewable Energy for Developing Countries: A Review*, vol. D: *Solar, Wind, Hydro*, etc. Estocolmo, The Beijer Institute.

Ladomatós, N. N. J. D. Lucas y W. Murgatroyd

- 1978 "Industrial Energy Use, I: Power Losses in Electrically Driven Machinery", en *Energy Research*, 2, pp. 179-196.

Ladomatós, N. N. J. D. Lucas, W. Murgatroyd y B. C. Wilkins

- 1979 "Industrial Energy Use, II: The Prospects for Providing Motive Power in a Machine Tool Shop from a Centralized Hydraulic System", en *Energy Research*, 3, pp. 19-28.

Lapillone, B.

- 1983 "The MEDEE Approach and Its Application to Developing Countries", en H. Neu y D. Bain, eds., *National Energy Planning and Management in Developing Countries*. Dordrecht, D. Reidel, pp. 271-298.

Laslett, P. R. Wall

- 1972 *Household and Family in Past Time*. Cambridge, Cambridge University Press.

Leach, G.

- 1985 *Energy and Food Production*. Guildford, IPC Science and Technology Press.

Leach, G., L. Jarass, L. Hoffmann y G. Obermair

- 1986 *Energy and Growth: A Comparison of Five Industrialized and Eight Developing Countries*. Guildford, Butterworth Scientific.

Le Houérou, H. N.

- 1977 "The Nature and Causes of Desertification", en M. H. Glantz, ed., *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Co., Westview Press, pp. 17-38.

Leibenstein, H.

1957 *Economic Backwardness and Economic Growth*. Nueva York, John Wiley and Sons.

Lepeleire, G. de, K. Krishna Prasad, P. Verhaart y P. Visser

1981 *A Woodstove Compendium*. Eindhoven, Hol., Woodburning Stove Group, Eindhoven University of Technology.

Li Jing-ding, Lu Ying-qing y Du Tian-shen

1984 "Improvement in the Combustion of Hydrogen-Fueled Engines", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 4. Nueva York, Pergamon Press, pp. 1579-1593.

Long, R.

1982 *Constraints on International Trade in Coal*. Londres, IEA.

Lovins, A. B.

1977 *Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace*. Nueva York, Harper and Row.

Luque, A.

1984 *Photovoltaic Solar Electricity in Developing Countries*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.

Lluch, C. et al.

1977 *Patterns in Household Demand and Saving*. Oxford, Oxford University Press.

Mack, R. P. y T. J. Leigland

1982 "Optimizing in Households toward a Behavioral Theory", en *American Economic Review*, 72(2), pp. 103-105.

Mahin, D. B.

1984 *Bioenergy Systems Report: Downdraft Gasifier Engine Systems*. Washington, U. S. Agency for International Development.

Makhijani, A. y A. Poole

1975 *Energy and Agriculture in the Third World*. Cambridge, Ma., Ballinger.

Maly, R.

1983 "General Prospects of Improving Combustion Efficiency of I. C. Engines", ponencia especial presentada en el *11th World Petroleum Congress*, Londres, en *Preprint of the 11th World Petroleum Congress, SP14*. Chichester, John Wiley and Sons.

Manibog, F. R.

1984 "Improved Cooking Stoves in Developing Countries: Problems and Opportunities", en *Annual Review of Energy*, 9, pp. 199-227.

Martín, W. F. y F. J. P. Pinto

1979 "A Perspective on Existing and Contemplated Methodologies for Analysing Developing Country Energy Prospects", en

Workshop on Energy Data of Developing Countries, December 1978, vol. 1. París, OCDE.

Masters, C. D.

1983 "Distribution and Quantitative Assessment of World Petroleum Reserves and Resources", ponencia presentada en el Panel "World Reserves of Crude Oil" del *11th World Petroleum Congress*, Londres, en *Preprint of the 11th World Petroleum Congress, PD11*. Chichester, John Wiley and Sons.

Mathur, S. P.

1980 "Underground Mine Mechanisation: Appropriateness of Intermediate Technology for Coal Industry", ponencia presentada en el *National Seminar on Mining Policies and Programmes*, 23 de noviembre de 1980, Dhanbad, India, Central Mining Research Station.

Mattos, M. C.

1985 "National Hydrogen Energy Programme in Brazil", *International Journal of Hydrogen Energy*, 10(9), pp. 601-606.

McCaslin, J. C. (ed.)

1983 *International Petroleum Encyclopedia*. Tulsa, Ok., PennWell.

McNelis, B. y P. Fraenkel

1984 *Solar and Wind Technologies for Developing Countries: Current Status and Anticipated Development*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.

Meier, R. L.

1974 *Planning for an Urban World: The Design of Resource-Conserving Cities*. Cambridge, Ma., MIT Press.

Menard, H. W.

1971 *Science: Growth and Change*. Cambridge, Ma., Harvard University Press.

Mendeleiev, D. I.

1877 "L'Origine du pétrole", en *Revue de Science*, 2e série, 7e année, 18, pp. 409-416.

Merriam, M.

1984 *Use of Wind for Electricity Generation*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.

Meta Systems Inc.

1980 *State-of-the-Art Review of Economic Evaluation of Non-Conventional Energy Alternatives*, informe preparado para el U. S. Department of Agriculture. Cambridge, Ma., Meta Systems, Inc.

1982 *An Examination of the Substitution of Woody Biomass Based Fuels for Oil in the Industrial Sectors of Costa Rica*. Cambridge, Ma., Meta Systems Inc.

Metals Society, The

- 1981 *Energy-Conscious Iron- and Steel-Making*, actas de una conferencia internacional organizada por The Metals Society de Londres y el Verein Eisenhütte Österreich de Leoben en la Montanuniversität, Leoben, Austria, del 21 al 24 de abril de 1980. Londres, The Metals Society.

Meyers, R. A., ed.

- 1983 *Handbook of Energy Technology and Economics*. Nueva York, John Wiley and Sons.

Moavenzadeh, F. y D. Geltner

- 1984 *Transportation, Energy and Economic Development: A Dilemma in the Developing World*. Amsterdam, Elsevier.

Moles, F. D.

- 1984 "The Economic Management of Energy in the World's Cement Industry", en A. Reis, J. L. Peube, I. Smith y K. Stephan, eds., *Energy Economics and Management in Industry: Proceedings of the European Congress, Algarve, Portugal, 2-5 April 1985*, vol. 2: *Energy Management*. Oxford, Pergamon Press.

Moscoso, S. y A. A. R. Barbalho

- 1983 *Modelo Maben—versao I: Metodologia para projeção de curto prazo e análise de balanços energéticos*. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Secretaria de Tecnologia.

Mubayi, V., y P. M. Meier

- 1981 *Energy Models for Developing Countries: A Comparative Assessment*. Upton, N. Y., Brookhaven National Laboratory.

Mudahar, M. S. y T. P. Hignett

- 1982 *Energy and Fertilizer: Policy Implications and Options for Developing Countries*. Muscle Shoals, Al., International Fertilizer Development Center.

Müller, M., K. Maher y S. Rath-Nagel

- 1982 *Energy Technology Systems Analysis Project, Summary Report on Technology Characterizations*. París, IEA.

