

Informe Mundial de Energía

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Departamento de las Naciones Unidas para
Asuntos Económicos y Sociales
Consejo Mundial de Energía

la energía

y el reto de la sostenibilidad



visión global

visión global



Programa de las Naciones
Unidas para el Desarrollo



Departamento de las Naciones
Unidas para Asuntos
Económicos y Sociales



Consejo Mundial de Energía





Informe Mundial de Energía

La fase editorial y la producción del Informe Mundial de Energía han disfrutado de las aportaciones de los gobiernos de Austria, Finlandia, Noruega, Suecia y de la Fundación de Energía. Las fases consultiva y de difusión externa del informe han sido posibles gracias a la financiación de la Fundación de las Naciones Unidas.

Versión Original (inglés)

© 2000 PNUD

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Despacho para Políticas del Desarrollo
One United Nations Plaza
New York, NY 10017

Reservado todos los derechos
Producida en los Estados Unidos de América
Primera impresión septiembre 2000

El análisis y conclusiones del Informe Mundial de Energía no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, la Junta Directiva, el Departamento de las Naciones Unidas para Asuntos Económicos y Sociales, de los Estados Miembros de las Naciones Unidas, ni los Comités Miembros del Consejo Mundial de Energía.

ISBN: 92-1-126126-0
Número de Ventas: 00.III.B.5

Edición final por Communications Development Inc., Washington, D.C.

Diseño por Julia Ptasznik, Suazion, Staten Island, Nueva York

Versión Autorizada (español)

Por su interés, esta publicación ha sido traducida y producida en español por el IDAE, sobre la base del documento en inglés elaborado por el equipo de trabajo de técnicos del "Programa para el Desarrollo (PNUD)" de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y por el del Desarrollo para Asuntos Económicos y Sociales de la Organización de Naciones Unidas (ONU) y por el del Consejo Mundial de Energía.

La publicación ha sido incluida en el fondo editorial del IDAE, en la Serie "Difusión IDAE".

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.
Depósito Legal: _(imprenta)_

IDAE
Instituto para la Diversificación y
Ahorro de la Energía

P^a de la Castellana, 95 - Planta 21
E - 28046 MADRID

comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, abril de 2001

contenido

Prólogo.....	i
Mark Malloch Brown , Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Nitin Desai , Departamento de las Naciones Unidas para Asuntos Económicos y Sociales Gerald Doucet , Consejo Mundial de Energía	
Prefacio.....	iii
José Goldemberg , Evaluación de la Energía en el Mundo	
Agradecimientos.....	iv
Consejo de redacción.....	v
Instituciones.....	vii
Informe Mundial de Energía: Visión global.....	1
Introducción	2
Parte I: La energía y las grandes cuestiones de alcance mundial	4
Parte II: Recursos energéticos y opciones tecnológicas	12
Parte III: ¿Es posible un futuro sostenible?	18
Parte IV: ¿Adónde vamos desde aquí?	23
Anexo	27
Figuras	
Figura 1. Un ejemplo de la cadena energética desde la extracción a los servicios	5
Figura 2. Consumo per cápita de energía primaria (comercial y no comercial) por regiones, 1995	6
Figura 3. PIB y el consumo de energía primaria en los países OCDE, 1971 – 1996.....	7
Figura 4. Tendencias históricas de intensidad energética primaria en los diversos países seleccionados, 1850 – 2000	8
Figura 5. Demanda media total anual de energía por segmento de ingresos en Brasil, 1988	9

Figura 6. Curvas de experiencia para energía fotovoltaica, aerogeneradores y turbinas de gas	16
Figura 7. Participación de energía primaria 1850 – 1990, y en escenarios C1 y C2 al 2000	20
Figura 8. Requisitos mundiales de energía primaria comercial, 1850 – 1990, y en los tres escenarios, 1990 – 2100	22

Tablas

Tabla 1. Consumo total mundial de energía primaria, 1998	6
Tabla 2. Las opciones relacionadas con la energía para abordar las cuestiones sociales	9
Tabla 3. Agresiones ambientales debido a las actividades humanas, por sector, a mediados de la década de 1990	10
Tabla 4. Estado actual y costes potenciales futuros de las tecnologías de energías renovables	15
Tabla 5. Resumen de los tres escenarios 3 II ASA – WEC en 2050 y 2100 comparado con 1990	19
Tabla 6. Características de la sostenibilidad en tres escenarios de desarrollo energético en 2050 y 2100 comparados con 1990	21

prólogo

Mark Malloch Brown

**Administrador
Programa de las Naciones
Unidas para el Desarrollo**

Nitin Desai

**Subsecretario General Adjunto
Departamento de Asuntos
Económicos y Sociales**

Gerald Doucet

**Secretario General
Consejo Mundial
de Energía**

Más de 175 gobiernos han expresado su compromiso con Agenda 21, el programa para lograr el desarrollo sostenible centrado en el ser humano, adoptado en 1992 en la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas celebrada en Río de Janeiro. Agenda 21 subrayó la importancia de la energía para el desarrollo sostenible. La Sesión especial de Asamblea General de las Naciones Unidas de junio de 1997, convocada para estudiar los progresos de Agenda 21, fue más allá. Resaltó que los modelos sostenibles de producción, distribución y utilización de la energía eran de una importancia crucial para la mejora continua de la calidad de vida. Asimismo, declaró que la novena sesión de la Comisión de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (CSD-9, Comisión on Sustainable Development), en el 2001, deberá centrarse en cuestiones relacionadas con la atmósfera y la energía, y con la energía y el transporte.

Para documentar las discusiones y los debates, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Departamento de las Naciones Unidas de Asuntos Económicos y Sociales (UNDESA, United Nations Department of Economic and Social Affairs) y el Consejo Mundial de Energía (WEC, World Energy Council; en castellano, CME) pusieron en marcha el Informe Mundial de Energía (World Energy Assessment) a finales de 1998. Este informe analiza las cuestiones sociales, económicas, medioambientales y de seguridad relacionadas con el suministro y la utilización de la energía, y evalúa las opciones referentes a la sostenibilidad en cada uno de los campos.

Presentamos el Informe Mundial de Energía en el mundo como un material de estudio para el proceso de la CSD-9, la reunión de "Río más diez" del 2002 y para el futuro. Creemos que una síntesis de información revisada y validada sobre los modelos de producción y consumo de la energía constituirá un instrumento valioso para los planificadores energéticos en los ámbitos regional y nacional, así como para otros muchos grupos.

Nuestro futuro energético dependerá en gran medida de las acciones no sólo de los gobiernos, sino también de las uniones regionales, del sector privado y de la sociedad civil. Por este motivo, esta evaluación es el elemento central de un esfuerzo de difusión externa emprendido por PNUD, UNDESA y WEC. Esta difusión externa comprende diálogos regionales, intercambios entre países en vías de desarrollo, entre países en vías de desarrollo y países industrializados, y consultas con una amplia gama de terceros, incluyendo al sector privado, que no siempre están presentes en los debates.

El Informe Mundial representa un esfuerzo conjunto en el que han participado las tres organizaciones patrocinadoras, 12 autores principales convocantes, y los grupos de expertos que ellos reunieron. Los borradores del informe fueron distribuidos entre un amplio grupo de expertos y de representantes gubernamentales para su revisión y consulta. Esta revisión incluyó una reunión especial de Panel Asesor, la difusión por medios electrónicos y consultas en los ámbitos local, regional y global, así como con organizaciones no gubernamentales. El Consejo editorial estudió el contenido de los capítulos en seis reuniones que se celebraron a lo largo de 16 meses. Mientras que el resumen general refleja el juicio y el examen combinados del Consejo Editorial, la responsabilidad de cada uno de los capítulos recae en el autor principal convocante. ■

prefacio

José Goldemberg
Presidente, Informe
Mundial de Energía

La energía desempeña un papel fundamental para la consecución de los objetivos interrelacionados del desarrollo humano sostenible en los campos económico, social y medioambiental. Pero si hemos de conseguir esta importante meta, tendrán que cambiar los tipos de energía que producimos y las formas en las que las utilizamos. Si no es así, se acelerarán los daños en el medio ambiente, aumentará la desigualdad y el crecimiento económico mundial estará en peligro.

No podemos ignorar sin más las necesidades energéticas de dos mil millones de personas, que no disponen de los medios necesarios para evitar ciclos recurrentes de pobreza y privaciones. Tampoco desaparecerán por sí mismos los problemas medio ambientales, locales y regionales ligados a las formas convencionales de utilización de la energía. Nos enfrentamos también a otros desafíos: los precios altos de los suministros energéticos en muchos países, la vulnerabilidad a las interrupciones del suministro y la necesidad de más servicios energéticos para respaldar el desarrollo continuo.

El Informe Mundial de Energía afirma que son posibles las soluciones a estos problemas urgentes y que el futuro es mucho más una cuestión de elección que de destino. Si actuamos ahora para emprender una política inteligente, podemos crear sistemas de energía que nos conduzcan a un mundo más justo, más lógico desde el punto de vista medioambiental y más viable económicamente.

Pero cambiar los sistemas de energía no es un asunto fácil. Constituye un proceso complejo y a largo plazo, que requerirá grandes esfuerzos concertados por parte de los gobiernos, las empresas y los miembros de la sociedad civil. El consenso sobre las tendencias energéticas y los cambios necesarios en los sistemas de energía puede acelerar este proceso.

El Informe Mundial de Energía se emprendió, en parte, para conseguir un consenso sobre la forma más eficaz de utilización de la energía como un instrumento para el desarrollo sostenible. Su análisis muestra que debemos hacer más para promover la eficiencia energética y las energías renovables, y que tenemos que impulsar las tecnologías avanzadas que brindan alternativas para el suministro y la utilización de energías limpias y seguras. También tenemos que ayudar a que los países en vías de desarrollo encuentren formas de evitar la repetición de las etapas despilfarradoras y destructivas que han caracterizado a la industrialización en el pasado.

Esta publicación es fruto del intenso trabajo de muchas personas, y espero que contribuya a conseguir un mundo más justo, próspero y sostenible. ■

Esta publicación no habría sido posible sin un gran esfuerzo por parte de muchas personas, comenzando por los miembros del Consejo Editorial y los autores de cada uno de los capítulos, así como el de aquellos que representaron a las instituciones patrocinadoras. Las instituciones creadoras agradecen sinceramente su esfuerzo.

El brasileño José Goldemberg, presidente de la Evaluación, se encargó de guiar con habilidad el proceso editorial. Su amplia experiencia en energía, temas políticos y relaciones internacionales ha sido inestimable, y su firme compromiso con el éxito de este proyecto ha constituido una fuente de inspiración para todos los que han participado en él. También estamos profundamente agradecidos a los otros miembros del Consejo Editorial por su trabajo esmerado en la preparación y revisión de esta publicación con un calendario extremadamente apretado, por su disposición al estímulo mutuo en un ambiente de cooperación y por el compromiso compartido con la idea de la energía como una herramienta para el desarrollo humano sostenible.

Caitlin Allen, directora del proyecto, ha contribuido al éxito de este proyecto. Su despacho fue el centro de comunicaciones para los miembros del Consejo Editorial, que estaban distribuidos por todo el mundo. También se encargó de la dirección del personal administrativo, editorial y de diseño gráfico que colaboró en la preparación de este libro, y planificó y realizó la fase de difusión externa.

Agradecemos el trabajo cuidadoso de todo el equipo del Informe Mundial de Energía, incluyendo a Janet Jensen por su ayuda editorial a lo largo de todo el proyecto, a Nerissa Cortes por encargarse de las innumerables cuestiones administrativas, a Natty Davis por su ayuda en la fase de acción externa y a Alberto Pérez por las correcciones al español. Estamos agradecidos a Julia Ptasznik por la creación de la imagen distintiva de la publicación y de los materiales asociados, y a Communications Development Incorporated por la edición final y la corrección de pruebas.

Las organizaciones patrocinadoras también desean expresar su agradecimiento a la Comisión Asesora, a los revisores especializados y a los participantes en las fases consultiva y de difusión externa del libro. ■

consejo de redacción

Presidente

José Goldemberg, Brasil

Vicepresidentes

John W. Baker, Reino Unido

Safiatou Ba-N'Daw, Costa de Marfil

Hisham Khatib, Jordania

Anca Popescu, Rumania

Francisco L. Viray, Filipinas

Autores Principales

Dennis Anderson, Reino Unido

John P. Holdren, Estados Unidos

Michael Jefferson, Reino Unido

Eberhard Jochem, Alemania

Nebojsa Nakićenović, Austria

Amulya K.N. Reddy, India

Hans-Holger Rogner, Alemania

Kirk R. Smith, Estados Unidos

Wim C. Turkenburg, Holanda

Robert H. Williams, Estados Unidos

Instituciones Fundadoras

Thomas B. Johansson, representantes de PNUD

JoAnne DiSano and Kui-nang Mak, representantes de UNDESA

Gerald Doucet and Emad El-Sharkawi, representantes de CME

Caitlin Allen, Jefe de Proyecto

Janet Jensen, Jefe de Edición

instituciones

La misión del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) es ayudar a los países a llevar a cabo programas de desarrollo humano sostenible para la erradicación de la pobreza, la creación de empleo y métodos de vida sostenibles, la igualdad y participación de la mujer, así como la protección y regeneración del medio ambiente, dando prioridad a la erradicación de la pobreza. El PNUD se concentra en el apoyo a planes de acción y reforzamiento de las instituciones de los países acogidos al programa a través de su red de delegaciones en 136 naciones.

El Departamento de las Naciones Unidas para Asuntos Económicos y Sociales (UNDESA) facilita los procesos intergubernamentales y, a través de su División para el Desarrollo Sostenible, sirve a organismos como la Comisión de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible y el Comité de las Naciones Unidas sobre Energía y Recursos Naturales para el Desarrollo. Entre otras cosas, UNDESA también realiza trabajos estadísticos y analíticos para hacer un seguimiento del medio ambiente y el desarrollo sostenible, y ofrece proyectos de cooperación política y técnica a petición de los países en desarrollo como continuación de la Cumbre de la Tierra 1992.

El Consejo Mundial de Energía (CME) es una organización mundial no gubernamental de la energía, fundada en 1923. En los últimos años, el CME se ha forjado una reputación en el campo de la energía merced a sus estudios, servicios técnicos y programas regionales. Su trabajo cubre pronósticos de energía a largo plazo, cuestiones energéticas de países en desarrollo y economías de transición, financiación de la energía, políticas de eficiencia y de liberalización de la energía, y cuestiones medioambientales. A través de sus comités miembros en cerca de 100 países, ha fomentado la participación de la industria privada a lo largo del proceso editorial y consultivo para este informe.

Para más información sobre las actividades y publicaciones de las tres organizaciones, por favor visite los siguientes sitios Web:

PNUD: <http://www.undp.org/seed/eap>

UNDESA: <http://www.un.org/esa>

CME: <http://www.worldenergy.org> ■

Informe Mundial
de Energía

visión global

La energía y el reto de la sostenibilidad

El Informe Mundial de Energía ofrece un historial analítico e información científica para los responsables de la toma de decisiones a todos los niveles. Describe la relación fundamental entre la energía y el desarrollo sostenible, a la vez que analiza cómo la energía puede servir de instrumento para alcanzar ese objetivo. Este resumen sintetiza los hallazgos clave del informe, que se divide en cuatro partes.

La parte 1 (capítulos 1-4) comienza con una introducción a la energía, especialmente su relación con el desarrollo económico. Después analiza los vínculos entre el sistema energético actual y los grandes retos mundiales, incluida la lucha contra la pobreza, la salud, la protección del medio ambiente, la seguridad del abastecimiento de energía y la mejora de vida de la mujer. Estos capítulos ponen de manifiesto que, aunque la energía es crítica para el crecimiento económico y el desarrollo humano, una tercera parte de la humanidad carece de acceso a una energía comercial asequible, y muchos países y personas son vulnerables a las interrupciones en el suministro energético. Además, la producción y uso de la energía tienen unos impactos negativos a nivel local, regional y mundial que amenazan la salud humana y el equilibrio ecológico a largo plazo.

La parte 2 (capítulos 5-8) examina los recursos energéticos y las opciones tecnológicas disponibles para afrontar los retos identificados en la parte 1. Llega a la conclusión de que los recursos físicos son suficientemente abundantes para atender las necesidades energéticas del mundo durante el siglo XXI y posteriormente, pero que su uso puede verse limitado por aspectos ambientales y de otra naturaleza. Después se analizan las opciones para abordar estas cuestiones – mediante una mayor eficiencia energética, energías renovables y tecnologías de próxima generación. El análisis indica que el potencial técnico y económico de las medidas de eficiencia energética está desaprovechado, y que ya es económicamente viable una mayor contribución de los recursos renovables al consumo mundial de energía. A largo plazo, una variedad de nuevas y avanzadas tecnologías de energía renovable pueden proporcionar cantidades sustanciales de energía sin riesgos, a unos costes asequibles y con emisiones casi nulas.