Munasinghe, M.

- 1979 *The Economics of Power System Reliability and Planning*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.
- 1980 *Energy in Sri Lanka*. Colombo, Sri Lanka Association for the Advancement of Science.
- 1983 "Third World Energy Policies: Demand Management and Conservation", en *Energy Policy*, 11(1), pp. 4-18.
- 1984a "Energy Strategies for Oil-Importing Developing Countries", en *Natural Resources Journal*, 24(2), pp. 351-368.

- 1984b *A Framework for Establishing Energy Research and Development (R&D) Policies and Priorities in a Developing Country*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- 1986 *Rural Electrification: Analysis and Policy Applications*. Boulder, Co., Westview Press.
- Munasinghe, M. y G. Schramm
1983 *Energy Economics, Demand Management and Conservation Policy*. Nueva York, Van Nostrand Reinhold.
- Munasinghe M. y J. J. Warford
1982 *Electricity Pricing: Theory and Case Studies*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.
- Munasinghe, M. y W. G. Scott
1982 *Energy Efficiency: Optimization of Electric Power System Losses*. Washington, World Bank.
- Munasinghe, M., M. Dow y J. Fritz (eds.)
1985 *Microcomputers for Development: Issues and Policy*. Colombo, Computer and Information Technology Council of Sri Lanka, y Washington, National Academy of Sciences.
- Mwandosya, M. J., S. Lwakabamba y S. R. Nkonoki
1983 *Proceedings of the Regional Workshop on Energy for Development in Eastern and Southern Africa*, vol. II: *Workshop Papers*. Taller Regional "Energy for Development in Eastern and Southern Africa", 4-13 de abril de 1983, Universidad de Lund, Lund, Suecia.
- Natarajan, I.
1985 *Domestic Fuel Survey with Special Reference to Kerosene*, vol. 1. Nueva Delhi, National Council of Applied Economic Research.
- National Research Council
1983a *Changing Climate: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee*. Washington, National Academy Press.
1983b *Producer Gas: Another Fuel for Motor Transport*. Washington, National Academy Press.
- Nema, S. K., K. V. C. Rao, V. N. Krishnamurthy, V. Swaminathan, V. Mitra y V. R. Gowariker
1984 "Speed—A Solid Polymer Electrolyte Electrolizer Development Programme for Electrolytic Generation of Hydrogen", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 1. Nueva York, Pergamon Press, pp. 373-382.
- Neto, C., J. Cravo, A. de Sousa, H. Bagueuier, A. Martins *et al.*
1980 *A procura de energia em Portugal (cenários alternativos)*. Lisboa, Direção Geral da Energia.

- Newbery, D. M. G. y N. H. Stern
1985 *The Theory of Taxation for Developing Countries*. Washington, World Bank. Mimeo.
- North, F. K.
1982 "Review of Thomas Gold's Deep-Earth-Gas Hypothesis", en *Energy Exploration and Exploitation*, 1(2), pp. 105-110.
- Ocampo, R. B.
1982 *Lox-Cost Transport in Asia: A Comparative Report on Five Cities*. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC-183e.
- Odell, P. R.
1984 "The Oil Crisis: Its Nature and Implications for Developing Countries", en D. C. Ion, P. R. Odell y B. Massaver, *The Oil Prospect*. Ottawa, Energy Research Group, ERG-MR1e, pp. 23-45.
- Odum, H. T. y E. C. Odum
1976 *Energy Basis for Man and Nature*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Ohta, T. J. E. Funj, J. D. Porter y B. V. Tilak
1985 "Hydrogen Production from Water: Summary of Recent Research and Development Presented at the 5th World Hydrogen Energy Conference", en *International Journal of Hydrogen Energy*, 10(9), pp. 571-576.
- Organización de las Naciones Unidas
1981 *Report of the United Nations Conference on New and Renewable Sources of Energy. United Nations Conference on New and Renewable Sources of Energy, 10-21 August 1981, Nairobi, Kenya*. Nueva York, ONU, Report A/CONF.100/11.
1984 *Yearbook of International Trade Statistics - vol. 1: Trade by Country*. Nueva York, ONU.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
1985 *Use and Conservation of Energy in the Cement Industry*, Viena, ONUDI, Sectorial Working Paper Series 31.
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
1956 *Wind Power and Solar Energy: Proceedings of the New Delhi Symposium*. París, UNESCO.
- Organización Internacional del Trabajo
1974 *Mechanization and Employment in Agriculture: Case Studies from Four Continents*. Ginebra, OIT.
- Organización Latinoamericana de Energía
1981 *Balances energéticos de América Latina*. Quito, OLADE.
- Organización para la Alimentación y la Agricultura
1978 *Improved Use of Plant Nutrients*, informe de la Consulta de Expertos "Better Exploitation of Plant Nutrients" celebrada en Roma del 18 al 22 de abril de 1977. Roma, FAO, *Soils Bulletin* 37.

- 1983 *Simple Technologies for Charcoal Making*, Roma, FAO.
- 1984 *1983 FAO Production Yearbook*, vol. 37. Roma, FAO.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- 1973 *Proceedings of the Symposium on Techniques of Improving Urban Conditions by Restraint of Road Traffic*. París, OCDE.
- Ostrovski, C. M., J. Aitken y D. Free
- 1985 "New Developments in Fuel Ethanol Production by Gaseous Anhydrous Hydrofluoric Acid (HF) Hydrolysis of Hardwood *Populustremuloides*", en H. Egnéus y A. Ellegård, eds., *Bioenergy 84: Proceedings of an International Conference on Bioenergy Held on 15-21 June 1984 at the Swedish Trade Fair Centre, Gotéborg, Sweden*, vol. III: *Biomass Conversion*. Londres, Elsevier, pp. 181-187.
- Ozatalay, S., S. Grubaugh y T. Veach Long II
- 1979 "Energy Substitution and National Energy Policy", en *American Economic Review*, 69(2), pp. 369-371.
- Parra, F. R.
- 1983 "Petroleum Exploration in the Developing Countries, 1971-1981: Results and Expectations", ponencia presentada en el Panel "World Reserves of Crude Oil" del *11th World Petroleum Congress*, Londres, en *Preprint of the 11th World Petroleum Congress*, PD11. Chichester, John Wiley and Sons.
- Passmore, R. y J. V. G. A. Durnin
- 1955 "Human Energy Expenditures", en *Physiological Review*, 35, pp. 801-840.
- Pathak, B. S., M. L. Gupta, S. L. Jindal, D. Singh y A. P. Bhatnagar
- 1980 *Energy Balance and Utilization of Agricultural Waste on a Farm*. Ludhiana, India, Department of Processing and Agricultural Structures, College of Agricultural Engineering, Punjab Agricultural University.
- Patterson, W. C. y P. Griffin
- 1978 *Fluidized Bed Energy Technology: Coming to a Boil*. Nueva York, Inform.
- Pavitt, K.
- 1984 "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", en *Research Policy*, 13(6), pp. 343-374.
- Peng, S. S. y H. S. Chiang
- 1984 *Longwall Mining*. Nueva York, John Wiley and Sons.
- Perry, A. M., K. J. Araj, W. Fullerson, D. J. Rose, M. M. Miller y R. M. Rotty.
- 1982 "Energy Supply and Demand Implications of CO₂", en *Energy*, 7(12), pp. 991-1004.