La parte 3 (capítulos 9-10) sintetiza e integra el material presentado en los capítulos anteriores, tratando de ver si es posible un futuro sostenible – que aborde simultáneamente las cuestiones tratadas en la parte 1 utilizando las opciones identificadas en la parte 2. Como forma de responder a esta pregunta, el capítulo 9 ofrece tres hipótesis para examinar cómo podría presentarse el futuro usando diferentes enfoques políticos y avances técnicos. El análisis muestra que una hipótesis de referencia basada en las tendencias actuales no cumple varios criterios de sostenibilidad. Otras dos hipótesis, particularmente una que tiene una orientación ecológica, pueden incorporar más características de desarrollo sostenible. El capítulo 10 examina el reto de llevar energía asequible a las zonas rurales de los países en vías de desarrollo. Ofrece planteamientos para ampliar el acceso a los combustibles líquidos y gaseosos utilizados para cocinar y calentar, y a la electricidad, para satisfacer las necesidades básicas y estimular actividades que generen ingresos.

La parte 4 (capítulos 11-12) analiza cuestiones políticas y opciones que podrían cambiar las actuales prácticas insostenibles en dirección de un desarrollo sostenible (según lo demandado en todas las grandes conferencias de las Naciones Unidas de la década de 1990), usando la energía como instrumento para alcanzar ese objetivo. La creación de sistemas energéticos que respalden el desarrollo sostenible requerirá políticas que aprovechen el mercado para promocionar una mayor eficiencia energética, una mejor utilización de los recursos renovables y el desarrollo y difusión de una energía más limpia de próxima generación. Dadas las señales adecuadas, el mercado podría suministrar una gran parte de lo que se necesita. No obstante, dado que es improbable que las fuerzas del mercado solas satisfagan las necesidades energéticas de los pobres o protejan adecuadamente el medio ambiente, el desarrollo sostenible exige unos marcos (incluidas medidas políticas coherentes y regímenes reguladores transparentes) que aborden estas cuestiones. ■

Por energía sostenible se entiende la energía producida y utilizada de forma que sustente el desarrollo humano en todas sus dimensiones sociales, económicas y medioambientales

Un método para percibir el desarrollo humano consiste en ver las opciones y oportunidades que tienen los ciudadanos. La energía puede ampliar espectacularmente estas opciones. El simple hecho de enjaezar los bueyes, por ejemplo, multiplicó la potencia disponible para el ser humano por un factor de 10. La invención de la rueda hidráulica vertical incrementó la productividad por otro factor de 6; el motor de vapor la volvió a aumentar en otro orden de magnitud. El uso de vehículos a motor redujo notablemente los tiempos de desplazamiento y amplió la capacidad humana para transportar las mercancías a los mercados.

En la actualidad, la disponibilidad de energía asequible y abundante permite que mucha gente disfrute de un confort, movilidad y productividad sin precedentes. En los países industrializados, las personas consumen 100 veces más energía, en términos per cápita, que los seres humanos antes de que aprendiesen a utilizar el potencial de la energía del fuego.¹

Aunque la energía impulsa el crecimiento económico, y es por ello una cuestión clave para todos los países, el acceso a la energía y su utilización varían ampliamente entre ellos, así como entre los ricos y los pobres de cada país. De hecho, dos mil millones de personas – una tercera parte de la población mundial – dependen casi plenamente de fuentes tradicionales de energía, por lo que no pueden aprovechar las oportunidades que permiten las modernas formas de energía (Banco Mundial, 1996; CME-FAO, 1999; PNUD, 1997).² Además, casi todas las facetas de generación y uso de la energía van acompañadas de unos impactos ambientales a nivel local, regional y mundial que amenazan el bienestar humano, ahora y en el futuro.

En la Agenda 21, las Naciones Unidas y sus Estados miembros han respaldado el objetivo del desarrollo sostenible, lo cual implica satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (CMMAD, 1987, p. 8).³ La importancia de la energía como herramienta para conseguir este objetivo fue reconocida en todas las grandes conferencias de las Naciones Unidas durante la década de 1990, comenzando por la Cumbre de la Tierra de Río (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo) en 1992.⁴ Pero los actuales sistemas energéticos, tal como se analizan y resumen en este informe, no abordan las necesidades básicas de todas las personas, y la continuación de las prácticas habituales puede comprometer las perspectivas de las generaciones futuras.

En el presente informe, el término *energía sostenible* se refiere a la producida y utilizada de modo que respalde el desarrollo humano a largo plazo, en todas sus dimensiones sociales, económicas y ambientales. En otras palabras, este término no se refiere simplemente a un suministro continuo de energía, sino a la producción y uso de recursos energéticos de forma que fomenten el bienestar humano y el equi-

librio ecológico a largo plazo, o al menos que sean compatibles con ellos.

Muchas de las actuales prácticas energéticas no encajan en esta definición. Tal como se indica en Agenda 21, “Una gran parte de la energía mundial ...

se produce y consume actualmente de tal manera que no se podrá sostener si la tecnología permanece constante y si las cantidades aumentan considerablemente a nivel mundial” (Naciones Unidas, 1992, capítulo 9.9).⁵ El vínculo entre energía y cambio climático como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (la mayoría de las cuales se producen debido al consumo de combustibles fósiles) fue abordado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en 1992. Y en 1997 una Sesión Especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas identificó que la energía y el transporte eran esenciales para lograr un futuro sostenible, y establecieron objetivos clave en estas áreas.

La industria de la energía también reconoce la necesidad de abordar las cuestiones energéticas en un amplio contexto. Por ejemplo, las conclusiones y recomendaciones del 17º Congreso del Consejo Mundial de Energía reconocen la necesidad de proporcionar energía comercial a aquellos que carecen de ella, y abordar a todos los niveles los impactos medioambientales vinculados a la energía (CME, 1998).⁶

Aunque parece que no hay límites físicos al suministro de energía mundial durante al menos los próximos 50 años, el actual sistema energético es insostenible tanto por motivos de equidad como por cuestiones de carácter ambiental, económico y geopolítico que tendrán repercusiones en el futuro. Los aspectos de la insostenibilidad del actual sistema incluyen:

- No existe un acceso universal a los combustibles modernos y a la electricidad, lo cual representa una falta de equidad con dimensiones morales, políticas y prácticas en un mundo cada vez más interconectado.
- El actual sistema energético no es suficientemente fiable o asequible para apoyar un crecimiento económico generalizado. La productividad de una tercera parte de la población mundial está comprometida por la falta de acceso a energía comercial, y quizás otro tercio sufra dificultades económicas e inseguridad debido a suministros de energía poco fiables.
- Los impactos ambientales negativos de carácter local, regional y mundial derivados de la producción y uso de la energía amenazan la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Más adelante en esta sección, donde se tratan las hipótesis de energía, se identifican elementos más específicos –y más cuantificables– de sostenibilidad. No obstante, antes de examinar el futuro se describen algunas características básicas de la energía y su relación con el desarrollo económico, y se analizan los vínculos entre la energía y los grandes retos mundiales.

La parte 1 analiza los vínculos entre energía y economía, las cuestiones sociales y sanitarias, la protección del medio ambiente y la seguridad, así como los aspectos del uso de la energía que son incompatibles con el objetivo de un desarrollo sostenible. Pone de manifiesto que:

- Dos mil millones de personas no tienen acceso a los modernos y asequibles suministros de energía, incluidos los combustibles gaseosos y líquidos, la electricidad y las tecnologías de uso final más eficientes. Esto limita sus oportunidades de desarrollo económico y de mayores niveles de vida. Las mujeres y los niños cargan con un peso desproporcionado en la dependencia de los combustibles tradicionales.
 - Las grandes disparidades en el acceso a energía comercial y servicios energéticos asequibles no son equitativas, son contrarias al concepto de desarrollo humano y amenazan la estabilidad social.
 - Los suministros poco fiables son una carga económica para una gran parte de la población mundial. Además, la dependencia de los combustibles importados hace que muchos países sean vulnerables a las interrupciones de suministro.
 - La salud humana se ve amenazada por los elevados niveles de contaminación resultantes del uso de la energía a nivel doméstico, comunitario y regional.
 - Los impactos ambientales de un gran número de emisiones vinculadas con la energía —incluidas las partículas finas en suspensión y los precursores de la lluvia ácida— contribuyen a la contaminación del aire y a la degradación del ecosistema.
 - Las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicos, procedentes principalmente de la producción y del consumo de energía, están alterando la atmósfera de tal forma que posiblemente ya tengan una influencia perceptible en el clima global.
- El encontrar formas de ampliar los servicios energéticos, abordando a la vez los impactos ambientales relacionados con el uso de la energía, representa un reto crítico para la humanidad. En las siguientes secciones se analizan los recursos y opciones disponibles para afrontar este reto —eficiencia energética, energías renovables y avanzadas tecnologías energéticas.

Conceptos fundamentales de la energía

Un sistema energético está constituido por un sector de suministro de energía y por tecnologías energéticas de uso final. El objeto del sistema energético es proporcionar a los consumidores los beneficios que la energía ofrece. Para describir estos beneficios se emplea el término *servicios energéticos*. En los hogares, estos beneficios incluyen la iluminación, los alimentos cocinados, temperaturas interiores cómodas, refrigeración y transporte. Los servicios energéticos también son necesarios para la práctica totalidad de las actividades comerciales e industriales. Por ejemplo, muchos procesos industriales necesitan sistemas de calentamiento y enfriamiento, la agricultura necesita potencia motriz y las telecomunicaciones y la electrónica precisan electricidad.

La cadena energética que proporciona estos servicios comienza con la recogida o extracción de la energía primaria que, en una o varias fases, puede ser convertida en un portador energético, como la electricidad o el gasoil, que sea adecuado para utilización final. Los equipos de uso final de la energía —cocinas eléctricas, bombillas, vehículos, maquinaria— convierten la energía final en energía útil, lo cual proporciona los beneficios deseados: los servicios energéticos. En la figura 1 se muestra un ejemplo de cadena energética —comenzando por la extracción de carbón en una mina (energía primaria) y terminando por el acero fabricado como servicio energético.

Los servicios energéticos son el resultado de una combinación de diversas tecnologías, infraestructura (capital), mano de obra especializada (know-how), materiales y energía primaria. Cada una de estas entradas lleva una etiqueta de precio, y se pueden sustituir en parte una por otra. Desde la perspectiva del consumidor, lo más importante es el valor económico o utilidad derivados de los servicios. Los consumidores no son a menudo conscientes de las actividades previas necesarias para producir los servicios energéticos.

El consumo per cápita de energía primaria en los Estados Unidos fue de 330 gigajulios en 1995, más de ocho veces lo consumido por un

africano subsahariano medio (que utilizó 40 gigajulios ese año, incluyendo tanto la energía comercial como la tradicional). Muchas personas de los países menos desarrollados consumen mucho menos. La figura 2 muestra el consumo de energía comercial y no comercial en diversas regiones.

En la mayoría de los países en vías de desarrollo de bajos ingresos, una pequeña y opulenta minoría consume diversas formas de energía comercial casi del mismo modo que la mayoría de las personas del mundo industrializado. Pero la mayoría de los ciudadanos de los países en vías de desarrollo con bajos ingresos utilizan fuentes de energía tradicional, no comercial, empleando tecnologías ineficaces, como cocinas sin ventilar o fuegos abiertos. Las fuentes tradicionales de energía no están reflejadas generalmente en las estadísticas de energía; es común el análisis basado en el consumo per cápita de los recursos energéticos distribuidos comercialmente, ya que los datos son mucho más fáciles de recopilar. Sin embargo, éste no refleja con precisión la situación de la energía en el mundo, motivo por el cual la tabla 1 y la figura 2 incluyen estimaciones del uso de la energía no comercial. Aunque peor documentada, la energía no comercial es muy significativa a nivel mundial, y se utiliza con mucha mayor amplitud que la energía comercial en las zonas rurales de numerosos países en vías de desarrollo, particularmente las naciones menos desarrolladas.

El índice de consumo mundial de energía comercial es miles de veces menor que los flujos de energía del sol a la tierra. El consumo de energía primaria se basa en los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), que representa el 80 por ciento de la combinación total de combustibles (véase la tabla 1). La energía nuclear contribuye con algo más del 6 por ciento, y la potencia eléctrica y las nuevas energías contribuyen cada una con alrededor del 2 por ciento.

A nivel mundial, la energía tradicional (no comercial en su mayor parte) representa alrededor del 12 por ciento de la combinación total de combustibles. Pero la distribución es desigual: la energía no

comercial representa quizás el 2 por ciento del consumo energético en los países industrializados, pero un promedio del 30 por ciento en las naciones en vías de desarrollo. En algunos de estos países con bajos ingresos, la biomasa tradicional representa el 90 por ciento o más del consumo total de energía.

Si continúa la tasa de crecimiento mundial de alrededor del 2 por ciento del uso de energía primaria, se doblará el consumo energético para el año 2035 con respecto al de 1998, y se triplicará para el 2055. En los últimos 30 años, el uso de energía comercial de los países en vías de desarrollo ha aumentado a un ritmo de tres veces y media el de los países de la OCDE, como resultado de los cambios en la forma de vida gracias al incremento de los ingresos personales, unido a unas mayores tasas de crecimiento de la población y a un cambio de la energía tradicional a la comercial. Sin embargo, en términos per cápita, el aumento del consumo total de energía primaria no se ha traducido en un acceso más equitativo a los servicios energéticos entre los países industrializados y las naciones en vías de desarrollo. Está claro que se necesitará más energía para impulsar el crecimiento económico mundial y ofrecer oportunidades a los miles de millones de personas de los países en desarrollo que no tienen acceso a unos servicios energéticos adecuados.

Sin embargo, la cantidad de energía adicional requerida para satisfacer los servicios energéticos que se necesitarán en el futuro dependerá de la eficiencia con la que se produzca, se suministre y se utilice la energía. Las mejoras en eficiencia energética podrían ayudar a reducir las inversiones financieras en nuevos sistemas de suministro de energía, como lo han hecho durante los últimos 200 años. El grado de interdependencia entre la actividad económica y el uso de la energía no es estático ni uniforme entre las regiones. La intensidad energética (la relación entre la demanda de energía y el PIB) depende a menudo de una etapa de desarrollo del país. En los países de la OCDE, que disfrutan de unos mejores servicios energéticos, el crecimiento de la demanda de energía está menos vinculado a la productividad económica que en el pasado (figura 3).

La tendencia hacia una reducción de la intensidad energética a medida que prosigue el desarrollo económico se puede percibir durante un período histórico largo, como se muestra en la figura 4, que incluye ejemplos de los países en vías de desarrollo de China e India. Un análisis detallado a largo plazo de la intensidad energética para diversos países revela un patrón común del uso de la energía, determinado por los siguientes factores:

- El cambio de formas de energía no comercial a comercial, la industrialización y la motorización hacen que aumente inicialmente la relación energía comercial/PIB. (En la década de 1990, esta relación disminuyó en las economías de transición, debido principalmente a un crecimiento económico más lento).
- A medida que prosigue la industrialización y aumentan los ingresos, los efectos de la saturación así como una expansión del sector de los servicios (que consume menos energía), hace que disminuya la relación entre energía comercial y PIB después de alcanzar un pico. Muchos países han pasado por esta máxima intensidad energética, aunque no las naciones en desarrollo con bajos ingresos.
- Como resultado de la transferencia y difusión mundial de las tecnologías, las mejoras en eficiencia energética pueden ser el principal factor restrictivo del crecimiento de la demanda de energía derivada del crecimiento de la población, de la producción y de los ingresos.
- El uso más eficiente de materiales en productos de mejor calidad,

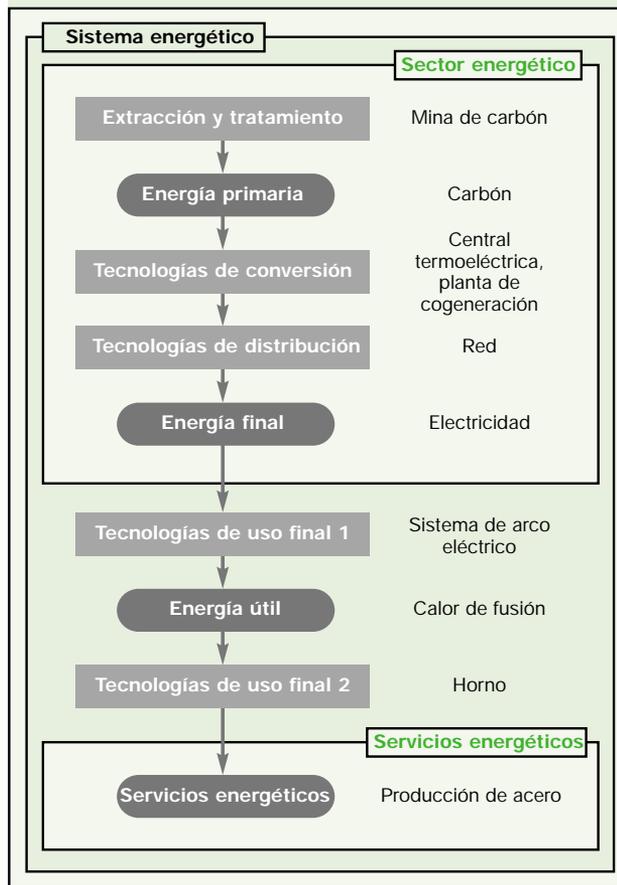
bien diseñados y miniaturizados, el reciclaje de materiales para uso energético, y la saturación de los mercados de volumen de materiales básicos en los países industrializados, contribuyen a una disminución adicional de la intensidad energética.