Piepers, G. G.

- 1985 "Wind Energy: Current Status and Prospects", en E. Bilgen y K. G. T. Hollands, eds., *Intersol 85 —Extended Abstracts—Biennial Congress of the International Solar Energy Society, 23-29 June 1985, Montreal, Quebec*. Montreal, International Solar Energy Society/Solar Energy Society of Canada, Inc.

Pimentel, D.

- 1980 *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. Boca Raton, Fl., CRC Press.

Pindyck, R. S.

- 1979 "Interfuel Substitution and the Industrial Demand of Energy: An International Comparison", en *Review of Economics and Statistics*, 61(2), pp. 169-179.
- 1980 *The Structure of World Energy Demand*, Cambridge, Ma., MIT Press.

Poersch, W. y G. Zabesck

- 1980 "Fluidized Combustion of Fuels with Different Ash Contents", en *Fluidized Combustion: Systems and Applications*. Londres, Graham and Trotman, Institute of Energy Symposium Series 4, vol. III, 1A-4-1-1A-4-9.

Poleman, T. T. y D. K. Freebairn

- 1973 *Food, Population and Employment—The Impact of the Green Revolution*. Nueva York, Praeger.

Pollak, R. A.

- 1985 "A Transaction Cost Approach to Families and Households", en *Journal of Economic Literature*, 23(2), pp. 581-608.

Pollak, R. A. y M. L. Wachter

- 1975 "The Relevance of the Household Production Function and Its Implications for the Allocation of Time", en *Journal of Political Economy*, 83(2), pp. 255-277.

Pollak, R. A. y T. J. Wales

- 1978 "Estimation of Complete Demand Systems from Household Budget Data: The Linear and Quadratic Expenditure Systems", en *American Economic Review*, 68, pp. 348-359.

Postel, S.

- 1984 *Air Pollution, Acid Rain, and the Future of Forests*. Washington, Worldwatch Institute, Worldwatch Paper 58.

Prado, L. T. S.

- 1981 "A utilização do modelo MEDEE na avaliação da demanda de energia no Brasil", en *Estudios Económicos*, 11 (número especial).

- Prasad, K. K.
 1983 *Woodburning Stoves: Their Technology and Deployment*. Ginebra, Technology and Employment Programme, Organización Internacional del Trabajo, ILO Working Paper 115.
- Price, W. J. y L. W. Bass
 1969 "Scientific Research and the Innovative Process", en *Science*, 164(3881), pp. 802-806.
- Pryor, F. L.
 1977 *The Origin of the Economy: A Comparative Study of Distribution in Primitive and Peasant Economies*. Nueva York, Academic Press.
- Québec, Ministère de l'Énergie et Ressources
 1984 *L'Implantation de MEDEE-3 au Québec: la méthodologie et les résultats*. Québec, Ministère de l'Énergie et Ressources.
- Quraeshi, S., B. M. Pederson y A. Sayigh
 1984 "Wind Turbine Generators: State-of-the-Art", en *Solar and Wind Technology*, 1(1), pp. 37-48.
- Ramanathan, V., R. J. Cicerone, H. B. Singh y J. T. Kiehl
 1985 "Trace Gas Trends and Their Potential Role in Climate Change", en *Journal of Geophysical Research*, 90(D3), pp. 5547-5566.
- Ramaswamy, N. S.
 1979 *The Modernization of the Bullock-Cart System and the Management of Animal Energy Resources. Background Papers to an Address Delivered on 22 January 1979 at the 39th Annual Meeting of the Indian Roads Congress, Bangalore*. Bangalore, India, Indian Institute of Management.
- Ramsay, W.
 1979 *Unpaid Costs of Electrical Energy: Health and Environmental Impacts from Coal and Nuclear Power. A Study for the National Energy Strategies Project of Resources for the Future*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.
- Rand, W. M. y N. S. Scrimshaw
 1984 "Protein and Energy Requirements: Insights from Long-Term Studies", en *Bulletin of the Nutrition Foundation of India*, 5(4), pp. 1-2.
- Ray, R.
 1980 "Analysis of a Time Series of Household Expenditure Surveys for India", en *Review of Economics and Statistics*, 62(4), pp. 595-602.
- Reddy, A. K. N.
 1978 "Energy Options for the Third World - Part II", en *Bulletin of Atomic Sciences*, 34, pp. 28-33.

- 1982 "Rural Energy Consumption Patterns - A Field Study", en *Biomass*, 2, pp. 255-280.
- 1985 *The Energy and Economic Implications of Agricultural Technologies: An Approach Based on the Technical Options for the Operations of Crop Production*. Ginebra, International Labour Office, Working Paper 2-22/WP149.
- Reddy, A. K. N. y B. S. Reddy
 1983 "Energy in a Stratified Society. Case Study of Firewood in Bangalore", en *Economic and Political Weekly*, 18(410), pp. 1757-1770.
- Reed, T. B., ed.
 1981 *Biomass Gasification: Principles and Technology*. Park Ridge, N. J., Noyes Data Corporation.
- Robinson, J.
 1947 *Essays in the Theory of Employment* (2a. ed.). Oxford, Blackwell.
- Rogers, P.
 1983 "Irrigation and Economic Development: Some Lessons from India", en K. C. Nobe y R. K. Sampath, eds., *Issues in Third World Development*. Boulder, Co., Westview Press, pp. 347-373.
- Rolz, C., S. de Cabrera, F. Calzada, R. García, R. de León, M. del C. de Arriola, F. de Micheo y E. Morales
 1983 "Concepts on the Biotransformation of Carbohydrates into Fuel Ethanol", en A. Mizrahi y A. L. Van Wezel, eds., *Advances in Biotechnological Processes*, vol. 1. Nueva York, Alan R. Liss, pp. 97-142.
- Rosa, R. J.
 s.f *Discussion of an Automotive Engine Designed for the Direct Use of Low-Grade Fuels*. Bozeman, Mt., Mechanical Engineering Department, Montana State University.
- Ross, R. J. P.
 1984 *Petroleum Exploration and Production in Developing Countries*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Rotty, R. M.
 1983 "A Current View of Atmospheric CO₂", en P. Auer y D. Douglas, eds., *Advances in Energy Systems and Technology*, vol. 4. Nueva York, Academic Press, pp. 1-37.
- Rowley, J. C.
 1982 "Worldwide Energy Resources", en L. M. Edwards, G. V. Chilingar, H. H. Rieke III y W. H. Ferth, eds., *Handbook of Geothermal Energy*. Houston, Gulf, pp. 44-176.
- Sahlins, M. C.
 1972 *Stone Age Economics*. Londres, Tavistock.