- En los países en vías de desarrollo, el salto tecnológico hacia el uso de electrodomésticos, maquinaria, procesos, vehículos y sistemas de transporte altamente eficientes ofrece un considerable potencial de mejoras en eficiencia energética.

Todo esto está dando paso a un patrón común del uso de la energía por unidad de PIB en los países industrializados y en vías de desarrollo.

Los precios de la energía influyen en la elección y en el comportamiento de los consumidores y pueden afectar al desarrollo y crecimiento económicos. Unos elevados precios de la energía pueden conducir a un incremento del coste total de las importaciones, con consecuencias adversas para la actividad empresarial, el empleo y el bienestar social. Unos altos precios de la energía también pueden estimular la exploración y el desarrollo de recursos adicionales, servir de acicate para la innovación y proporcionar incentivos para mejoras de la eficiencia.

FIGURA 1. UN EJEMPLO DE LA CADENA ENERGÉTICA DESDE LA EXTRACCIÓN A LOS SERVICIOS



Fuente: Adaptación del capítulo 6.

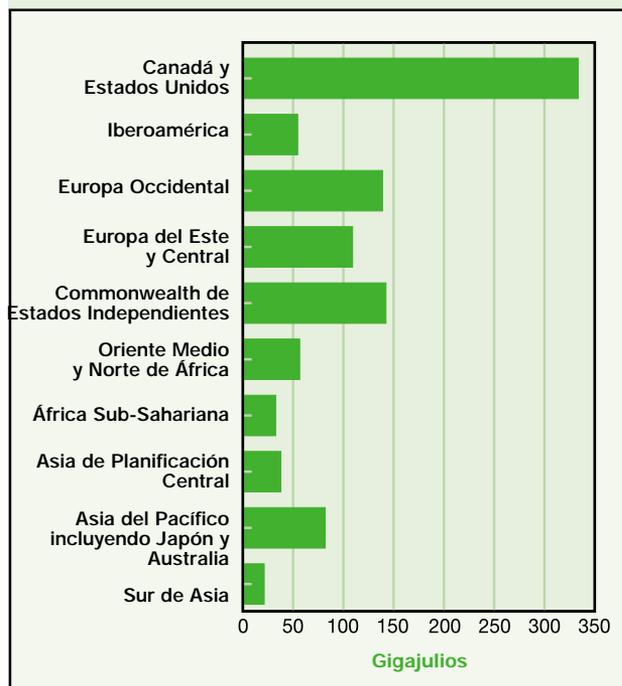
TABLA 1. CONSUMO TOTAL MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA (1998)

Fuente	Energía Primaria (EJ)	Energía primaria (10 ⁹ TEP)	% del total	Ratio R/P Estático (años) ^a	Ratio RB/P (años) ^b	Ratio RB/P (años) ^c
Combustibles Fósiles	320	7.63	79.6			
Petróleo	142	3.39	35.3	45	~ 200	95
Gas Natural	85	2.02	21.1	69	~ 400	230
Carbón	93	2.22	23.1	452	~ 1,500	1,000
Renovables	56	1.33	13.9			
Hidráulica	9	0.21	2.2		Renovable	
Tradicional	38	0.91	9.5		Renovable	
'Nuevas' renovables ^d	9	0.21	2.2		Renovable	
Nuclear	26	0.62	6.5			
Nuclear ^e	26	0.62	6.5	50 ^f	>> 300 ^f	
Total	402	9.58	100.0			

a. Basado en la producción constante y reservas estáticas. b. Incluye reservas y recursos convencionales y no convencionales. c. Los datos se refieren al uso de energía en un escenario de "business as usual" (situación normal) esto es, la producción es dinámica y función de la demanda (ver capítulo 9), aunque estas proporciones pueden cambiar bajo diferentes escenarios. d. Incluye biomasa moderna, mini hidráulica, energía geotérmica, eólica, solar, y energía marina (ver capítulo 7) La biomasa moderna representa cerca de 7 exajulios, y 2 exajulios vienen de todas las otras renovables. e. Conversión de electricidad producida a combustible consumido, asumiendo un 33 por ciento de eficiencia térmica de plantas de potencia. f. Basado en una pasada de ciclo de combustible de uranio, excluyendo torio y baja concentración de uranio del agua de mar. La base de los recursos de uranio es efectivamente 60 veces más grande si se utilizan reactores de alimentación rápidos.

Fuente: Capítulo 5.

FIGURA 2. CONSUMO PER CÁPITA DE ENERGÍA PRIMARIA (COMERCIAL Y NO COMERCIAL) POR REGIONES, 1995



Fuente: Banco Mundial, 1997; WRI, 1998.

Aunque algunos impactos de los precios de la energía son muy constantes, otros son más transitorios. Por ejemplo, los diferentes niveles de precios absolutos han tenido poco efecto en el desarrollo económico de los países europeos de la OCDE o del Japón con relación a los precios mucho más bajos de la energía en los Estados Unidos y en algunos países en vías de desarrollo. Lo que afectó el crecimiento económico de todos los países importadores de energía fueron las grandes variaciones de precios de la década de 1970. Parece que las economías son más sensibles a los cambios de precio que a los precios per se.

La inversión de capital es un requisito para el desarrollo energético. El desarrollo y el cambio estructural de los sistemas energéticos son resultado de la inversión en plantas, equipos e infraestructura para dichos sistemas. Las dificultades a la hora de atraer capital para invertir en energía pueden obstaculizar el desarrollo económico, especialmente en los países menos desarrollados. Los escasos fondos públicos, sobre todo en los países en vías de desarrollo, son imprescindibles para numerosos proyectos —desde desarrollo rural, educación y prestaciones sanitarias hasta suministros de energía. A menudo se piensa que el suministro de energía puede generar beneficios con mayor rapidez que cualquier otra alternativa. Por ello, las inversiones energéticas se consideran, cada vez más, un asunto del sector privado. Sin embargo, hay muchos países en desarrollo donde los fondos privados no fluyen por diversas razones, especialmente los riesgos para los inversores.

La inversión directa extranjera se aproximó a 400.000 millones de dólares en 1997 —50.000 millones en 1984— y representa una parte creciente de los flujos de ingresos internacionales⁷. La inversión directa extranjera tiene generalmente una motivación comercial y los inversores no sólo esperan recuperar el capital inicial, sino que cuentan también con obtener unos rendimientos competitivos. Estos resultados

Dos mil millones de personas de todo el mundo no tienen acceso a la electricidad, y un número igual de personas continúa utilizando los combustibles sólidos tradicionales para cocinar

no se pueden garantizar en los países en vías de desarrollo, con unos gobiernos potencialmente frágiles o sin mercados libres. De hecho, los países menos desarrollados reciben muy poca inversión directa extranjera.

A diferencia de la inversión directa extranjera, la ayuda oficial al desarrollo ha permanecido estable con relación al producto mundial bruto. En 1997, ascendió a 56.000 millones de dólares, o el 0.25 por ciento del PIB de los países de la OCDE —que han acordado en principio un objetivo del 0.7 por ciento del PIB⁸. Con este telón de fondo, la financiación es inadecuada para los proyectos de energía en los países en vías de desarrollo. Hasta que se puedan controlar los riesgos económicos para los inversores extranjeros (por ejemplo, mediante unas reglas claras y estables para los mercados de la energía y las finanzas, una generación constante de ingresos a través del cobro de las facturas, y transferencias de beneficios), es posible que los países en desarrollo tengan que continuar financiando su desarrollo energético con los ahorros internos.

Aunque la inversión energética como parte de la inversión total varía notablemente entre países y entre las diferentes etapas de desarrollo económico, alrededor del 1.0-1.5 por ciento del PIB se invierte en el sector de la energía. Se espera que esta relación permanezca relativamente estable. Ateniéndonos a estas reglas básicas, la inversión actual del sector suministrador de la energía totaliza 290-430.000 millones de dólares al año. Pero aquí no se incluye la inversión en eficiencia de la energía de uso final.

La energía y los aspectos sociales

El uso de la energía está estrechamente vinculado a una serie de aspectos sociales, incluida la lucha contra la pobreza, el crecimiento de la población, la urbanización y la falta de oportunidades para la mujer. Aunque estos aspectos afectan a la demanda de energía, la relación es de doble sentido: la calidad y cantidad de servicios energéticos, y la forma en que se consiguen, también afecta a las cuestiones sociales.

La pobreza es el problema social más importante de los países en vías de desarrollo. Alrededor de 1.300 millones de personas del mundo en desarrollo viven con menos de 1 dólar al día. Sin embargo, la medida de los ingresos por sí sola no refleja plenamente la miseria y la ausencia de elección que representa la pobreza. Los patrones de consumo de energía de los pobres —especialmente su dependencia de los combustibles tradicionales en las zonas rurales— tiende a mantenerlos empobrecidos.

A nivel mundial, 2.000 millones de personas no tienen acceso a la electricidad y continúan usando combustibles sólidos tradicionales para cocinar. Como se muestra en la siguiente sección, utilizar cocinas mal ventiladas tiene unos impactos significativos para la salud. Además, cientos de millones de personas —principalmente mujeres y niños— dedican varias horas del día a recoger leña y acarrear agua, frecuentemente a distancias considerables, para atender las necesidades del hogar. Debido a estas demandas de su tiempo y energía, las mujeres y los niños pierden a menudo oportunidades de educación y otras actividades productivas.

La falta de electricidad significa normalmente una iluminación inadecuada y pocos electrodomésticos que permitan ahorrar mano de obra, así como una limitación de las telecomunicaciones y de las posibilidades para la empresa privada. Un mayor acceso a la electricidad y

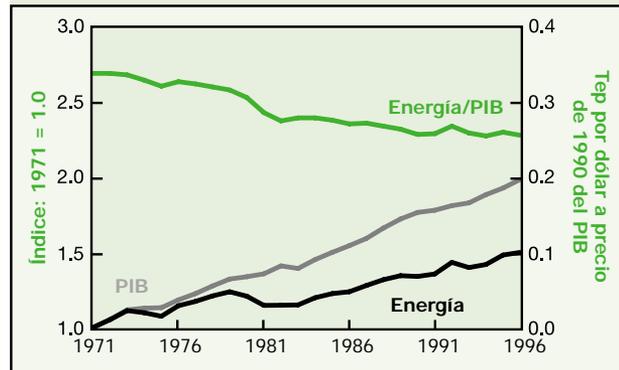
a los modernos combustibles y estufas para cocinar, puede permitir que las personas disfruten de adelantos a corto y a largo plazo en su calidad de vida. La tabla 2 resume algunas de las mejoras específicas que pueden producirse.

Unos ingresos limitados pueden obligar a que se utilicen combustibles tradicionales y tecnologías ineficaces en los hogares. La figura 5 muestra la demanda media de energía primaria para diversos combustibles en función de los niveles de ingresos en Brasil. Para hogares de salarios bajos, la leña es el combustible dominante. Con ingresos más elevados, la madera es reemplazada por combustibles comerciales y electricidad, que ofrecen mayor comodidad, eficiencia energética y limpieza. Dado que una energía cómoda y asequible puede contribuir a la productividad y al potencial de generación de ingresos de un hogar, su disponibilidad puede convertirse en una palanca para salir de un ciclo de pobreza.

Aunque el crecimiento de la población tiende a que se produzca un incremento de la demanda de energía, es menos conocido el hecho de que la disponibilidad de unos servicios energéticos adecuados puede reducir las tasas de natalidad. Unos servicios energéticos apropiados pueden desplazar los beneficios y costes relativos de la fertilidad hacia un menor número de nacimientos deseados en una familia. Una aceleración de la transición demográfica hacia una baja mortalidad y una baja fertilidad (como ha ocurrido en los países industrializados) depende de trabajos de desarrollo cruciales, incluida la mejora del medio ambiente local, la formación de las mujeres y la eliminación de la pobreza extrema, que puede convertir la mano de obra infantil en una necesidad. Todas estas tareas tienen vínculos con la disponibilidad de unos servicios energéticos de bajo coste.

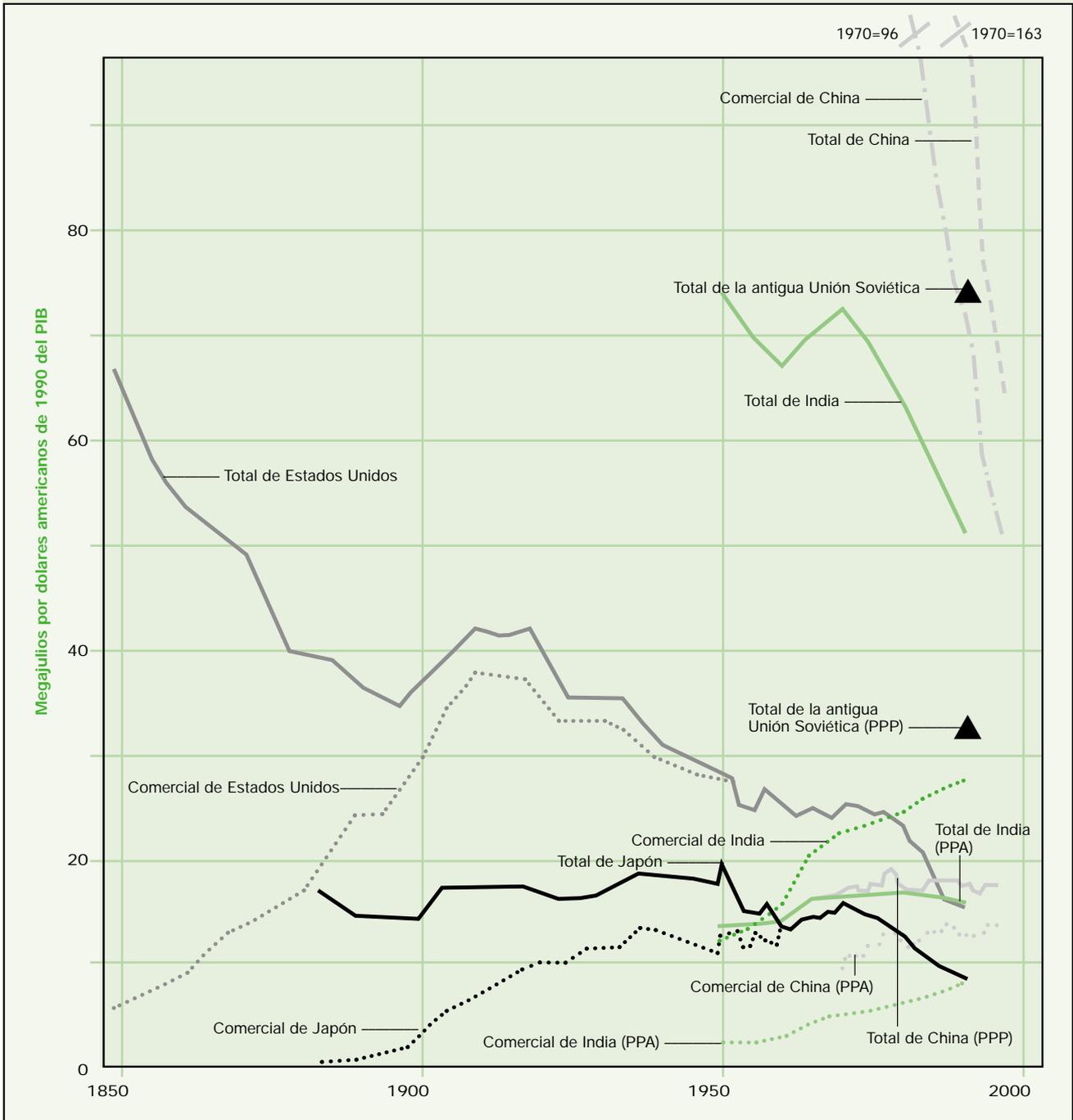
La creciente concentración de población en los centros urbanos es otro aspecto demográfico clave vinculado a la energía. Aunque la tendencia general hacia la urbanización tiene muchos componentes y puede ser inevitable, el ofrecer más opciones a los residentes rurales mediante intervenciones en materia de energía podría retardar potencialmente la migración y reducir la presión en las ciudades de rápido crecimiento. Si bien es cierto que los factores externos negativos relacionados con el uso de la energía en las zonas urbanas pueden ser

FIGURA 3. PIB Y EL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN LOS PAÍSES OCDE, 1971-1996



Fuente: IEA, 1999.

FIGURA 4. TENDENCIAS HISTÓRICAS DE INTENSIDAD ENERGÉTICA PRIMARIA EN LOS DIVERSOS PAÍSES SELECCIONADOS, 1850-2000



Se muestran dos trayectorias de intensidad energética para Japón y Estados Unidos, una basada en el consumo energético total procedente de todas las fuentes, y otra sólo en la energía comercial. Las trayectorias convergen donde las fuentes tradicionales han sido reemplazadas por energía comercial. Debido a las distorsiones producidas por las fluctuaciones del mercado, las trayectorias de intensidad energética para China e India se calculan de dos maneras; usando la energía total y comercial, dividido por el PIB medido a los tipos de cambio del mercado (al igual que con Japón y Estados Unidos), y dividido por el PIB medido por la paridad de poder adquisitivo (PPP). Las intensidades energéticas de la antigua Unión Soviética, derivadas tanto de los tipos de cambio del mercado como de la PPP, son únicamente puntos de datos.