- Saida, T., H. Michiki, H. Miyakawa, K. Matsumara, S. Moriyama y H. Ishibashi
 1985 "EtOH Production from Cellulosics", en H. Egnéus y A. Ellegård, eds., *Bioenergy 84: Proceedings of an International Conference on Bioenergy Held on 15-21 June 1984 at the Swedish Trade Fair Centre, Gotëborg, Sweden*, vol. III: *Biomass Conversion*. Londres, Elsevier, pp. 212-219.
- Sarkar, S. K.
 1980 "Longwall Mechanisation in India - Intermediate vs. Advanced Technology - The Unsettled Controversy", ponencia presentada en el *National Seminar on Mining Policies and Programmes* el 23 de Noviembre de 1980. Dhanbad, India, Central Mining Research Station.
- Sarkar, S. K., S. Roychowdhury, N. Goutam, R. K. Srivastava, R. D. Biswas y B. Sing
 1983 "Some Aspects of Strata Control Experiences at the Powered Support Longwall Face at Dheno-Main Colliery", en *Journal of Mines, Metals and Fuels*, noviembre de 1983, pp. 493-501.
- Scharmer K., K.-H. Brachthäuser, J. Mühlensiep, K. Tambakis y E. Tüttenberg-Winter
 1984 *Technischer un wirtschaftlicher Vergleich von kleinen Anlagen zur Vergasung/ Verbrennung von Holz und holzähnlichen Biomassen*. Eschborn, R. F. A., Gesellschaft für Entwicklungstechnologie mbH.
- Schilling, H. D., B. Bonn y U. Krauss
 1981 *Coal Gasification - Existing Processes and New Developments. Commission for European Communities*. Londres, Graham and Trotman.
- Schnell, R. C. y G. Vali
 1976 "Biogenic Ice Nuclei - Part I: Terrestrial and Marine Sources", en *Journal of Atmospheric Science*, 33(3), pp. 1554-1564.
- Sen, A.
 1981 *Poverty and Families: An Essay on Entitlement and Deprivation*. Oxford, Clarendon Press.
- Sener, T.
 1977 "An International Comparison of Demand Elasticities: Empirical Analysis of Consumption Patterns", en *Studies in Development*, 15, pp. 124-159.
- Sexon, B., G. Slack, P. Musgrove, N. Lipman y P. Dunn
 1981 "Aspects of a Wind Energy Conversion System", en J. Twidell, ed., *Energy for Rural Island Communities*. Oxford, Pergamon Press, pp. 153-158.

- Shaw, R. W.
 1984 *The Atmospheric Pathway for Oxides of Nitrogen*. Ottawa, Environment Protection Service, Environment Canada, Report EPS2/TS/2.
- Siddayo, C. M., (ed.)
 1985 *Criteria for Energy Pricing Policy*. Londres, Graham and Trotman. Siemens, W. von
 1880 "Die Elektrizität in Dienste des Lebens", en *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1(1), pp. 16-23.
- Simon, H. A.
 1957 *Models of Man: Social and Rational*. Nueva York, John Wiley and Sons.
- Singer, S. F.
 1983 "The World Price of Oil", en *Annual Review of Energy*, 8, pp. 451-508.
 1985 "Prospects for the World Oil Market", en *The Energy Journal*, 6(1), pp. 13-16.
- Smil, V.
 1983 *Biomass Energies: Resources, Links, Constraints*. Nueva York, Plenum Press.
- Smil, V., P. Nachman y T. V. Long II
 1983 *Energy Analysis and Agriculture: An Application to U. S. Corn Production*. Boulder, Co., Westview Press.
- Smoot, L. D. y S. C. Hill
 1983 "Critical Requirements in Combustion Research", en *Progress in Energy and Combustion Science*, 9, pp. 77-103.
- Spence, M.
 1983 "Contestable Markets and the Theory of Industry Structure: A Review Article", en *Journal of Economic Literature*, 21(3), pp. 981-990.
- Srinivasan, S.
 1984 "Fuel Cell Sources for Transportation Applications: Types, Status and Needed Advances in Technologies", en T. N. Veziroglu y J. B. Taylor, eds., *Hydrogen Energy Progress V: Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada, 15-20 July 1984*, vol. 4. Nueva York, Pergamon Press, pp. 1717-1728.
- Stanley, D.
 1977 *The Arusha Windmill: A Construction Manual*. Stanford, Ca., Volunteers in Asia, y Mt. Rainier, Md., Volunteers in Technical Assistance.

- Stewart, F.
1977 *Technology and Underdevelopment*. Londres, Macmillan.
- Strout, A. M.
1983 *Estimating Energy Consumption from Cross-Country Relationships*. Washington, Public Economics Division, Development Research Department, World Bank.
1985 *Energy-Intensive Materials and the Developing Countries*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Stuckey, D. C.
1983 *Technology Assessment Study of Biogas in Developing Countries*. Duebendorf, Suiza, International Reference Center for Waste Disposals.
- Subba Rao, G. V.
1981 "Some Considerations Regarding Energy Resource Development in Areas without Adequate Infrastructure", en United Nations Institute for Training and Research, *Long-Term Energy Resources*. Boston, Ma., Pitsman.
- Subba Rao, S., M. Raizada, S. Iyer y A. Ramanathan
1981 "Determination of Energy Costs and Intensities of Goods and Services in the Indian Economy - An Input-Output Approach", en M. Chatterji, ed., *Energy and Environment in the Developing Countries*, Chichester, John Wiley and Sons, pp. 205-222.
- Subramanian, D. K., P. Rajabapaiah y A. K. N. Reddy
1980 "Studies in Biogas Technology - Part II: Optimization of Plant Dimensions", en A. K. N. Reddy, ed., *Rural Technology*. Bangalore, India, Indian Academy of Sciences, pp. 79-90.
- Sukhatme, P. V. y S. Margen
1982 "Autoregulatory Homeostatic Nature of Energy Balance", en *American Journal of Clinical Nutrition*, 35, pp. 355-365.
- Surrey, J., y J. Chesshire
1984 *Technology and Market Structure in Equipment for the Energy Industries: Coal, Oil and Electricity*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Szalai, A., P. E. Converce, E. K. Scheuch, P. Feldheim y P. J. Stone
1972 *The Use of Time - Daily Activities of Urban and Suburban Populations in Twelve Countries*. La Haya, Mouton.
- Tabor, H.
1981 "Solar Ponds", en *Solar Energy*, 27(3), pp. 181-194.
- Tata Energy Research Institute
1983 *Energy Conservation Bulletin*. Bombay, Tata Energy Research Institute.

- Taylor, J. H.
1977 "Increasing the Efficiency of Agricultural Traction and Transport", en W. Lockeretz, ed., *Agriculture and Energy*. Nueva York, Academic Press, pp. 223-232.
- Taylor, L.
1979 *Macroeconomic Models for Developing Countries*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Taylor, O. C.
1980 "Impact of Air Pollutants on Vegetation", en *Energy and the Fate of Ecosystems*. Washington, National Academy Press, Supporting Paper 8.
- Thomas, R. B.
1973 *Human Adaptation to a High Andean Energy Flow System*. Filadelfia, Department of Anthropology, Pennsylvania State University, Occasional Papers 7.
- Thomas, T. H.
1981 *Rickshaws in Calcutta*. Calcuta, Unnayan.
- Thomson, M. J.
1983 *Toward Better Urban Transport Planning in Developing Countries*. Washington, World Bank, Staff Working Paper 600.
- Tinker, I.
1984 *The Real Rural Energy Crisis: Women's Time*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Tissot, B. P. y D. H. Welte
1984 *Petroleum Formation and Occurrence* (2a. Ed.). Berlín, R. F. A., Springer Verlag.
- Todaro, M. P.
1981 *Economic Development in the Third World* (2a. ed.). Nueva York, Longman.
- Tokuyama, F.
1984 *Biomass Technology Survey in Japan*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Torres, J. E.
1984 *Latin American Research and Development in the Energy Field: A Review*. Ottawa, Energy Research Group, ERG-MR5e.
- Tunnah, B. G.
1985 *Energy Use in Industry*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- Turnham, D. e I. Jaeger
1970 *The Employment Problem in Less Developed Countries*. París, OCDE.
- Turvey, R. y D. Anderson
1977 *Electricity Economics*. Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press.