Fuente: Nakicenovic Grubler y McDonald 1998

severos, diversas estrategias pueden mitigar sus efectos y fomentar la conservación de la energía. Teniendo en cuenta la energía en la planificación del uso de la tierra, en el diseño de la infraestructura física, en las normas de construcción y en los sistemas de transporte, se puede reducir un poco el crecimiento de la demanda de energía que acompaña a la urbanización rápida.

Los sistemas de transporte pueden ser especialmente importantes en este aspecto, dado el rápido crecimiento del número de vehículos a motor en el mundo. Desde alrededor de 1970, la flota mundial ha aumentado en 16 millones de vehículos al año, y es probable que haya más de 1.000 millones de automóviles en el año 2020. La mayoría de estos automóviles circularán en las ciudades del mundo en desarrollo, donde crearán más congestión, agravarán la contaminación urbana y socavarán la salud humana, incluso con proyecciones optimistas sobre

TABLA 2. LAS OPCIONES RELACIONADAS CON LA ENERGÍA PARA ABORDAR LAS CUESTIONES SOCIALES	
Reto social	Vínculos/intervenciones con la energía
Aliviar la pobreza en los países en vías de desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar la salud y aumentar la productividad proporcionando acceso universal a unos servicios energéticos adecuados, particularmente para cocinar, iluminación y transporte, a través de portadores de energía y aparatos de uso final que sean asequibles, de alta calidad, seguros y ambientalmente aceptables. Facilitar la disponibilidad de energía comercial para ampliar las oportunidades de generar ingresos.
Ampliar las oportunidades para la mujer	<ul style="list-style-type: none"> Alentar el uso de cocinas mejoradas y combustibles líquidos o gaseosos para reducir la contaminación interior y mejorar las condiciones sanitarias de la mujer. Apoyar el uso de una energía comercial asequible que minimice las arduas labores físicas en el hogar y en el trabajo. Utilizar las habilidades emprendedoras y de gestión que poseen las mujeres para desarrollar, ejecutar y obtener beneficios de los sistemas energéticos descentralizados.
Acelerar la transición demográfica (a baja mortalidad y baja fertilidad)	<ul style="list-style-type: none"> Reducir la mortalidad infantil mediante la introducción de combustibles y dispositivos de cocinar más limpios, así como un suministro de agua potable segura. Emplear iniciativas en materia de energía para cambiar los beneficios y costes relativos de la fertilidad (por ejemplo, unos servicios energéticos adecuados pueden reducir la necesidad de mano de obra física infantil para las tareas domésticas). Influir en las actitudes sobre el tamaño de la familia y las oportunidades para las mujeres a través de comunicaciones cuyo acceso sea posible merced a los modernos portadores de energía.
Mitigar los problemas relacionados con la urbanización rápida	<ul style="list-style-type: none"> Reducir el factor de "empuje" en la migración del campo a la ciudad, mejorando los servicios energéticos en los asentamientos rurales. Aprovechar las ventajas de los asentamientos de alta densidad mediante la planificación territorial. Proporcionar acceso universal a unos servicios asequibles de transporte multimodal y público. Aprovechar las ventajas de las nuevas tecnologías para evitar procesos de desarrollo con gran consumo de energía y ambientalmente inseguros.

Fuente: Capítulo 2.

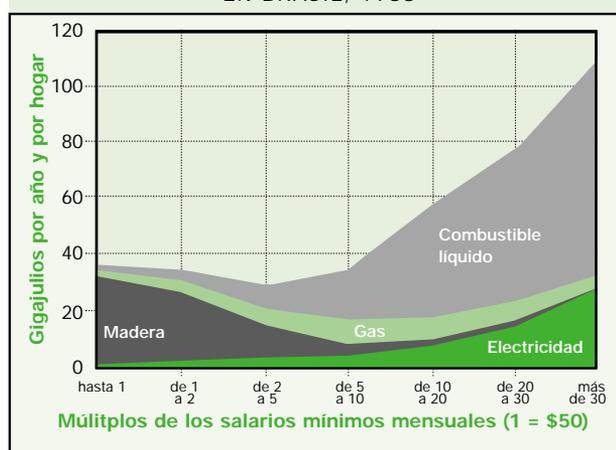
las mejoras de eficiencia y combustibles alternativos.

En los países en desarrollo, para abordar las necesidades energéticas de los pobres, que representan una gran mayoría, serán necesarios unos importantes cambios estructurales. Por otra parte, en los países industrializados el acceso adecuado a una energía asequible es problemático sólo para una minoría, y por tanto más susceptible a soluciones de política social. Sin embargo, los hogares pobres de todo el mundo dedican a la energía una parte de sus ingresos mayor que los ricos, lo cual les hace vulnerables a un rápido incremento del precio de la energía. El aumento del precio del petróleo en el invierno de 1999/2000, por ejemplo, supuso que muchas personas pasaran dificultades, incluso en algunos países industrializados.

Erradicar la pobreza es un objetivo de desarrollo a largo plazo. Pero, mucho antes de que se logre este objetivo, unos servicios energéticos cómodos y asequibles podrían mejorar espectacularmente los niveles de vida y ofrecer más oportunidades a los ciudadanos. La actual falta de equidad es insostenible. Si se satisfacen las necesidades energéticas de los pobres con las modernas tecnologías, se podrá mejorar el nivel de vida y salud así como crear nuevos puestos de trabajo y oportunidades de negocio. Permitir que una tercera parte de la población del mundo continúe sufriendo las penalidades relacionadas con la energía tradicional es inaceptable tanto desde el punto de vista humanitario como moral. Tomar medidas para que la energía comercial esté ampliamente disponible también tiene sentido desde una perspectiva política. La ola de democratización que barre el mundo está poniendo el poder político en manos de personas que padecen privaciones económicas. Las sociedades con graves desigualdades tienden a ser inestables, y las grandes poblaciones que se encuentran por debajo de la línea de la pobreza son terreno abonado para las revueltas sociales.

La energía, el medio ambiente y la salud
 Los impactos ambientales derivados del uso de la energía no son nuevos. Durante siglos, la quema de madera ha contribuido a la deforestación de muchas áreas. Incluso en las primeras fases de la indus-

FIGURA 5. DEMANDA MEDIA TOTAL ANUAL DE ENERGÍA POR SEGMENTO DE INGRESOS EN BRASIL, 1988



Fuente: De Almeida y de Oliveira, 1995

tralización, la contaminación local del aire, del agua y de la tierra alcanzó unos grandes niveles. Lo que es relativamente nuevo es el reconocimiento de los vínculos entre la energía y los problemas ambientales de ámbito regional y mundial, y de sus consecuencias. Aunque el potencial de la energía para mejorar el bienestar de las personas es incuestionable, la producción y el consumo de energía convencional están estrechamente vinculados a la degradación del medio ambiente⁹.

Esta degradación amenaza a la salud humana y a la calidad de vida a corto plazo, y afecta al equilibrio ecológico y a la diversidad biológica a largo plazo.

En la tabla 3 se ilustran los vínculos entre medio ambiente y energía. Esta tabla muestra la cuota de emisiones tóxicas y de otros contaminantes atribuibles al suministro de energía. El índice de disrupción humana es la relación entre el flujo generado por los humanos de un

TABLA 3. AGRESIONES AMBIENTALES DEBIDO A LAS ACTIVIDADES HUMANAS, POR SECTOR, A MEDIADOS DE LA DÉCADA DE 1990

Agresiones	Línea base natural	Índice de disrupción humana ^a	Cuota de disrupción humana ocasionada por:			
			Suministro de energía comercial	Suministro de energía tradicional	Agricultura	Fabricación, otros
Emisiones de plomo a la atmósfera ^b	12.000 t/año	18	41 por ciento (combustión de combustibles fósiles, incluidos los aditivos)	Pequeño	Pequeño	59 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Aceite añadido a los océanos	200.000 t/año	10	44 por ciento (petróleo, cosechas, proceso, transporte)	Insignificante	Insignificante	56 por ciento (eliminación de residuos de aceite, incluidos los cambios de aceite de motor)
Cadmio Emisiones a la atmósfera	1.400 t/año	5,4	13 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	5 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	12 por ciento (incendios agrícolas)	70 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Total azufre Emisiones a la atmósfera	31 millones t-S/año	2,7	85 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	0,5 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	1 por ciento (incendios agrícolas)	13 por ciento (fusión, incineración de residuos)
Flujo de metano a la atmósfera	160 millones t/año	2,3	18 por ciento (combustibles fósiles, cosechas y proceso)	5 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	65 por ciento (arroz sin desgranar, animales domésticos, limpieza de terrenos)	12 por ciento (vertederos)
Fijación del nitrógeno (como NO _x , NH ₄) ^c	140 millones (t-N/año)	1,5	30 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	2 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	67 por ciento (fertilizantes, incendios agrícolas)	1 por ciento (incineración de residuos)
Mercurio Emisiones a la atmósfera	2.500 t/año	1,4	20 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	1 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	2 por ciento (incendios agrícolas)	77 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Oxido nitroso Flujos a la atmósfera	33 millones t/año	0,5	12 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	8 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	80 por ciento (fertilizantes, limpieza de terrenos, disrupción de acuiferos)	Pequeño
Partículas Emisiones a la atmósfera	3.100 millones t/año ^d	0,12	35 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	10 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	40 por ciento (incendios agrícolas)	15 por ciento (fusión, limpieza de terrenos no agrícolas, residuos)
Hidrocarburos que no contienen metano Emisiones a la atmósfera	1.000 millones t/año	0,12	35 por ciento (proceso y combustión de combustibles fósiles)	5 por ciento (combustión de combustibles tradicionales)	40 por ciento (incendios agrícolas)	20 por ciento (limpieza de terrenos no agrícolas, incineración de residuos)
Dióxido de carbono Flujos a la atmósfera	150.000 millones t-C/año	0,05 ^e	75 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	3 por ciento (deforestación neta para leña)	15 por ciento (deforestación neta para limpieza de terrenos)	7 por ciento (deforestación neta para madera, fabricación de cemento)

Nota: La magnitud de la agresión es sólo un factor que determina el tamaño del impacto ambiental real.

a El índice de disrupción se define como la relación entre el flujo generado por los humanos y el flujo natural (de línea base). b. En esta tabla se asume que la parte correspondiente a la automoción de las emisiones de plomo inducidas por el hombre representa un 50 por ciento. c. Calculado en base a la fijación total del nitrógeno menos la de N₂O. d. Masa seca. e. Aunque aparentemente pequeño, debido a la larga vida atmosférica y otras características del CO₂, este ligero desequilibrio de los flujos naturales de CO₂ ocasiona un incremento anual de 0,4 por ciento en la concentración atmosférica mundial.

Fuente: Capítulo 3.

Numerosas estrategias energéticas pueden beneficiar simultáneamente al medio ambiente, la economía y al bienestar humano

contaminante dado (como el dióxido de azufre) y el flujo natural, o de línea base. Así pues, en el caso del azufre, el índice es de 2.7, lo que significa que las emisiones generadas por el hombre de 84 millones de toneladas al año son 2.7 veces el flujo natural de línea base de 31 millones de toneladas al año. La tabla indica que, junto con otras actividades humanas, los sistemas energéticos afectan significativamente a los ciclos mundiales de productos químicos importantes. Aunque el índice, por sí mismo, no demuestra que estas emisiones se traduzcan en impactos negativos, sus magnitudes representan un aviso de que podrían llegar a ser considerables. Algunos impactos, como se analiza más adelante, ya son significativos.

En el transcurso de los últimos 100 años, durante los cuales la población mundial se triplicó con creces, los ataques al medio ambiente por parte de los humanos han pasado de perturbaciones locales a alteraciones de alcance mundial.¹⁰ Las alteraciones humanas del siglo XX —impulsadas por un crecimiento de más de 20 veces del consumo de combustibles fósiles y acrecentadas por una multiplicación del uso de formas tradicionales de energía como la biomasa— han dado como resultado que la civilización sea una fuerza ecológica y geoquímica mundial. En otras palabras, el impacto acelerador de la vida humana está alterando el mundo a nivel global.

A todos los niveles (local, regional, mundial), las consecuencias ambientales de los actuales patrones de generación y uso de la energía constituyen una parte significativa de los impactos que producen las personas en el medio ambiente. A nivel familiar, el combustible sólido utilizado para cocinar y calentar tiene unos impactos significativos en la salud. La mala calidad del aire —a nivel familiar, local y regional— está asociada con un aumento de las enfermedades y la muerte prematura. Se calcula que se producen alrededor de 2 millones de muertes prematuras al año —en mayor proporción mujeres y niños— como consecuencia de la exposición a la contaminación interior que se produce al quemar combustibles sólidos en espacios mal ventilados. Las partículas (tanto las que se emiten directamente como las que se forman en el aire como resultado de las emisiones de precursores gaseosos en forma de óxidos de azufre y nitrógeno) y los hidrocarburos, han suscitado una creciente preocupación a nivel mundial. Son especialmente problemáticos en muchas partes del mundo en vías de desarrollo, donde predominan los combustibles sucios con poca reducción de las emisiones. No se ha establecido ningún umbral seguro para la exposición a las partículas pequeñas.

La combustión de combustibles fósiles es problemática a varios niveles (aunque el gas natural produce muchas menos emisiones nocivas que el petróleo o el carbón). Los principales contaminantes que se emiten con la combustión de combustibles fósiles son los óxidos de azufre y de nitrógeno, el monóxido de carbono y las partículas suspendidas. El ozono se forma en la troposfera debido a la interacción entre los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y la luz del sol. Las emisiones relacionadas con la energía de la combustión de combustibles fósiles, incluido el sector del transporte, contribuyen de forma importante a la contaminación atmosférica de las ciudades. Los precursores de la lluvia ácida debido a la combustión de los combustibles se pueden precipitar a miles de kilómetros de su punto de origen, a menudo cruzando las fronteras nacionales. La acidificación resultante está ocasionando daños significativos a los sistemas naturales, a las cosechas y a

las estructuras fabricadas por el hombre. Y, con el tiempo, pueden alterar la composición y función de ecosistemas completos. En muchas regiones, la acidificación ha hecho disminuir la productividad de bosques, pesquerías y tierras de explotación. Los grandes proyectos de potencia hidroeléctrica despiertan a menudo inquietudes rela-

cionadas con las inundaciones, mientras que en el caso de la energía nuclear, lo que preocupa es la eliminación de los residuos.

La combustión de combustibles fósiles produce más dióxido de carbono (CO₂) que cualquier otra actividad humana. Esta es la mayor fuente de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero que están cambiando la composición de la atmósfera y podrían alterar el sistema climático mundial, incluida la cantidad y pauta de precipitaciones. La consecución de una concentración atmosférica estable de CO₂ a cualquier nivel haría necesario reducir eventualmente las emisiones de CO₂ a más de la mitad de los niveles actuales. La estabilización de CO₂ a un nivel próximo a la concentración actual haría necesario reducir las emisiones a la mitad de los actuales niveles en las próximas décadas. Pero en cambio, las emisiones de CO₂ continúan aumentando. Si no se controlan, las actuales tendencias de emisión de CO₂ harán que se dupliquen con creces las concentraciones atmosféricas antes de 2070, con relación a los niveles preindustriales. Se han observado cambios en las pautas climáticas que corresponden a proyecciones científicas basadas en concentraciones crecientes de gases de efecto invernadero. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, las pruebas disponibles sugieren que ya es perceptible la influencia humana en el clima global.

Dado que, por definición, los sistemas de energía sostenible deben respaldar tanto la salud humana como la de los ecosistemas a largo plazo, los objetivos sobre emisiones tolerables deben centrarse en el futuro. También deben tener en cuenta la tendencia de los ciudadanos a exigir una mayor protección de la salud y del medio ambiente a medida que aumenta la prosperidad.

Aunque el alcance de los problemas ambientales relacionados con la energía puede parecer abrumador, numerosas estrategias de “ganar-ganar” podrían beneficiar simultáneamente al medio ambiente (a varios niveles), a la economía y al bienestar. Por ejemplo, la sustitución de los combustibles sólidos para cocinar por combustibles gaseosos o líquidos, podría tener unas importantes ventajas ambientales a escala local, comunitaria, regional y mundial, con los correspondientes beneficios para la salud y la productividad.

Seguridad del abastecimiento de energía

La seguridad del abastecimiento de energía significa la disponibilidad de energía en todo momento y en diversas formas, en cantidades suficientes y a precios asequibles. Para que la energía contribuya a un desarrollo sostenible, estas condiciones deben prevalecer a largo plazo.

La atención a la seguridad del abastecimiento de energía es crítica, debido a la desigual distribución tanto de los recursos de combustibles fósiles (de los que dependen actualmente la mayoría de los países), como de la capacidad para desarrollar otros recursos. El suministro de energía podría volverse más vulnerable a corto plazo debido a la creciente dependencia mundial del petróleo importado. Por ejemplo, está previsto que la dependencia del petróleo (importaciones netas como parte de la demanda total) de los países de la OCDE crezca del 56 por ciento en 1996 al 72 por ciento en 2010.