- Umaña, A.
 1984 *Economics of Energy and Natural Resources: Review of an Expanding Field of Transdisciplinary Research*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.
- United States, Department of Energy
 1980 *Classification and Evaluation of Electric Motors and Pumps*. Washington, U. S. Government Printing Office.
- United States of America
 1984 *Report to the Congress of the United States: An Analysis of Issues Concerning "Acid Rain"*. Washington, The Comptroller General, General Accounting Office, GAO /RCED-85-13.
- United States of America, Congressional Office of Technology Assessment
 1979 *Direct Use of Coal*. Washington, U. S. Government Printing Office, Report OTA-E-86.
- University of Oklahoma
 1975 *Energy Alternatives: A Comparative Analysis. A Study of the Science and Public Policy Program*. Springfield, Va., National Technology Information Service.
- Uri, N. D.
 1981 *Dimensions of Energy Economics*. Greenwich, Ct., Jai Press.
- Vali, G., M. Christensen, R. W. Fresh, E. L. Galyan, L. R. Maki y R. C. Schnell
 1976 "Biogenic Ice Nuclei - Part II: Bacterial Sources", en *Journal of Atmospheric Science*, 33(3), pp. 1565-1570.
- Vallée, P. de
 1985 "Alternative Methods and Costs of Financing Gas Development Projects", en *Energy* 19(2), pp. 181-185.
- Vanin, V. R. y G. M. Gil Graça
 1982 *Obtenção de coeficientes de intensidade de energia (direta mais indireta) - Brasil 1970*. São Paulo, Instituto de Física, Universidade de São Paulo.
- Van Meurs, A. P. H.
 1981 *Modern Petroleum Economics*. Ottawa, Van Meurs and Associates.
- Ward, G. M., T. M. Sutherland y J. M. Sutherland
 1980 "Animals as an Energy Source in Third World Agriculture", en *Science*, 208(4444), pp. 570-574.
- Ware, H.
 1977 "Desertification and Population: Sub-Saharan Africa", en M. N. Glantz, ed., *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Co., Westview Press, pp. 165-202.

Weinberg, F.

- 1975 "The First Half-Million Years of Combustion Research and Today's Burning Problems", en *Progress in Energy and Combustion Science*, 1, pp. 17-32.

Weingart, J.

- 1984 *Solar Thermal Central Receiver Power Generation Technology — Prospects for the Developing World*. Ottawa, Energy Research Group. Mimeo.

Weisskopf, R.

- 1971 "Demand Elasticities for a Developing Country", en H. B. Chenery, S. Bowles, W. Falcon, C. Gotsch, D. Hendrick, A. MacEwan, C. Sims y R. Weisskopf, *Studies in Development Planning*. Cambridge, Ma., Harvard University Press, pp. 322-358.

Wenman, C. M.

- 1985 "The Production and Use of Fuel Alcohol in Zimbabwe", en W. Palz, J. Coombs y D. O. Hall, eds., *Energy from Biomass: 3rd European Community International Conference on Biomass, Venice, Italy, 1985*. Londres, Elsevier, pp. 172-177.

Wilson, C. L.

- 1977 *Energy: Global Prospects 1985-2000. Report of the Workshop on Alternative Energy Strategies*. Nueva York, McGraw-Hill.

Winston, G. C.

- 1982 *The Timing of Economic Activities: Firms, Households and Markets in Time-Specific Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press.

Wittmus, H., L. Olson y D. Lane

- 1975 "Energy Requirements for Conventional versus Minimum Tillage", en *Journal of Soil and Water Conservation*, 30(2), pp. 72-75.

Wold, H. O. A.

- 1982 *Demand Analysis: A Study in Econometrics*. Londres, Greenwood.

Woodwell, G. M.

- 1974 "The Carbon Dioxide Question", en *Energy and Environment*. San Francisco, Ca., W. H. Freeman and Company.

World Bank

- 1980a *Energy in Developing Countries*. Washington, World Bank.
 1980b *Alcohol Production from Biomass in the Developing Countries*. Washington, World Bank.
 1981 *Mobilizing Renewable Energy Technology in Developing Countries: Strengthening Local Capabilities and Research*. Washington, World Bank.

- 1982a *Emerging Energy and Chemical Applications of Methanol: Opportunities for Developing Countries*. Washington, World Bank.
- 1982b *World Development Report 1982*. Nueva York, Oxford University Press.
- 1983a *The Energy Transition in Developing Countries*. Washington, World Bank.
- 1983b *World Development Report 1983*. Nueva York, Oxford University Press.
- 1984 *World Development Report 1984*. Nueva York, Oxford University Press.
- World Bank y Organización para la Alimentación y la Agricultura
- 1981 *Forestry Research in Developing Countries: Time for a Reappraisal. Paper for the 17th International Union of Forest Research Organizations Congress, Kyoto, Japan, 6-17 September 1981*. Washington, World Bank, y Roma, FAO.
- Yeager, K.
- 1984 "R&D Status Report: Coal Combustion System Division", en *EPRI Journal*, 9(1), pp. 43-48.
- Yucel, N. C.
- 1974 *Toll Financing of Highways: Economic and Financial Considerations*. Washington, World Bank, Staff Working Paper 187.
- Yulsman, T.
- 1985 "Greenhouse Earth Revisited", en *Science Digest*, 93(4), p. 28.
- Zimmerman, R. E.
- 1982 "Advances in Preparation", en *World Coal*, 8(6), pp. 69-71.

APÉNDICE 1

MIEMBROS DEL GRUPO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS

Dr. Ashok V. Desai (India)

Coordinador del Grupo de Investigación sobre la Energía, Ottawa, Canadá

El Dr. Ashok Desai fue colaborador durante muchos años del National Council of Applied Economic Research de Delhi, del que fue su director durante algún tiempo. Fue profesor y director del Departamento de Economía de la Universidad del Pacífico del Sur en 1973-1976; antes, se había desempeñado como profesor en las universidades de Oxford, Bombay y Delhi. Tiene un doctorado en economía de la Universidad de Cambridge y ha publicado un libro y muchas disertaciones. Su principal campo de trabajo ha sido el de la economía industrial, en particular la economía de la transferencia de tecnología.