Además, aunque la seguridad del abastecimiento de energía ha sido adecuada durante los últimos 20 años, y de hecho ha mejorado, no se puede descartar el potencial de conflicto, sabotaje, interrupción del comercio y la reducción de las reservas estratégicas. Estas amenazas potenciales señalan la necesidad de fortalecer la seguridad del abastecimiento de energía, tanto a nivel mundial como regional y nacional. Las opciones para mejorar la seguridad del abastecimiento de energía incluyen:

- Evitar una dependencia excesiva de las importaciones, mejorando la eficacia de la utilización final y alentando una mayor confianza en los recursos locales (particularmente aquellos cuyo desarrollo tendrá otros efectos externos positivos, como la creación de puestos de trabajo, el incremento de la capacidad y la reducción de la contaminación), siempre y cuando éstos no impliquen unos costes desproporcionados o el derroche de recursos escasos.
- Diversificar el suministro (incluyendo tanto los proveedores como las formas de energía).
- Fomentar una mayor estabilidad política mediante la cooperación internacional y acuerdos a largo plazo entre los países importadores de energía, y entre los países importadores y exportadores. Por ejemplo, una mayor adopción —y una implantación más eficaz— del Tratado sobre la Carta de la Energía,¹¹ así como compartir la infraestructura para transportar el gas natural.
- Estimular las transferencias de tecnología (por ejemplo, mediante empresas mixtas y asociaciones entre el sector público y el sector privado) a los países en vías de desarrollo, de modo que puedan desarrollar los recursos locales y mejorar la eficiencia energética.
- Aumentar las reservas estratégicas nacionales y regionales de petróleo crudo y de productos derivados del petróleo mediante una mayor inversión y modernas tecnologías de exploración.

Aunque los mercados juegan un papel destacado a la hora de asegurar el suministro de energía en los países de la OCDE, su papel es modesto en algunos países en vías de desarrollo, y ausente en otros. En aquellos lugares donde los mercados no florecen, la seguridad de suministro y los servicios dependen casi exclusivamente de la acción gubernamental y de las compañías multinacionales, que puede que no sirvan de la mejor manera los intereses de los consumidores. En tales situaciones, la seguridad del abastecimiento de energía se puede mejorar fomentando el desarrollo de marcos que permitan a los mercados contribuir a la asignación de los recursos energéticos.

Debido a los bajos requisitos de combustible, la energía nuclear contribuye a la diversidad de suministro y a la seguridad del mismo. Pero las preocupaciones públicas sobre la necesidad económica, la seguridad de los reactores y el transporte y eliminación de los residuos radioactivos —así como la proliferación de armas— han frenado el desarrollo de la energía nuclear en muchos países. Un accidente nuclear en cualquier parte del mundo, o un incidente de proliferación vinculado con la energía nuclear, podrían reducir aún más el apoyo a los programas de energía nuclear, con una pérdida a largo plazo de la diversidad de la mezcla de suministro de energía. Pero si se pudiesen encontrar respuestas generalmente aceptadas a las citadas cuestiones, la energía nuclear podría contribuir significativamente a garantizar la generación de electricidad en muchas partes del mundo.

Los ciudadanos y las empresas privadas también son vulnerables a las interrupciones del suministro de energía. Aunque la tendencia a la liberalización de los mercados de la energía ha hecho que mejore en términos generales la seguridad del abastecimiento, ofreciendo más opciones, suministros y competencia, también ha suscitado la preocupación de que los pobres quedarán fuera del proceso, traducándose en una continua inseguridad del abastecimiento de energía para una parte de la población.

PARTE 2. RECURSOS ENERGÉTICOS Y OPCIONES TECNOLÓGICAS

Están disponibles —o podrían estar disponibles— recursos físicos y oportunidades técnicas para afrontar el reto de un desarrollo sostenible. Pero sin cambios de política, los diferenciales de coste pueden favorecer a los combustibles convencionales durante años. Las opciones para usar la energía de forma sostenible, haciendo necesario que se aborden las cuestiones ambientales, incluyen:

- **Uso más eficiente de la energía, especialmente en el punto de utilización final en edificios, electrodomésticos, vehículos y procesos de producción.**
- **Mayor confianza en las fuentes de energía renovable.**
- **Desarrollo acelerado y despliegue de nuevas tecnologías energéticas, particularmente tecnologías de combustibles fósiles de próxima generación que produzcan unas emisiones nocivas prácticamente nulas —pero también tecnologías nucleares, si se pueden resolver los problemas asociados con la energía nuclear.**

Las tres opciones tienen un considerable potencial, pero para la realización de este potencial será necesario que se eliminen los obstáculos para una mayor difusión, se desarrollen señales de mercado que reflejen los costes ambientales y se fomente la innovación tecnológica.

Recursos energéticos

Un análisis minucioso de la disponibilidad a largo plazo de recursos energéticos, comenzando por el petróleo y el gas convencional y no convencional, indica que estos recursos podrían durar otros 50-100 años —y posiblemente mucho más— con las tecnologías de exploración y extracción conocidas, y los avances técnicos previstos en las operaciones previas. Los recursos de carbón y materiales nucleares son tan abundantes que podrían durar, respectivamente, siglos o milenios. Además, aunque los precios de los combustibles fósiles pueden

augmentar lentamente con el tiempo, las grandes subidas de los precios de la energía a causa de los costes que se proyectaron en las décadas de 1970 y 1980, no tendrán lugar en el futuro previsible.

Sin embargo, tal como se ha podido comprobar con la subida del precio del petróleo en el invierno de 1999/2000, los precios están sujetos a volatilidad. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si los consorcios establecen los precios con independencia de los costes de producción. También se pueden esperar algunas fluctuaciones de los precios, especialmente durante la transición a una utilización a gran escala de los recursos no

Durante los próximos 20 años, la cantidad de energía primaria necesaria para un nivel determinado de servicios energéticos podría reducirse de forma eficaz entre un 25-35 por ciento en los países industrializados

convencionales de petróleo y gas, ya que es posible que la periodificación de las inversiones en las capacidades de producción previas no corresponda con la demanda. Podrían surgir otros factores que hagan incrementar los costes, debido a la extracción más ardua, en términos medioambientales, de recursos no convencionales del petróleo.

Los recursos renovables están distribuidos más uniformemente que los recursos fósiles y nucleares, y los flujos de energía de los recursos renovables superan al uso actual de energía mundial en más de tres veces. Pero el potencial económico de los recursos renovables se ve afectado por muchos obstáculos — incluida la competencia por la utilización del suelo, la cantidad y duración de la radiación solar, las cuestiones medioambientales y los regímenes de viento.

Aunque no hay limitaciones reales sobre la futura disponibilidad de energía desde el punto de vista de los recursos, la existencia de éstos tiene poca importancia si no se considera la forma en que pueden contribuir a la prestación de los servicios energéticos posteriores. Más bien, las cuestiones clave son: ¿Se pueden desarrollar a tiempo las tecnologías para extraer y convertir estos enormes stocks y flujos de energía? ¿Tendrán estos procesos consecuencias adversas? ¿Serán asequibles los servicios energéticos generados eventualmente a partir de estos recursos? La evidencia histórica sugiere que estos problemas pueden ser al menos contrarrestados parcialmente por los avances tecnológicos, pero hay que alentar estos avances —mediante reglamentos que mejoren el comportamiento del mercado, subvenciones temporales, incentivos fiscales u otros mecanismos —para que sucedan de forma oportuna.

Eficacia en la utilización final de la energía

La cuadruplicación de los precios del petróleo en la década de 1970, la creciente concienciación sobre la contaminación relacionada con la energía y la posibilidad del cambio climático han contribuido a una reevaluación del uso de la energía. El resultado ha sido una mejora de la eficiencia con que se utiliza la energía en la industria y en la generación de potencia así como en iluminación, electrodomésticos, transporte y calefacción y refrigeración de edificios. Este uso más eficiente de la energía es un factor importante que contribuye a las mejoras en la intensidad energética que han tenido lugar históricamente en casi todos los países de la OCDE, y más recientemente en muchas economías de transición y en algunos países en desarrollo de rápido crecimiento, como Brasil y China.

Actualmente, la eficiencia energética mundial de convertir la energía primaria en energía útil (véase la figura 1) es aproximadamente un tercio. En otras palabras, dos tercios de la energía primaria se disipa en los procesos de conversión, principalmente en forma de calor de baja temperatura. Otras pérdidas significativas se producen cuando la energía útil proporciona el servicio energético. Existen numerosas y variadas oportunidades económicas para mejorar la eficiencia energética, particularmente en esta fase de conversión final de energía útil en servicios energéticos. El aprovechamiento de estas oportunidades, que han recibido relativamente poca atención, ofrece el mayor potencial de mejoras rentables de la eficiencia. Significaría unos servicios energéticos menos costosos y una reducción de la contaminación y de las emisiones relacionadas con la energía.

Durante los próximos 20 años, la cantidad de energía primaria necesaria para un determinado nivel de servicios energéticos se podría

reducir de forma rentable en un 25-35 por ciento en los países industrializados (la cifra más alta se podría lograr con unas políticas más eficaces).

Estas reducciones se producirán principalmente en la fase de conversión de energía útil en servicios energéticos en los sectores residencial, industrial, de transporte, público y comercial. Son

económicamente alcanzables reducciones de más del 40 por ciento en las economías de transición. Y en la mayoría de los países en vías de desarrollo — que tienden a tener un alto crecimiento económico y unos stocks estancados de capital y de vehículos — los potenciales de mejora económica oscilan del 30 a más del 45 por ciento, con relación a las eficiencias energéticas logradas con la existente masa de capital.¹²

Las mejoras de alrededor del 2 por ciento al año reflejadas en las mencionadas cifras podrían ser superadas mediante cambios estructurales en las economías industrializadas y de transición, mediante un desplazamiento a una producción industrial que consuma menos energía y mediante los efectos de saturación en los sectores residenciales y del transporte. Estos efectos combinados, constituidos por mejoras de la eficiencia y por cambios estructurales, podrían dar paso a una disminución de la intensidad energética del 2.5 por ciento anual. La magnitud de realización de este potencial depende de la eficacia de los marcos normativos y medidas políticas, de los cambios en las actitudes y en el comportamiento, y del nivel de actividad empresarial en la conservación de la energía.

En las próximas décadas es probable que veamos nuevos procesos, sistemas de motor, materiales, vehículos y edificios diseñados para reducir la demanda de energía útil. Dado que se espera que la demanda de automóviles crezca rápidamente en el mundo en desarrollo, será muy importante conseguir mayores eficiencias en este área. Además, los países que están alcanzando un rápido nivel de industrialización se podrían beneficiar mucho de la introducción de tecnologías radicalmente nuevas y más eficientes en el procesamiento de sus materiales básicos. Estos países están construyendo todavía su infraestructura física, por lo que tienen una demanda creciente de materiales básicos. Esto abre un abanico de oportunidades para innovar y mejorar la eficiencia de producción, particularmente en los países que están experimentando una reforma del mercado. Las oportunidades son mayores en lo que a nuevas inversiones se refiere, con relación a la reconversión y modernización.

A largo plazo, son posibles mejoras adicionales y espectaculares de la eficiencia en todas las etapas de conversión de la energía, particularmente de energía útil en servicios energéticos. El análisis muestra que las tecnologías actuales están lejos de alcanzar los límites teóricos, y que eventualmente se podría duplicar la eficiencia de todo el sistema energético.¹³

Por diversas razones, el potencial técnico y económico de la eficiencia energética, así como su impacto positivo en el desarrollo sostenible, han estado desaprovechados tradicionalmente. La consecución de una mayor eficacia de la utilización final implica una gran variedad de opciones técnicas y de agentes. Al tratarse de una actividad descentralizada y dispersa, resulta difícil organizar algún tipo de apoyo; y al tener poca visibilidad, la eficiencia energética no goza generalmente de gran aceptación entre los políticos, los medios de comunicación o aquellas personas que buscan el reconocimiento de sus méritos. Además, barreras de cierta importancia —principalmente imperfecciones del mercado que podrían ser superadas por instrumentos políticos específicos— impiden la realización de mayor eficiencia en la utilización final.

Las fuentes de energía renovable tienen la posibilidad de suministrar servicios energéticos sin ninguna o casi ninguna emisión de productos contaminantes del aire ni de gases causantes del efecto invernadero

- Falta de información, conocimientos técnicos y formación adecuados.
- Incertidumbre sobre el rendimiento de las inversiones en nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Falta de capital adecuado o de posibilidades de financiación.
- Altos costes iniciales y percibidos de tecnologías más eficientes.
- Altos costes de transacción (para buscar y evaluar información, y para formación).
- Falta de incentivos para un mantenimiento cuidadoso.
- Los beneficios diferenciales para el usuario con relación al inversor (por ejemplo, cuando la factura de energía es pagada por el inquilino en lugar del propietario del inmueble).
- Costes externos del uso de la energía, no incluidos en los precios de la energía.
- Las pautas y hábitos de los consumidores, operadores y responsables de la toma de decisiones, que pueden ser influidos por muchos factores, incluidas las ideas de prestigio social y normas profesionales.

La realización de los potenciales económicos de eficiencia energética será beneficiosa no sólo para los consumidores de energía, sino también para la economía en su conjunto. Por ejemplo, los ahorros en el coste de la energía se pueden usar para producir bienes y servicios domésticos que ahorren energía. Y, a medida que se consigan mejoras energéticas rentables, continuarán surgiendo oportunidades adicionales de mejora, como resultado de la investigación y desarrollo, curvas de aprendizaje y economías de escala. Esto significa que se pueden esperar continuas mejoras rentables de eficiencia energética

Las políticas de eficiencia energética que emplean mecanismos de precios directos o indirectos (como la supresión de subvenciones y la incorporación de costes externos) son eficaces para reducir las tendencias de consumo en los sectores y aplicaciones sensibles a los precios. Pero incluso sin cambiar el entorno global de precios, se deberán buscar políticas de eficiencia energética para afrontar las imperfecciones del mercado. Por ejemplo, normas de eficiencia, etiquetado de electrodomésticos y productos, acuerdos voluntarios y formación profesional o contratación, pueden hacer que aumente el PIB mediante una mejora del comportamiento medioambiental y económico, usando una cantidad de energía dada. Para una implantación con éxito de las mejoras de eficiencia energética, son esenciales normas legales, consumidores, proyectistas y responsables de la toma de decisiones bien informados, operadores motivados y un sistema de pagos adecuado.¹⁴

Tecnologías de energías renovables

Las fuentes de energías renovables (incluida la biomasa, la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica y la potencia hidroeléctrica) que usan recursos propios tienen la ventaja de proporcionar servicios energéticos con emisiones nulas o casi nulas tanto de contaminantes atmosféricos como de gases de efecto invernadero. Actualmente, las fuentes de energías renovables aportan el 14 por ciento de la demanda total de energía en el mundo. El suministro está dominado por la biomasa tradicional utilizada para cocinar y calentar, especialmente en zonas rurales de los países en vías de desarrollo. La potencia hidroeléctrica a gran escala suministra el 20 por ciento de la electricidad mundial. Su campo de expansión es limitado en el mundo industrializado, donde ha alcanzado prácticamente su capacidad económi-

ca. En el mundo en desarrollo, todavía existe una capacidad considerable, pero los grandes proyectos de potencia hidroeléctrica pueden encontrar obstáculos de carácter financiero, ambiental y social.

En conjunto, las nuevas fuentes de energías renovables representaron el 2 por ciento del consumo mundial de energía en 1998, incluyendo 7 exajulios

de biomasa moderna y 2 exajulios para todas las demás energías renovables (geotérmica, eólica, solar, marina y potencia hidroeléctrica a pequeña escala). La energía solar fotovoltaica y la energía eólica conectadas a la red eléctrica están creciendo a un ritmo del 30 por ciento anual. Aún así, es probable que tengan que pasar décadas hasta que estas nuevas energías renovables contribuyan de forma apreciable al consumo total de energía, dado el pequeño porcentaje que aún representan.

Las sustanciales reducciones de precios de las últimas décadas han hecho que algunas energías renovables resulten competitivas frente a los combustibles fósiles en ciertas aplicaciones de los mercados en crecimiento. Las modernas formas distribuidas de la biomasa parecen particularmente prometedoras por su potencial de proporcionar a las zonas rurales formas limpias de energía basadas en la utilización de los recursos de la biomasa que se han empleado tradicionalmente de forma ineficaz y generando contaminación. La biomasa se puede producir económicamente con unos impactos ambientales mínimos o incluso positivos a través de cultivos perennes. También es prometedora la energía eólica en las regiones costeras y otras zonas con mucho viento.

A diferencia de la potencia hidroeléctrica y las fuentes convencionales de energía térmica, las fuentes de energía eólica, térmica solar o eléctrica son intermitentes. No obstante, pueden ser importantes fuentes de energía en zonas rurales donde resulte caro ampliar la red de suministro eléctrico. También pueden contribuir a los suministros conectados a la red en configuraciones híbridas apropiadas. Las energías renovables intermitentes pueden proporcionar de forma fiable el 10-30 por ciento del suministro total de electricidad si se explotan junto con la generación de potencia hidroeléctrica o a base de combustible. Las emergentes posibilidades de almacenaje y las nuevas estrategias para explotar las redes de suministro eléctrico indican que las tecnologías intermitentes podrían jugar un papel mucho más importante.