Profesor Djibril Fall (Senegal)

Director del Centre d'Études et de Recherches sur les Énergies Renouvelables (CERER) y profesor de la Universidad de Dakar, Senegal

El profesor Fall recibió su doctorado en física de la Universidad de Toulouse en 1974 y desde entonces ha sido director del CERER. Asimismo, desde 1976 ha sido coordinador de proyectos del Institut de Technologie Nucléaire Appliquée. Durante siete años fue consejero técnico en el Secrétariat d'État à Recherche Scientifique et Technique.

Profesor José Goldemberg (Brasil)

Rector de la Universidad de São Paulo, Brasil

El profesor Goldemberg se ha desempeñado como profesor de física en la Universidad de São Paulo, la Universidad de París (Orsay) y la Universidad de Toronto. Fue director de la División de Física Nuclear del Atomic Energy Institute (1971-1972), director de la Comisión sobre Energía de la Biomasa del Ministerio de Agricultura de Brasil (1979) y presidente de la Companhia Energética de São Paulo (1983-1986). Es ex presidente de la Sociedad Brasileña de Física y ha publicado cuatro libros de texto y numerosas disertaciones técnicas sobre física y energía nucleares.

Sr. José Fernando Isaza (Colombia)

Presidente de Coldeaceites y consultor, Bogotá, Colombia

Hasta hace poco, el Sr. Isaza se desempeñó como Ministro de Obras Públicas y Transportes. Fue presidente de la Compañía Nacional Colombiana de Petróleo, Ecopetrol (1980-1982), así como de la Corporación Financiera Nacional (1978-1980). Ha sido director de numerosos departamentos gubernamentales, incluida la División de Energía del Departamento de Planeación Nacional. Ha enseñado economía en la Universidad de Los Andes, en Bogotá, y ha publicado un libro y más de veinte disertaciones.

Profesor Ali Kettani (Marruecos)

Director general de la Fundación Islámica para la Ciencia, la Tecnología y el Desarrollo, Jeddah, Arabia Saudita

En la actualidad, el profesor Kettani es responsable de la cooperación en ciencia y tecnología y del fomento de las mismas entre los 46 estados miembros de la Organización de la Conferencia Islámica. Cuando fue profesor de ingeniería eléctrica de la Universidad de Petróleo y Minerales, en Dhahran, Arabia Saudita (1969-1982), desarrolló y dirigió la investigación sobre energía, particularmente sobre las nuevas fuentes de energía, con énfasis en la energía solar. El profesor Kettani ha presidido numerosas conferencias internacionales y es vicepresidente del organismo *Coopération Méditerranéenne pour l'Énergie Solaire*. Es autor de ocho libros y de más de cien disertaciones técnicas.

Dr. Ho Tak Kim (República de Corea)

Profesor adjunto de economía agrícola de la Universidad Nacional de Seúl, Suweon, República de Corea

El Dr. Kim fue vicepresidente del Instituto de Investigación sobre Energía de Corea (1979-1981). Es consejero especial de la Corporación de Administración de la Energía de Corea y miembro del Comité de Políticas sobre Recursos y Energía del Ministerio de la Energía de Corea. Ha publicado catorce informes muy importantes y disertaciones en el campo de la energía.

Profesor Mohan Munasinghe (presidente del GIE) (Sri Lanka)

Primer consejero sobre energía del presidente de Sri Lanka

El profesor Munasinghe posee seis títulos en física, ingeniería y economía de la Universidad de Cambridge, el Instituto de Tecnología de Massachusetts y la Universidad McGill. Ha enseñado en universidades de Sri Lanka, Canadá y Estados Unidos y entrenado a más de mil funcionarios mayores en el campo de la energía de 65 países en desarrollo. Es director de la Unidad de Desarrollo de Políticas Energéticas del Banco Mundial, en Washington, D. C., Estados Unidos. Fue presidente del Consejo de Tecnología de Computación e Información de Sri Lanka y ha sido perito

consejero de muchas organizaciones internacionales. Es autor de quince libros y más de cien disertaciones técnicas y participa en los consejos editoriales de muchas revistas internacionales.

Dr. Frederick Owino (Kenya)

Profesor adjunto de silvicultura y director administrativo de la Facultad de Silvicultura y Recursos Silvestres, Universidad Moi, Eldoret, Kenya. El Dr. Owino obtuvo su doctorado en genética forestal en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, Estados Unidos en 1975, y desde entonces ha enseñado en la Universidad de Nairobi. Es miembro del consejo editorial de la revista internacional *Forest Ecology and Management* y de la Comisión Presidencial Permanente sobre Conservación del Suelo y Forestación de Kenya. Tiene catorce publicaciones en su haber.

Profesor Amulya Reddy (India)

Presidente del Departamento de Administración Industrial y profesor del Departamento de Química Inorgánica y Física del Instituto de Ciencias Indio, Bangalore, India

El profesor Reddy fue el convocante del Centre for the Application of Science and Technology to Rural Areas (ASTRA) del Instituto de Ciencias Indio (1974-1983). En numerosas ocasiones ha sido científico investigador visitante de más alto rango del Center for Energy and Environmental Studies de la Universidad de Princeton. Perteneció al consejo editorial de dos revistas internacionales, *Biomass* y *Current Science*, y participó en el Grupo de Trabajo sobre Política Energética de la Comisión de Planeación del gobierno de India (1978-1979). Ha escrito más de ochenta y cinco publicaciones.

Ing. Carlos E. Suárez (Argentina)

Presidente del Instituto de Economía Energética, Río Negro, Argentina. El Sr. Suárez también es vicepresidente de la Fundación Bariloche, a la que está asociado el Instituto de Economía Energética. Fue director de Planeación Energética de la Comisión Nacional de Planeación, en Buenos Aires (1963-1967). Se graduó en ingeniería química en la Universidad de Litoral.

Profesor Zhu Yajie (China)

Primer consejero del Instituto del Petróleo de China Oriental, Beijing, China

El profesor Zhu también es miembro del Consejo Científico de la Academia Sinica y presidente de la Sociedad China de Investigación sobre Energía. Fue profesor en el Instituto del Petróleo de Beijing (1952-1966) y posee una amplia experiencia en el diseño de hornos y plantas de etileno y amoniaco. Ha publicado cuatro libros de texto y numerosas disertaciones.

APÉNDICE 2
AUTORES DE LOS TRABAJOS
DE INVESTIGACIÓN ENCARGADOS
POR EL GRUPO DE INVESTIGACIONES
ENERGÉTICAS

- Abhat, A.: "Integrated energy systems for rural development".
- Anandalingam, G.: "Energy conservation in the industrial sector".
- Barnes, D.: "Electricity's effect on rural life in developing nations".
- Bernardini, O.: "Information systems for energy planning and management".
- Best, G.: "Contribution of renewable energy sources to the solution of energy problems in some countries in Latin America".
- Bharadwaj, T.: "The developing world as a market for power plant technology".
- Bhatia, R.: "Energy demand analysis in developing countries".
- Bhatia, R.: "Energy research programmes in South Asia: a review of past activities and possible research themes".
- Bhatia, R. y R. Sharma: "Energy and agriculture in developing countries".
- Bhushan, B.: "Energy research and development programmes in India".
- Bianchi, A.: "Energy policies and issues in Latin America".
- Bogach, V. S.: "Energy problems and policies in Central America".
- Borrini, G., y S. Margen: "Human energetics".
- Brooks, D.: "Markets for utility electricity with efficient application".
- Brown, N. y P. Tata: "Biomethanation".
- C. I. Power Services, Inc.: "Small- and medium-size hydroelectric power plants".
- Chari, K. S. R.: "Current status and development of solid fuel mining and utilization technologies in Asia".
- De Lepeleire, G.: "Le bois de feu, source d'énergie renouvelable menacée".
- De Lucia, R. y M. Lasser: "Developing country fuel pricing policies -I: a discussion of issues associated with retail pricing policies".
- De Lucia, R.: "Developing country fuel pricing policies -II: a discussion of issues associated with wholesale pricing policies".