Considerables barreras, que podrían ser superadas por unas políticas y marcos apropiados, cierran el paso al desarrollo acelerado de las tecnologías renovables. Estas barreras incluyen riesgos económicos, obstáculos normativos, disponibilidad limitada de productos, lagunas informativas y tecnológicas, y falta de inversión. La mayor dificultad es de carácter financiero, aunque los costes hayan descendido significativamente durante las últimas décadas. La tabla 4 resume el estado de las diversas tecnologías renovables y ofrece información sobre las tendencias de coste y capacidad.

Muchas tecnologías renovables, al ser modulares y de pequeña escala, son buenas candidatas para una reducción continua de los costes como resultado de la experiencia práctica. Las reducciones de coste de los productos fabricados, que suelen ser rápidas al principio y después se frenan a medida que la industria madura, se denominan curvas de experiencia. Estas curvas se tradujeron en unos descensos de los costes en toda la industria de alrededor del 20 por ciento por cada duplicación acumulativa de producción para energía solar fotovoltaica, aerogenera-

radores y turbinas de gas —debido a los efectos de aprendizaje, mejoras tecnológicas marginales y economías de escala (figura 6). Se esperan descensos similares para otras energías renovables a pequeña escala.

Una rápida expansión de los sistemas energéticos basados en los recursos renovables necesitará acciones para estimular el mercado en esta dirección. Esta expansión se podrá lograr encontrando las formas de reducir el coste relativo de las energías renovables en sus primeras etapas de desarrollo y comercialización, aprovechando a la vez la eficacia económica del mercado. La fijación de precios en función de los costes totales de las fuentes convencionales de energía (incluida la eliminación progresiva de las subvenciones e internalizando los costes externos) hará que las energías renovables resulten más competitivas. Dado que la internalización de los costes externos puede ser controvertida durante cierto tiempo, los precios “verdes” de la electricidad y del calor (que permiten que los consumidores paguen más por unos suministros de energía ambientalmente benignos si así lo desean) pueden ser una opción inmediata en los países industrializados.

Tecnologías energéticas avanzadas

Energía fósil

Los objetivos de sostenibilidad indican la importancia de encaminar las tecnologías de energía fósil hacia el objetivo a largo plazo de conseguir unas

emisiones casi nulas de contaminantes y de gases de efecto invernadero sin complicadas tecnologías de control final. Las tecnologías y estrategias de corto plazo deberán respaldar este objetivo a largo plazo.

La revolución tecnológica que está en marcha en el sector de la generación de potencia, donde las tecnologías de turbina de vapor están siendo sustituidas por sistemas avanzados, respalda este objetivo a largo plazo. En los lugares donde el gas natural está fácilmente disponible, se están eligiendo ciclos combinados de gas natural que ofrecen bajos costes, una alta eficiencia y escasos impactos ambientales —en algunos países están desplazando incluso a grandes proyectos de energía hidroeléctrica— la cogeneración es más rentable y puede jugar un mejor papel en la economía de la energía si está basada en turbinas de gas y ciclos combinados en lugar de turbinas de vapor.

Los motores alternativos y las emergentes tecnologías de microturbinas y celdas de combustible también son unos sólidos candidatos a la cogeneración a menor escala, incluidos los edificios comerciales y de viviendas. La gasificación del carbón por oxidación parcial con el oxígeno para producir gas sintético (principalmente monóxido de carbono e hidrógeno) posibilita el suministro de electricidad a través de plantas de Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (CCGI), con unas emisiones de contaminantes atmosféricos casi tan bajas como en el caso de los ciclos combinados de gas natural. Actualmente, la potencia de las plantas

TABLA 4. ESTADO ACTUAL Y COSTES POTENCIALES FUTUROS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Tecnología	Aumento de la capacidad instalada últimos cinco años (porcentaje/año)	Capacidad operativa final 1998	Factor de capacidad (porcentaje)	Producción de energía en 1998	Costes de inversión llave en mano (\$/kW)	Coste actual de la energía	Futuro coste potencial de la energía
Energía de biomasa							
Electricidad	≈ 3	40 GWe	25–80	160 TWh (e)	900–3000	5–15 ¢/kWh	4–10 ¢/kWh
Calor ^a	≈ 3	> 200 GWth	25–80	> 700 TWh (th)	250–750	1–5 ¢/kWh	1–5 ¢/kWh
Etanol	≈ 3	18 bln litros		420 PJ		8–25 \$/GJ	6–10 \$/GJ
Electricidad eólica	≈ 30	10 GWe	20–30	18 TWh (e)	1100–1700	5–13 ¢/kWh	3–10 ¢/kWh
Electricidad solar fotovoltaica	≈ 30	500 MWe	8–20	0,5 TWh (e)	5000–10000	25–125 ¢/kWh	5 or 6–25 ¢/kWh
Solar thermal electricity	≈ 5	400 MWe	20 – 35	1 TWh (e)	3000–4000	12–18 ¢/kWh	4–10 ¢/kWh
Electricidad solar térmica	≈ 8	18 GWth (30 mln m ²)	8–20	14 TWh (th)	500–1700	3–20 ¢/kWh	2 ó 3–10 ¢/kWh
Hidroelectricidad							
Grande	≈ 2	640 GWe	35–60	2510 TWh (e)	1000–3500	2–8 ¢/kWh	3–8 ¢/kWh
Pequeña	≈ 3	23 GWe	20–70	90 TWh (e)	1200–3000	4–10 ¢/kWh	3–10 ¢/kWh
Geotérmica							
Electricidad	≈ 4	8 GWe	45–90	46 TWh (e)	800–3000	2–10 ¢/kWh	1 ó 2–8 ¢/kWh
Calor	≈ 6	11 GWth	20–70	40 TWh (th)	200–2000	0,5–5¢/kWh	0,5–5 ¢/kWh
Energía marina							
Mareas	0	300 MWe	20–30	0,6 TWh (e)	1700–2500	8–15 ¢/kWh	8–15 ¢/kWh
Olas	–	fase exp.	20–35	confuso	1500–3000	8–20 ¢/kWh	confuso
Corrientes	–	fase exp.	25–35	confuso	2000–3000	8–15 ¢/kWh	5–7 ¢/kWh
OTEC	–	fase exp.	70–80	confuso	confuso	confuso	confuso

Nota: El coste de la electricidad suministrada de la red en zonas urbanas oscila de 2 – 3 ¢/kWh (hora no punta) a 15 – 25 ¢/kWh (hora punta) Ver capítulo 11.

a. Calor incorporado en el vapor (o agua caliente en calefacción) producido a menudo por la combinación de sistemas de calor y potencia (cogeneración), usando residuos forestales, licor negro o bagazo.

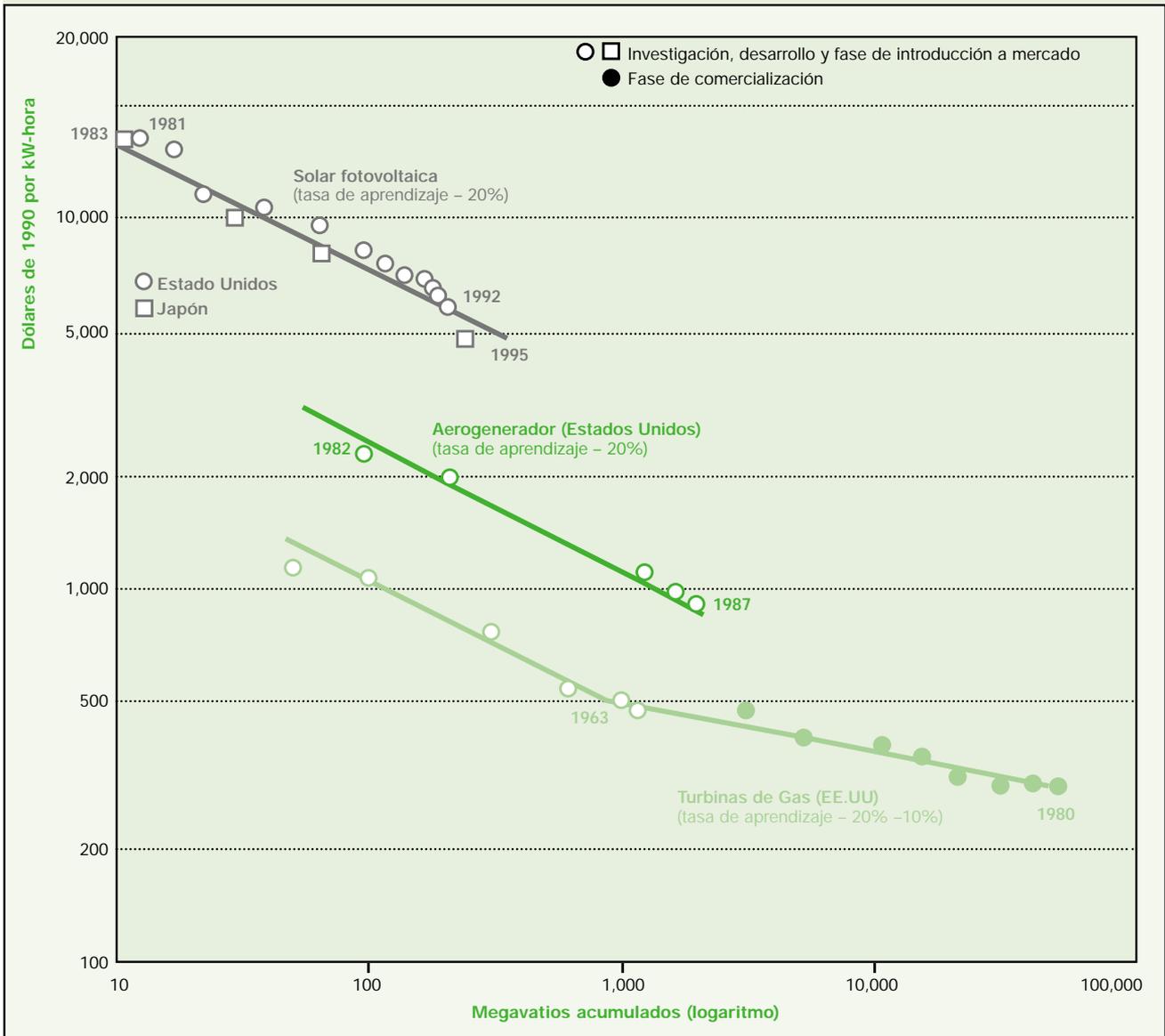
Fuente: Turkenburg, Capítulo 7.

de cogeneración CCGI suele ser competitiva frente a la potencia de las centrales de vapor a carbón, ya sea en configuración de cogeneración o de sólo potencia.

Aunque los combustibles líquidos sintéticos elaborados en instalaciones de producto único no son competitivos, los combustibles sintéticos super limpios derivados del gas sintético (como los destilados sintéticos medios y el dimetil-éter) producidos en centros de polige-

neración que fabrican varios productos simultáneamente, sí que pueden serlo pronto. El gas sintético se puede producir a partir del gas natural por reformado con vapor u otros medios, o del carbón por gasificación usando oxígeno, como se ha indicado. Es probable que surjan mercados en expansión para combustibles sintéticos limpios debido al endurecimiento de la legislación sobre contaminación atmosférica. Los combustibles sintéticos producidos mediante poligeneración estarán

FIGURA 6: CURVAS DE EXPERIENCIA PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA, AEROGENERADORES Y TURBINAS DE GAS



La eficacia y costes de la tecnología mejoran con la experiencia, y existe un patrón común de estas mejoras para muchas tecnologías. La forma específica depende de la tecnología, pero la característica persistente de disminución de costes se denomina curva de "aprendizaje" o de "experiencia". Es probable que la curva experimente una caída más pronunciada cuando las tecnologías busquen primero un nicho de mercado, y después la plena comercialización, ya que los bajos costes son cada vez más importantes para obtener un mayor éxito.

Fuente: Nakićenović, Grübler, y McDonald, 1998.

Si no se toman las medidas adecuadas en los próximos decenios, pueden resultar inalcanzables determinadas oportunidades de desarrollo

basados en el gas natural si está fácilmente disponible. Posiblemente los destilados sintéticos medios así producidos serán competitivos cuando se disponga de gas natural económico (como en lugares remotos de países en vías de desarrollo); la tecnología podría facilitar la explotación de campos de gas natural alejados relativamente pequeños.

En las regiones pobres en gas natural y ricas en carbón, la poligeneración basada en la gasificación del carbón es prometedora. Tales sistemas podrían incluir la producción de gas sintético extra para distribución por tuberías a sistemas de cogeneración de pequeña escala en factorías y edificios —haciendo posible un uso limpio y eficiente del carbón a pequeña y gran escala. La actividad de poligeneración en rápido crecimiento ya está en marcha en varios países, basada en la gasificación de materias primas del petróleo de baja calidad— una actividad que está ayudando a preparar el terreno para los sistemas a base de carbón.

Las barreras para un despliegue generalizado de avanzados sistemas de cogeneración y poligeneración son principalmente de carácter institucional. La mayoría de los sistemas producirán mucha más electricidad de la que se puede consumir in situ, por lo que el logro de una economía favorable depende de que se pueda vender electricidad generada mediante los citados sistemas a precios competitivos en las redes de suministro eléctrico. Las políticas de las compañías eléctricas lo han dificultado en muchos casos, pero en las condiciones de mercado competitivo hacia el que están evolucionando los sistemas eléctricos en muchas regiones, los sistemas de cogeneración y poligeneración tendrán éxito.

La búsqueda a corto plazo de una estrategia basada en el gas sintético podría preparar el terreno para un uso generalizado del hidrógeno (H_2) como portador de energía, ya que durante décadas, la forma más económica de elaborar H_2 será el gas sintético derivado de combustibles fósiles. El desarrollo fructífero de las celdas de combustible facilitaría la introducción de H_2 para energía. Las celdas de combustible están recibiendo una gran atención, especialmente para transporte, ya que ofrecen una alta eficiencia y unas emisiones prácticamente nulas de contaminantes atmosféricos. Los fabricantes automovilísticos se están apresurando a desarrollar vehículos con celdas de combustible, estando prevista la entrada en el mercado para 2004-10. El automóvil con celda de combustible competirá por el título de “automóvil del futuro” con el motor híbrido accionado por motor de combustión interna y baterías que ya está siendo introducido en el mercado.

La potencia basada en el gas sintético y las estrategias de producción de H_2 también facilitan la separación y el almacenaje de CO_2 procedente de los sistemas de energía fósil, haciendo posible obtener energía útil con emisiones prácticamente nulas de gases de efecto invernadero y sin un gran aumento de los costes de energía. La reciente investigación sugiere que la capacidad global para la eliminación segura de CO_2 en depósitos geológicos podría ser adecuada para eliminar el CO_2 generado por los combustibles fósiles durante cientos de años, aunque es necesaria una mayor investigación para estar seguros de ello.

Otras tecnologías avanzadas (plantas de vapor ultra súper crítico, combustión en lecho fluidizado, CCGI de carbón basado en la oxidación parcial en el aire para generación de potencia, licuefacción directa del carbón para producción de combustibles sintéticos) ofrecen beneficios respecto de las tecnologías convencionales. Pero, a

diferencia de las tecnologías basadas en gas sintético, el perseguir estas opciones a corto plazo no ofrecería una trayectoria clara respecto al objetivo a largo plazo de conseguir unas emisiones casi nulas sin un aumento significativo de los costes de los servicios energéticos.

Energía nuclear

La energía nuclear representa a nivel mundial el 6 por ciento de la energía y el 16 por ciento de la electricidad. Aunque la energía nuclear domina la generación de electricidad en algunos países, su promesa inicial no se ha visto cumplida en su totalidad. La mayoría de los analistas pronostican que la contribución de la energía nuclear a la energía mundial no crecerá —y podría disminuir durante las primeras décadas del siglo XXI. La energía nuclear cuesta más de lo originalmente proyectado, la competencia de las tecnologías alternativas está en aumento y se ha producido una pérdida de la confianza pública debido a cuestiones relativas a la seguridad, la gestión de los residuos radioactivos y la proliferación potencial de armas nucleares.