- Deng Keyun y Wu Changlun: "Rural energy utilization in China".
- Desai, N.: "Atoms for peace, atoms for war, atoms for profit".
- Deveziaux, J. G.: "Energy modelling in developing countries".
- Dunkerley, J.: "Energy consumption patterns and their implications for energy planning".
- Duquette, M.: "Problèmes politiques et énergétiques au Brésil".
- Edmundson, W.: "Is there a vicious cycle of low food energy intake and low human work output?"
- Elkan, P. G.: "The international transmission of economic growth, exhaustible resources and long waves: a review paper".
- El-Sayed, H.: "Health and environmental impacts of energy systems".
- Eusuf, M.: "Application of alternative biomass energy technologies in developing countries".
- Eusuf, M.: "Application of solar energy technologies in developing countries".
- Foster, J. y T. C. Foster: "Petroleum exploration, development and production".
- Foster, J. y L. Jackson: "Markets for technology equipment and services".
- Foster, J. y R. Tragatsch: "Oil refining, transport and distribution".
- Fridleifsson, I.: "Geothermal energy exploration and utilization".
- Geltner, D.: "Transportation and energy in developing countries: a survey and discussion of research needs".
- Gong Bao, Lu Weide y Tian Xiapong: "Recent advances in solar energy utilization in China".
- Gordon, A.: "Energy policy in developing countries".
- Hayes, P.: "Sociopolitical issues in rural energy development".
- Hayes, P.: "Nuclear electric futures".
- Hayes, P.: "Third World island futures".
- Hurst, C.: "Human and animal energetics: a review of the role of metabolized energy in traditional agriculture".
- Hurst, C.: "Human and animal energy in transition: the changing role of metabolized energy in economic development".
- Hurst, C.: "Energy for small-scale engines: a review of potential energy sources".
- Ion, D. C.: "Oil and gas: exploration and production in developing countries".
- Jhirad, D.: "Markets for renewable energy technology in developing countries".
- Kaale, B. K.: "Utilization of fuelwood and charcoal in East Africa".
- Kahane, A. y S. Lwakabamba: "Energy in West Africa: a literature survey".

- Kim, H. T.: "Energy transitions and energy-related R&D needs and priority areas in Korea".
- Lamprey, J., M. Moo-Young y H. F. Sullivan: "An overview of R&D in energy sources, uses and technology".
- Lan Tianfang, Lu Yingzhong y Mao Yushi: "China's energy economy".
- Lapillone, B., P. Criqui y J. Girod: "Modèles de demande d'énergie et modèles globaux".
- Lu Qi y Liu Xueyi: "Industrial energy consumption and conservation in China".
- Lu Qinkan y Fu Zhesun: "The development of electric power in China".
- Lu Yingzhong: "The development of nuclear energy in China".
- Luque, A.: "Photovoltaic technology in developing countries".
- Mao Yushi y Hu Guangrong: "China's transport and its energy use".
- Martínez Alier, J.: "Energy-related issues in early economic literature".
- Martínez Negrete, M. A., F. Cepeda Flores, J. Cervantes Servín, O. Maser Cerutti y O. Miramontes Vidal: "Science and technology of the renewable energy sources in Mexico".
- McNelis, B. y P. Fraenkel: "Solar and wind technologies for developing countries: current status and anticipated developments".
- Merriam, M.: "Use of wind for electricity generation in developing countries".
- Mintzer, I.: "Status assessment of solar photovoltaic technology".
- Moreira, J.: "Alternative fuel -a Brazilian outlook".
- Mortimer, G.: "Issues in natural gas production and utilization".
- Munasinghe, M.: "Energy demand management and conservation".
- Munasinghe, M.: "A framework for establishing energy research and development (R&D) policies and priorities in a developing country".
- Ng'eny-Mengech, A.: "Current state of biomass energy development and conservation technologies".
- Obermair, G.: "Comparative evaluation of nuclear power in the developing countries".
- O'Keefe, P.: "Energy and development in East Africa".
- Owino, F.: "Trends in forestry/woodfuel resources and utilization".
- Pachauri, R. K. y R. Pachauri: "Energy problems and policies in developing countries: an analysis and review".
- Pimentel, O. M.: "Electrothermy in Brazil".
- Poole, A.: "Energy, urban transport and the city: a narrative of some recent Brazilian experience and its wider implications".
- Qin Tongluo: "Petroleum industry in China".
- Ren Xiang, Yang Qilong y Tang Ninghua: "Geothermal energy in China".
- Ross, R. J. P.: "Petroleum exploration and production in developing countries".

- Sandhu, G. R.: "Biomass potential and conversion in southwest Asia and northern Africa".
- Sathaye, J. y S. Meyers: "Energy use in cities of developing countries".
- Scott, W.: "Optimizing electrical distribution systems".
- Selçuk, M. K.: "Application of solar thermal technologies".
- Shah, K. R.: "Electric transmission technology".
- Siddayao, C.: "Asia's adjustments to the changing energy picture: a summary".
- Siqueira, G.: "Hydroelectricity: evolution and perspectives".
- Smil, V.: "China's energy advances and limitations".
- Smith, K. y J. Ramakrishna: "Traditional fuels and health: social, economic, and technical links".
- Strout, A.: "Energy-intensive materials and the developing countries".
- Surrey, J. y J. Chesshire: "Technology and market structure in equipment for the energy industries: coal, oil and electricity".
- Tabors, R.: "Recent research in electric power pricing and load management".
- Tanzer Natural Resource Associates: "Technology in the petroleum industry".
- Tasdemiroglu, E.: "Domestic energy supply and demand in southwest Asia and northern Africa".
- Tinker, I.: "The real rural energy crisis: women's time".
- Tokuyama, F.: "Biomass technology survey in Japan".
- Trindade, S.: "Alternative transport fuels: supply, consumption and conservation".
- Tsuchiya, H.: "Energy technologies and policies: options for developing countries".
- Tunnah, B. G.: "Energy use in industry".
- Umaña Quezada, A. F.: "Economics of energy and natural resources: review of an expanding field of transdisciplinary research".
- Weingart, J.: "Solar thermal central receiver power generation technology: prospects for the developing world".
- Wereko-Brobby, C.: "Electric power for industrialization in developing countries".
- Wionczek, M.: "Notes on the state of the future of energy research in Latin America".
- Wu Jing: "The coal industry in China".
- Wu Wen: "Biomass utilization in China".
- Zhu Yajie y Wang Qingyi: "Energy policy study in China".
- Zhu Yajie y Wu Zhenxiao: "The prospects of hydrogen as an energy resource".
- Zhu Xiaozhang, Ding Guangquan y E. Chang: "How small hydro power is helping China's rural electrification programme".

APÉNDICE 3
REVISORES DEL INFORME FINAL DEL GRUPO
DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS Y
DE LOS TRABAJOS SOLICITADOS

Sr. J. Ramón Acosta	Dr. R. DiPippo
Profr. M. A. Adelman	Sr. E. Dommen
Profr. S. A. Alam	Profr. J. A. Duffie
Profr. S. Alvarado	Sr. B. Duhamel
Sr. M. H. Ang	Sr. J. R. Egan
Dr. E. Ardayfio-Schandorf	Dr. A.-M. E. El-Bassouoni
Dr. S. Baldwin	Dr. P. Elkan
Sr. F. E. Banks	Profr. B. J. Esposito
Sr. B. Baratz	Dr. E. Fein
Sr. G. H. Barrows	Sr. C. Feinstein
Sr. S. B. Baruch	Sr. F. Fesharaki
Profr. G. H. Beaton	Profr. G. B. Fettweiss
Sr. R. C. Bending	Sr. J. L. Fish
Profr. J. O'M. Bockris	Profr. G. Fishelson
Sr. S. Bogach	Sr. W. Floor
Sr. R. Boix Amat	Sr. G. Foley
Dr. C. Boonyubol	Sr. I. B. Fridleifsson
Profr. D. K. Bose	Dr. J. C. Frost
Sr. S. K. Bose	Dr. P. G. Gibbon
Sr. G. Bouchard	Profr. P. V. Gilli
Sr. H. Broadman	Dr. M. L. Gupta
Sr. D. Brooks	Profr. V. Gupta
Sr. N. L. Brown	Profr. D. O. Hall
Profr. E. Campero	Profr. B. Hannon
Dr. R. Canales Ruiz	Dr. S. D. Hu
Dr. R. K. Cattell	Dr. H. Inhaber
Ing. M. F. Corrales V.	Dr. M. N. Islam
Sr. A. Davenport	Dr. B. C. Jain
Ing. J. Lizardo R. H. de Araujo	Sr. W. E. James
Dr. A. de Oliveira	Sr. L. Jarass
Sr. R. J. de Lucia	Sr. K. G. Jechoutek
Sra. Deng Keyun	Sr. A. Jelich

- Profr. G. Kadekodi
 Sr. A. Kahane
 Dr. W. K. H. Kinzelbach
 Dr. L. Kristoferson
 Sr. G. Leach
 Sr. A. Leslie
 Dr. C. T. Leung
 Dr. C. Lewis
 Sr. R. Lichtman
 Dr. J. W. Lund
 Sr. M. C. Lynch
 Profr. S. Margen
 Dr. M. Martínez
 Sra. M. K. Mason
 Sr. G. Matricali
 Dr. M. C. Mattos
 Dr. E. McAllister
 Profr. G. D. McColl
 Profr. R. L. Meier
 Profr. R. F. Mikesell
 Dr. M. Moo-Young
 Dr. J. R. Moreira
 Dr. T. K. Moulik
 Sr. P. Moulin
 Profr. A. Mustafa
 Sr. M. S. Mya
 Sr. S. K. Nema
 Sr. K. Newcombe
 Dr. A. Ng'eny-Mengech
 Profr. S. R. Nkonoki
 Profr. P. R. Odell
 Profr. T. Ohta
 Sr. A. Oldfield
 Sr. K. Openshaw
 Sr. R. M. Ornstein
 Sr. C. Ostrovski
 Sr. P. F. Palmedo
 Dr. J. Parikh
 Sr. D. J. Passmore
 Profr. R. Passmore
 Sr. J. Pasztor
 Profr. A. Pereira
 Sr. R. Peters
 Dr. O. M. Pimentel
 Sr. L. Pinguelli Rosa
 Sr. K. Prasad
 Dr. V. Raghuraman
 Dr. S. Raj
 Sra. J. Ramakrishna
 Profr. R. Ramakumar
 Profr. T. V. S. Ramamohan
 Rao
 Profr. K. S. Rao
 Sr. R. S. Rangi
 Sr. S. Reutlinger
 Profr. J. M. Rodríguez Devis
 Profr. P. Rogers
 Sr. P. Romagnoli
 Dr. R. M. Rotty
 Dr. B. Salazar A.
 Sr. L. E. Salcedo
 Dr. N. A. Saleh
 Dr. S. K. Sarkar
 Dr. P. S. Satsangi
 Dr. A. Sayigh
 Dr. K. Scharmer
 Dr. L. Schrattenholtzer
 Sra. M. Serrato C.
 Profr. R. T. Shand
 Sr. K. Shankar
 Dr. C. M. Siddayao
 Sr. T. A. Siddiqi
 Profr. M. Slesser
 Dr. V. Smil
 Dr. K. R. Smith
 Profr. A. M. Sohlman
 Profr. P. V. Sikhhatme
 Dr. P. B. Sukro
 Profr. P. D. Sunavala
 Dr. H. Tabor
 Dr. B. Tahmazian
 Dr. A. Tajuddin Ali
 Dr. T. B. Tang
 Dr. A. Taylor
 Sr. J. B. Taylor
 Sr. E. Tijerina Garza

Sr. B. S. Tolentino
Dr. J. Twidell
Profr. Gwo-Hshiung Txeng
Sr. J. D. Vázquez
Sra. P. Vasudevan
Sr. E. F. P. Vaz de Campos
Dr. R. B. Whyte

Sr. K. R. Williams
Dr. M. S. Wionczek
Dr. P. J. Wood
Sra. K. Woodard
Dr. F. D. Yamba
Profr. J. Zapp
Dr. A. Y. Zarrug

Este libro se terminó de imprimir en
diciembre de 1991 en
Grupo Edición, S.A. de C.V.,
Xochicalco 619, Col. Vértiz-Narvarte,
03600 México, D.F.
El tiro consta de 1 000 ejemplares.
La edición estuvo al cuidado del
Departamento de Publicaciones de
El Colegio de México.

La United Nations University y el International Development Research Centre, con el fin de evaluar el estado en que se encuentra la investigación sobre la energía, auspiciaron la creación del Grupo de Investigaciones Energéticas. Este grupo, tras realizar exhaustivos estudios sobre el uso y aprovechamiento de las fuentes de energía, elaboró el presente informe, cuyo objetivo es ofrecer a los países en desarrollo un conjunto de posibilidades para el aprovechamiento óptimo de las fuentes de energía a su alcance.

Los combustibles líquidos, los gaseosos, los sólidos, la energía geotérmica y heliotérmica, la eólica, la electricidad; todas estas fuentes de energía se abordan en el presente estudio, así como los efectos que causan en el ambiente. Se incluyen también diversos aspectos relacionados con la investigación energética y sus posibles beneficios, particularmente en los países que requieren con más urgencia la utilización plena de estos recursos para resolver sus problemas de desarrollo.



EL COLEGIO DE MÉXICO