Pero, dado que la energía nuclear puede proporcionar potencia sin emitir contaminantes atmosféricos convencionales ni gases de efecto invernadero, merece la pena explorar si las tecnologías avanzadas podrían ofrecer costes más bajos, fortalecer la confianza pública en la seguridad de los reactores nucleares, asegurar que los programas nucleares pacíficos no se utilicen para fines militares y demostrar una gestión eficaz de los residuos nucleares. A diferencia de los reactores del tipo Chernobil, los reactores de agua liviana que dominan la energía nuclear a nivel mundial tienen un buen historial de seguridad —aunque se haya logrado a costa de unos considerables gastos para minimizar el riesgo de accidentes

El vínculo potencial entre los usos pacífico y militar de la energía nuclear fue admitido en los albores de la era nuclear. Los esfuerzos por crear un régimen de no proliferación mediante el Tratado de No Proliferación Nuclear y una serie de tratados regionales, controles al comercio de materiales nucleares así como bienes y servicios que pudieran utilizarse con fines militares, y garantías aplicadas a materiales nucleares en aplicaciones nucleares pacíficas, han tenido bastante éxito a la hora de separar los usos pacíficos y militares. Para que haya un futuro donde la energía nuclear contribuya mucho más que en la actualidad, serán necesarias unas medidas institucionales más fuertes que mantengan esta separación. Estas medidas deberán ser complementadas por adelantos tecnológicos encaminados a limitar las oportunidades de adquirir armas nucleares bajo la apariencia de aplicaciones de energía nuclear pacífica y de robar materiales nucleares que puedan utilizarse en armamento.

La actividad de desarrollo de reactores a corto plazo ha involucrado tanto a reactores de agua liviana evolutivos como a nuevos conceptos. Los fabricantes ofrecen ahora varios reactores de agua liviana evolutivos con características de seguridad perfeccionadas y diseños estandarizados, para los cuales puede haber un alto grado de confianza en la consecución de los objetivos de coste y rendimiento. Otra actividad evolutiva implica la modificación de los reactores de agua liviana para hacer que resulten más resistentes a la proliferación mediante un ciclo de combustible de uranio o torio desnaturalizados. Un sistema que se está volviendo a contemplar, el reactor modular en lecho de bolas, ofrece el potencial de un alto grado de seguridad

intrínseca sin necesidad de complicados y caros controles de seguridad. Un reactor modular en lecho de bolas también podría funcionar mediante un ciclo de combustible de uranio o torio desnaturalizados, resistente a la proliferación.

El acceso a un suministro económico de uranio podría limitar el desarrollo de la energía nuclear basada en los reactores de agua liviana. Hace tiempo se pensó que el reactor generador de plutonio, donde se debe reprocesar el combustible gastado para recuperar el plutonio y reciclarlo en combustible nuevo, era una opción viable para afrontar este reto. Pero los costes de electricidad para los reactores generadores serían probablemente más altos que para los reactores de agua liviana, al menos hasta finales del siglo XXI, y prevenir la proliferación es mucho más difícil con el reproceso y el reciclaje del plutonio que con los reactores de agua liviana que funcionan con ciclos de combustible de paso simple.

Otras opciones a largo plazo para abordar las restricciones de los recursos nucleares son otros conceptos alternativos de reactor generador —incluyendo reactores accionados por acelerador de partículas, uranio del agua de mar y la fusión termonuclear. Los aspectos referentes al coste, seguridad y características de estos reactores generadores alternativos son inciertos, y el concepto tardaría décadas en desarrollarse. La reciente investigación sugiere que, con un coste relativamente bajo, podría ser factible extraer uranio del agua de mar, donde su concentración es baja pero las cantidades son enormes. Si la

tecnología se pudiese difundir a escalas significativas a nivel mundial, se podrían evitar grandes compromisos con el reproceso de los combustibles nucleares y con el reciclaje del plutonio. La fusión podría proporcionar un suministro de energía casi inagotable, pero probablemente no estará disponible comercialmente antes del año 2050.

Los subproductos de los residuos radioactivos de la energía nuclear deben ser aislados de modo que no puedan regresar nunca al entorno humano en concentraciones capaces de ocasionar daños importantes. Aunque no ha quedado probada la seguridad de la eliminación de los residuos a largo plazo, la comunidad técnica confía en que se pueda cumplir este objetivo —debido principalmente a los pequeños volúmenes de residuos. Pero en la mayoría de los países no hay consenso social sobre los objetivos y normas para la eliminación de residuos radioactivos ni sobre las estrategias (tanto provisionales como a largo plazo) para su implantación. Los problemas no son únicamente de carácter técnico. El actual estancamiento social en lo referente a la eliminación de residuos no sólo empaña las perspectivas de la expansión nuclear, sino que ha hecho que el reproceso del combustible gastado sea, de hecho, una estrategia provisional de gestión de los residuos nucleares en algunos países. Esto ha sucedido aunque el reproceso del combustible no ofrezca beneficios económicos y no resuelva el problema de la eliminación de los residuos— sólo sirve para retrasarlo temporalmente y está creando grandes cantidades de plutonio que deben ser eliminadas con poco riesgo de proliferación.

PARTE 3. ¿ES POSIBLE UN FUTURO SOSTENIBLE?

El análisis realizado empleando las hipótesis de energía indica que es posible abordar simultáneamente los objetivos de desarrollo sostenible expuestos en la parte 1 usando los recursos y opciones técnicas que se presentan en la parte 2. Las hipótesis y las posteriores secciones sugieren que:

- **El continuar por la actual vía de desarrollo del sistema energético no es compatible con los objetivos del desarrollo sostenible.**
- **Para conseguir un futuro sostenible será necesaria una confianza mucho mayor en una combinación de mejores eficiencias energéticas, recursos renovables y avanzadas tecnologías energéticas.**
- **Una condición previa para lograr un futuro energético compatible con los objetivos de desarrollo sostenible es encontrar las formas de acelerar el avance de nuevas tecnologías a lo largo de la cadena de la innovación energética, desde investigación y desarrollo hasta demostración, despliegue y difusión.**
- **La prestación de servicios energéticos en las zonas rurales plantea dificultades específicas. Pero también ofrece una excelente oportunidad de mejorar las vidas de miles de millones de personas en un período relativamente corto. Los enfoques prometedores incluyen soluciones descentralizadas, tecnologías apropiadas, convenios de crédito innovadores y la participación local en la toma de decisiones.**

Escenarios de energía

Los escenarios de energía ofrecen un marco para explorar futuras perspectivas de energía, incluyendo diversas combinaciones de opciones tecnológicas y sus repercusiones. Muchas hipótesis en la literatura ilustran el grado en que el desarrollo de los sistemas energéticos afectará a los aspectos globales que se analizan en la parte 1. Algunos describen un futuro energético compatible con los objetivos de desarrollo sostenible. Las cuestiones clave en las hipótesis de desarrollo sostenible incluyen un aumento de la eficiencia energética y la adopción de tecnologías avanzadas para suministro de energía. Los escenarios de desarrollo sostenible se caracterizan por unos bajos impactos ambientales (locales, regionales y mundiales) y la asignación equitativa de recursos y riqueza.

Los tres escenarios de desarrollos globales alternativos presentados en el capítulo 9 sugieren la forma en que podría presentarse el futuro en

términos de crecimiento económico, tendencias de la población y uso de la energía. El reto es gigantesco. Por ejemplo, para el año 2100, otros 6000-8000 millones de personas —significativamente más que la actual población mundial— necesitarán acceso a unos servicios energéticos asequibles, fiables, flexibles y cómodos.¹³ Los tres casos consiguen estos objetivos mediante desarrollos de diferentes sistemas energéticos, pero con grados distintos de éxito en términos de sostenibilidad (tabla 5).

Un escenario intermedio o de referencia (B) incluye una hipótesis y está basado en la dirección general en que se mueve el mundo actualmente. Esta hipótesis asume la continuación de un nivel intermedio de crecimiento económico y una mejora tecnológica modesta, dando paso a unos impactos ambientales adversos, incluyendo la acidificación regional y el cambio climático. Aunque esta hipótesis intermedia representa una mejora considerable respecto de la situación actual, no es

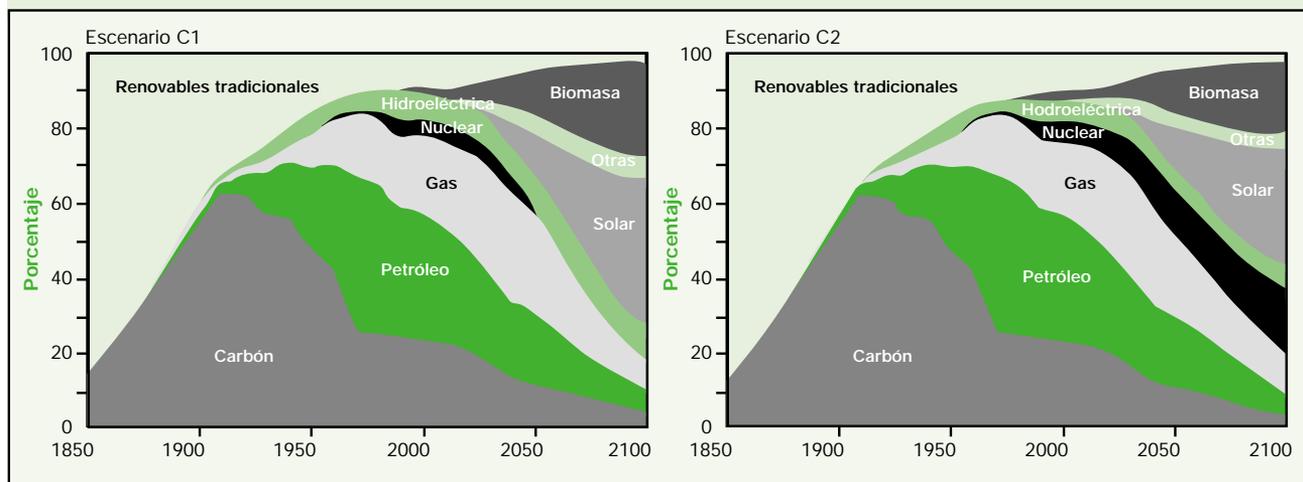
TABLA 5. RESUMEN DE LOS 3 ESCENARIOS 3 IIASA-WEC EN 2050 Y 2100 COMPARADOS CON 1990

		Escenario A Alto crecimiento	Escenario B Intermedio	Escenario C Orient. ecológica
Población, miles de millones	1990	5,3	5,3	5,3
	2050	10,1	10,1	10,1
	2100	11,7	11,7	11,7
Producto mundial bruto (PMB), billones \$ EE.UU. (1990)	1990	20	20	20
	2050	100	75	75
	2100	300	200	220
Producto mundial bruto, tasa de crecimiento, porcentaje anual	1990-2050	Alto	Medio	Medio
	1990-2100	2.7	2.2	2.2
		2.5	2.1	2.2
Intensidad de energía primaria, MJ por \$ EE.UU (1990) PMB	1990	19,0	19,0	19,0
	2050	10,4	11,2	8,0
	2100	6,1	7,3	4,0
Tasa de mejora de la intensidad de energía primaria, porcentaje anual	1990-2050	Medio	Bajo	Alto
	1990-2100	-0,9 -1,0	-0,8 -0,8	-1,4 -1,4
Consumo de energía primaria, EJ	1990	379	379	379
	2050	1.041	837	601
	2100	1.859	1.464	880
Consumo acumulativo de energía primaria, 1990 a 2100, ZJ (1,000 EJ)	Carbón	8,9 - 30,7	17,5	7,1 - 7,2
	Petróleo	27,6 - 15,7	15,3	10,9
	Gas natural	18,4 - 28,7	15,8	12,2 - 12,9
	Energía nuclear	6,2 - 11,2	10,5	2,1 - 6,2
	Energía hidroeléctr.	3,7 - 4,2	3,6	3,6 - 4,0
	Biomasa	7,4 - 14,3	8,3	9,1 - 10,1
	Energía solar	1,8 - 7,7	1,9	6,3 - 7,4
	Otro	3,0 - 4,7	4,3	1,4 - 2,2
	Total mundial	94,0 - 94,9	77,2	56,9
	Reducción de costes de las tecnologías energéticas (a través del aprendizaje)	Fósil	Alto	Medio
No fósil		Alto	Medio	Alto
Difusión de tarifas de las tecnologías energéticas	Fósil	Alto	Medio	Medio
	No fósil	Alto	Medio	Alto
Impuestos ecológicos (excluidas las tasas por CO ₂)		No	No	Sí
Emisiones de SO ₂ , Mts	1990	58,6	58,6	58,6
	2050	44,8 - 64,2	54,9	22,1
	2100	9,3 - 55,4	58,3	7,1
Limitaciones e impuestos sobre emisiones de CO ₂		No	No	Sí
Emisiones netas de CO ₂ , GtC	1990	6	6	6
	2050	9 - 15	10	5
	2100	6 - 20	11	2
Emisiones acumulativas de CO ₂ , GtC	1990-2100	910 - 1.450	1.000	540
Concentraciones de CO ₂ , partes por millón en volumen	1990	358	358	358
	2050	460 - 510	470	430
	2100	530 - 730	590	430
Intensidad de Carbón, gC/\$ EE.UU. (1990)\$PMB	1990	280	280	280
	2050	90 - 140	130	70
	2100	20 - 60	60	10
Inversiones en el sector de suministro de energía en billones \$ EE.UU. (1990)	1990-2020	15,7	12,4	9,4
	2020-50	24,7	22,3	14,1
	2050-2100	93,7	82,3	43,3
Número de hipótesis		3	1	2

Los tres escenarios conforman seis hipótesis de sistemas energéticos alternativos: tres hipótesis del escenario A (A1, uso mayoritario de petróleo y gas; A2, retorno al carbón; y A3, futuro no fósil), una hipótesis en el escenario B (intermedio) y dos hipótesis en el escenario C (C1, renovables nuevas; y C2, renovables y nueva energía nuclear). Algunas de las características de las hipótesis, como el consumo acumulativo de energía, las emisiones de carbono y la descarbonización de GWP se muestran como rangos para las tres hipótesis del escenario A y las dos del escenario C (EJ = exajulios, Mts = millones de toneladas de sulfuro, gC = gramos de carbono y GtC = giga o miles de millones de toneladas de carbono).

Fuente: Nakicenovic, Grübler, y McDonald, 1998

FIGURA 7. PARTICIPACIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA, 1850-1990, Y EN ESCENARIOS C1 Y C2 AL 2000



Fuente: Nakićenović, Grübler, y McDonald, 1998.

suficiente para conseguir una transición hacia el desarrollo sostenible. Las otras dos hipótesis y sus variantes llevan a un mayor desarrollo económico con una importante mejora de las tecnologías energéticas. Ambos escenarios —y especialmente el escenario con orientación ecológica (C)— consiguen, en mucho mayor grado, una transición hacia el desarrollo sostenible (tabla 6).

Por ejemplo, una de las tres hipótesis de alto crecimiento del escenario A (A3) consigue algunos objetivos de desarrollo sostenible, principalmente mediante un rápido crecimiento económico y un cambio hacia unas tecnologías energéticas y opciones ambientalmente más benignas. En esta hipótesis, los mayores niveles de abundancia son fruto del impresionante desarrollo tecnológico, incluido el importante papel de la energía fósil, renovable y nuclear limpia. La descarbonización del sistema energético contribuye a la sostenibilidad medioambiental. También se consideran otras dos variantes de este caso de alto crecimiento. Ambas llevan a una mayor dependencia de combustibles fósiles que liberan mucho dióxido de carbono y que se traduce en unas altas emisiones relacionadas con la energía. En consecuencia, son insostenibles desde un punto de vista medioambiental.

El tercer escenario (C) tiene una orientación ecológica e incluye dos hipótesis, con un elevado crecimiento en los países en vías de desarrollo (hacia ser rico y “verde”). La diferencia entre los dos supuestos es que uno, C1, asume una eliminación progresiva global de la energía nuclear para el 2100, mientras que el C2, no. Ambos asumen la introducción de impuestos sobre el carbono y la energía para fomentar las energías renovables y conseguir mejoras en la eficacia de la utilización final. Se asume que los ingresos por los impuestos sobre el carbono y la energía se utilizarán para mejorar el crecimiento económico y fomentar las energías renovables y la eficacia de la utilización final, más que para reducir otros impuestos en las regiones industrializadas.

Las dos opciones del escenario C suponen la descentralización de los sistemas de energía y la confianza en las soluciones locales. También requieren unas inversiones considerablemente menores en la parte del suministro que las otras. Sin embargo, necesitarán inversiones importantes en el sector del usuario final, que no queda refleja-

do en las opciones. Unas medidas políticas ambiciosas para el control de los contaminantes locales y regionales, y un régimen global dan como resultado una reducción de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero. De los tres casos considerados, el escenario C es el más compatible con los objetivos del desarrollo sostenible, como se analiza en la parte 1 (tabla 6). En la opción C1, esto se produce por la disminución en la contribución del carbón y el petróleo en la combinación de la energía primaria, con un gran incremento en la cuota de la energía solar y de la biomasa para el 2100 (figura 7).

También se muestra con fines ilustrativos la combinación de la energía primaria para la opción C2, en la que la energía nuclear podría desempeñar un papel más importante si se solucionan de forma adecuada los problemas asociados a ella (coste, seguridad, eliminación de residuos y proliferación de armamento).

Las considerables diferencias entre las hipótesis respecto al consumo total de energía previsto reflejan los diferentes planteamientos para afrontar las necesidades de servicios energéticos en el futuro, y demuestran claramente que la política importa (figura 8). El logro de ambos supuestos con características de desarrollo sostenible precisará un aumento considerable en los esfuerzos de investigación privada y pública, desarrollo y difusión para apoyar nuevas tecnologías energéticas. De lo contrario, la mayoría de las tecnologías de energías fósiles y renovables limpias, así como muchas tecnologías eficientes de uso final, no podrán ser competitivas. (La combinación de esfuerzos necesarios puede variar dependiendo de la madurez de la tecnología específica). Serán necesarios unos importantes avances tecnológicos, así como mejoras incrementales de las tecnologías energéticas convencionales.

En términos de su alto crecimiento previsto en demanda de energía, los países en vías de desarrollo están bien situados para aprovechar las innovaciones en tecnologías energéticas y las políticas que las soportan. En general, las hipótesis A3, C1 y C2 requieren unos significativos cambios de política y de comportamiento en las próximas décadas para lograr unos procesos de desarrollo más sostenibles. Juntos, los resultados de estos cambios, que se describen con más detalle en la parte 4, representan un cambio claro de los planteamientos habituales.

Una estrategia eficaz para las necesidades energéticas de las poblaciones rurales, es la de promocionar la ascensión en la “escala energética”

Otra condición previa crucial para lograr la sostenibilidad en las hipótesis es el acceso casi universal a unos servicios energéticos adecuados y asequibles, y una distribución más equitativa de los recursos. Finalmente, la protección del medio ambiente —desde la contaminación interior hasta el cambio climático— es una característica esencial del desarrollo sostenible en estos supuestos. La resolución de estos retos futuros ofrece un abanico de oportunidades entre ahora y el 2020. La naturaleza de las decisiones tomadas durante este tiempo determinará en gran medida si la evolución del sistema energético es coherente con las prácticas actuales (a lo largo de las líneas de la hipótesis B), o si consigue la transición hacia unos procesos de desarrollo más sostenible (a lo largo de las líneas de las hipótesis A3, C1, y C2).

Debido a la larga vida de las centrales eléctricas, refinerías, siderurgias, edificios y otras inversiones relacionadas con la energía, como la infraestructura de transporte, no habrá renovación de estas instalaciones antes del año 2020 y, por lo tanto, no se verán grandes diferencias entre los distintos supuestos aquí presentados. Pero las semillas del mundo posterior al 2020 ya habrán sido sembradas para entonces. Así pues, las opciones sobre los futuros sistemas energéticos del mundo están relativamente abiertas en la actualidad. Este abanico de oportunidades es particularmente significativo cuando deba instalarse mucha infraestructura, ofreciendo la posibilidad de una rápida introducción de nuevas tecnologías ambientalmente seguras.

Una vez instalada la infraestructura, comienza una fase de inversiones, principalmente de sustitución. En esta fase se pueden realizar cambios, pero tardan mucho más en afectar al comportamiento promedio del sistema. Si no se toman decisiones acertadas durante las próximas décadas,

permaneceremos anclados en estas opciones y no se podrán aprovechar determinadas oportunidades de desarrollo. El logro de un desarrollo sostenible exige una perspectiva global, un horizonte de tiempo muy largo y la oportuna introducción de medidas políticas.

La energía rural en los países en vías de desarrollo

Entre 1970 y 1990, alrededor de 800 millones de personas pudieron disfrutar de nuevos programas de electrificación rural. Unos 500 millones vieron cómo mejoraban sus vidas considerablemente merced a unos mejores métodos para cocinar y otras tareas, particularmente en China. A pesar de estos enormes esfuerzos por mejorar los servicios energéticos de las poblaciones rurales en los últimos 20-30 años, la población sin servicio ha permanecido aproximadamente igual en números absolutos – 2000 millones de personas.

Aunque la indisponibilidad de servicios energéticos adecuados en las zonas rurales es probablemente el problema más serio relacionado con la energía que tendrá que afrontar la humanidad en el futuro inmediato, la energía rural sigue ocupando un puesto bajo en la lista de prioridades de la mayoría de los planificadores gubernamentales y privados. Y las crecientes demandas de la población urbana más influyente (y en rápido crecimiento) harán que resulte más difícil mantener el desarrollo rural en la agenda.

Una estrategia eficaz para afrontar las necesidades energéticas de las poblaciones rurales consiste en fomentar la subida de la “escalera de la energía”. Esto significa pasar de los combustibles simples de biomasa (estiércol, residuos de cosechas, leña) a la forma de energía más cómo-

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LA SOSTENIBILIDAD EN TRES ESCENARIOS DE DESARROLLO ENERGÉTICO EN 2050 Y 2100 COMPARADO CON 1990

Indicadores de sostenibilidad	1990	Hipótesis A3	Hipótesis B	Hipótesis C1
Erradicar la pobreza	Bajo	Muy alto	Medio	Muy alto
Reducir las distancias en ingresos relativos	Bajo	Alto	Medio	Muy alto
Proporcionar acceso universal a la energía	Bajo	Muy alto	Alto	Muy alto
Aumentar la asequibilidad de la energía	Bajo	Alto	Medio	Muy alto
Reducir los impactos adversos para la salud	Medio	Muy alto	Alto	Muy alto
Reducir la contaminación del aire	Medio	Muy alto	Alto	Muy alto
Limitar los radionúclidos duraderos	Medio	Muy bajo	Muy bajo	Alto
Limitar los materiales tóxicos ^a	Medio	Alto	Bajo	Alto
Limitar las emisiones de gases de efecto invernadero	Bajo	Alto	Bajo	Muy alto
Elevar el uso de energía propia	Medio	Alto	Bajo	Muy alto
Mejorar la eficiencia del suministro	Medio	Muy alto	Alto	Muy alto
Mejorar la eficacia de la utilización final	Bajo	Alto	Medio	Muy alto
Acelerar la difusión de tecnología	Bajo	Muy alto	Medio	Medio

a. Para esta fila solamente, los indicadores cualitativos no están basados en las características cuantitativas de los supuestos, sino que han sido especificados por los autores.

El estado actual del desarrollo energético y la constante de cambio, no son compatibles con los elementos fundamentales del desarrollo sostenible

da, eficiente y apropiada al uso previsto —normalmente combustibles líquidos o gaseosos para cocinar y calentar, y electricidad para casi todos los demás usos. Este escalamiento no sólo implica un cambio hacia los modernos combustibles, sino que a menudo también está complementado por el uso sinérgico de modernos aparatos de uso final más eficientes, como las cocinas.

El ascenso de la escalera de la energía no significa necesariamente que haya que volver a escalar todos los peldaños subidos en el pasado. En el caso de la cocina, por ejemplo, los usuarios no tienen que pasar de la leña al keroseno, al gas licuado de petróleo (GLP) o a la electricidad.

Lo que los usuarios deben hacer —siempre que sea posible— es saltar directamente de la leña a las tecnologías más eficientes de uso final y a las formas de energía que menos contaminen (incluidas las nuevas renovables). Debido a la aparición de nuevas tecnologías, también es posible introducir nuevos peldaños en la escalera de la energía y conseguir incluso una mayor eficiencia y aceptabilidad ambiental.

Los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la energía para las zonas rurales son:

- Satisfacer las necesidades humanas básicas dotando a todos los hogares de unas cantidades mínimamente adecuadas de electricidad para usos como iluminación y ventilación, además de combustibles más limpios para cocinar. En concreto, todos los hogares deberán abandonar combustibles sólidos no elaborados (biomasa y carbón) para cocinar y para calentarse, en favor de formas modernas de energía que puedan derivarse de fuentes renovables (biomasa y energía solar) o de combustibles fósiles.

- Proporcionar electricidad que sea suficientemente asequible para soportar la actividad industrial en las zonas rurales, que pueda crear empleo y ayudar a contener la migración urbana.

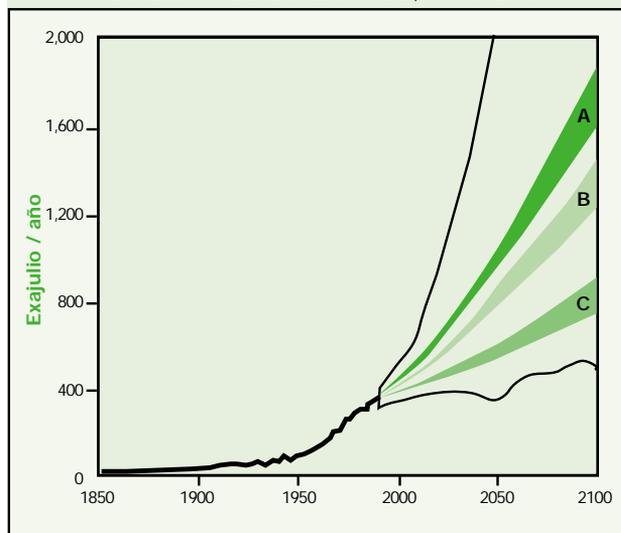
En muchos casos, la población rural pobre está dispuesta a pagar servicios energéticos si se ofrecen opciones de financiación apropiadas, para ayudar a superar la barrera de los primeros costes altos. La economía de suministrar electricidad básica a los hogares rurales se debe evaluar de acuerdo con los costes de prestar servicios energéticos comparables a través de portadores menos eficientes. En la mayoría de los casos, los sistemas de energía solar fotovoltaica domésticos pueden proporcionar servicios energéticos a menor coste que el keroseno y las baterías a los que sustituyen, y pueden ser una fuente económicamente viable de potencia rural familiar, incluso a unos niveles relativamente bajos de prestación de servicios.

La disponibilidad de servicios energéticos asequibles y adecuados en las zonas rurales podría dar paso a unas mejoras significativas en las condiciones de vida, y en la satisfacción de las necesidades humanas básicas, en un plazo relativamente corto. La energía necesaria para la prestación de estos servicios en las zonas rurales es relativamente pequeña. Unas formas modernas de usar la biomasa más eficazmente contribuirán en gran medida a la consecución de este objetivo. La experiencia ha demostrado que, para encontrar las soluciones más viables y apropiadas respecto a la energía rural, es esencial la participación activa de las personas que tendrán que utilizarla.

El reto es encontrar la forma de hacer que los modernos portadores de energía sean asequibles para satisfacer las necesidades básicas de todos los residentes rurales, quienes pueden necesitar subvenciones, al menos inicialmente. La clave es introducir eficiencia del mercado, si es posible, con el fin de emplear las menores subvenciones necesarias para lograr los objetivos sociales. Si fuese precisa una subvención, se podría conceder como parte integral de un nuevo contrato social, mediante el cual los suministradores de energía atienden las necesidades de energía rural, a la vez que se crean unas condiciones altamente competitivas en el sector de la energía (un elemento clave de las reformas energéticas). Una forma de financiar las subvenciones que pudieran necesitarse, sería complementar la creación de mercados competitivos con el establecimiento de un fondo de beneficios públicos generado por cargos ineludibles sobre cables y tuberías soportados por los suministradores de electricidad y gas. Tales fondos han sido adoptados, o están siendo considerados, en varios países como forma de proteger los beneficios públicos en condiciones competitivas del mercado. Otras opciones incluyen unos incentivos económicos cuidadosamente diseñados, utilizando quizás regímenes fiscales.

En concreto, algunos de estos ingresos se podrían usar para subvencionar a los hogares más pobres hasta que sean capaces de salir de la pobreza por sí mismos. Se podría hacer que esta estrategia fuese totalmente coherente con un cambio hacia una mayor confianza en las fuerzas del mercado para distribuir eficazmente los recursos. Si, por ejemplo, el sistema preferido fuese una concesión de energía rural para llevar modernos servicios energéticos a una zona rural concreta, a un precio establecido, y si la concesión fuese adjudicada de forma competitiva, se pondrían en juego las fuerzas del mercado para encontrar la combinación menos costosa de tecnologías energéticas con la menor cantidad de subvenciones para satisfacer la obligación del concesionario de proporcionar modernos servicios energéticos a todos.

FIGURA 8: REQUISITOS MUNDIALES DE ENERGÍA PRIMARIA COMERCIAL, 1850-1990, Y EN LOS TRES ESCENARIOS, 1990-2100



La figura también muestra la amplia variedad de futuros requisitos energéticos para otros escenarios en la literatura. La línea vertical que se extiende sobre la gama de escenarios en 1990 indica la incertidumbre a través de la literatura de requisitos energéticos de año base.

Fuente: Nakicenovic, Grubler y McDonald, 1998; Morita y Lee, 1998; Nakicenovic, Victor y Morita, 1998.

PARTE 4. ¿ADÓNDE VAMOS DESDE AQUÍ?

La parte 4 identifica las estrategias y políticas claves para lograr tanto el crecimiento económico como el desarrollo humano sostenible. Estas incluyen:

- Establecer las condiciones marco apropiadas —incluyendo reformas continuas del mercado, una legislación coherente y políticas específicas— para alentar la competencia en los mercados energéticos, reducir el coste de los servicios energéticos a los usuarios finales y proteger beneficios públicos importantes.
- Enviar señales de precio precisas, incluida la eliminación progresiva de las subvenciones a la energía convencional e internalizar algunos costes externos.
- Eliminar obstáculos o proporcionar incentivos, según las necesidades, para alentar una mayor eficiencia energética y el desarrollo y difusión a mercados más amplios de nuevas tecnologías de energía sostenible.

El desafío de la energía sostenible exigirá un esfuerzo concertado de las organizaciones internacionales, los gobiernos nacionales, el sector energético, la sociedad civil, el sector privado y los ciudadanos. Sean cuales sean las dificultades de adoptar las acciones apropiadas, serán pequeñas con relación a lo que está en juego. Dado que el mundo se encuentra en un período dinámico y crítico de transición económica, tecnológica, demográfica y estructural, y dado que los sistemas energéticos tardan décadas en cambiar, ya es momento de actuar.

Energía y prosperidad económica

Es probable que crezca la demanda de servicios energéticos de las economías industrializadas y de transición, aunque la creciente eficiencia en conversión y utilización final puede hacer que la demanda de energía primaria permanezca estable o incluso que disminuya. No obstante, se espera que la demanda de energía primaria crezca alrededor de un 2.5 por ciento anual en los países en vías de desarrollo a medida que prosigan la industrialización y la motorización, y mejoren los niveles de vida.

Será esencial satisfacer estas demandas previstas para que los países en vías de desarrollo obtengan la prosperidad económica. Se necesitará una inversión considerable —del orden de 2.0-2.5 por ciento del PIB de los países en vías de desarrollo durante los próximos 20 años. Esto se aproxima a lo que siempre ha sido normal y, con unas buenas políticas financieras y económicas, debería ser asequible. En el pasado, las inversiones energéticas de los países en desarrollo dependían fundamental —e innecesariamente— de las subvenciones gubernamentales, y demasiado poco de los recursos financieros que se generaban mediante unos precios reales en función de los costes, normativas reguladoras y una gestión eficiente.

En general, no hay motivos para que el sector de la energía no sea financieramente autosuficiente, en el siguiente sentido: unas normativas reguladoras y precios apropiados elevarían los ingresos para cubrir los costes de explotación y generar unos rendimientos de la inversión suficientes para atraer financiación e inversión privada a gran escala. Naturalmente, uno de los principales objetivos de la liberalización del mercado y de las nuevas formas de regulación introducidas en muchos países en la década de 1990 fue precisamente éste: reducir la necesidad de subvenciones gubernamentales y atraer capital e inversión privados al sector de la energía. Los otros objetivos fueron alentar la innovación, la rentabilidad de la inversión y la eficacia administrativa.

Pero podrían ser necesarias subvenciones gubernamentales temporales para ayudar a las personas que están excluidas del mercado por la pobreza extrema. Al igual que las zonas pobres de los países industrializados se beneficiaron en el pasado de políticas energéticas no de mercado, estas opciones deberían seguir disponibles, cuando esté justificado, en los países en vías de desarrollo. Además, los pobres pueden necesitar protección contra las dificultades económicas ocasionadas por tendencias que ellos no pueden controlar. Por ejemplo, en algunos países en desarrollo la subida del precio del petróleo en la década de 1970 y principios de la década de 1980 contribuyó a unos

grandes incrementos de la deuda exterior —hasta un 50 por ciento en algunos casos¹⁶. Los efectos de esa deuda— empobrecimiento del país y desempleo generalizado —fueron particularmente duros para los pobres, aunque su principal combustible era y continúa siendo la leña, en lugar del petróleo. La carga de la deuda desde la década de 1970 persiste en muchos países en vías de desarrollo.

Aunque no parece haber limitaciones físicas a los recursos energéticos totales, es probable que surjan problemas potencialmente graves si no se desarrollan oportunamente las políticas económicas, tecnológicas y medioambientales apropiadas. Son necesarios unos precios racionales de la energía, pero también hay que incitar a los mercados a que busquen soluciones tecnológicas a los problemas, antes de que comiencen a exigir unos elevados costes sociales y ambientales. Para encontrar las formas de contener las emisiones de gases de efecto invernadero y abordar otros problemas medioambientales de ámbito mundial, a la vez que se amplían los servicios energéticos, serán necesarias políticas ilustradas de investigación, desarrollo y demostración. Por lo tanto, dependerá mucho de las políticas energéticas y medioambientales que se introduzcan, y de su relación con las fuerzas de globalización y liberalización (analizadas más adelante).

Gracias a los adelantos tecnológicos y a una mejor información sobre los impactos, los países en vías de desarrollo pueden afrontar los problemas ambientales de ámbito local y regional a principios del siglo XXI, y en una fase de desarrollo anterior a la de los países industrializados. Abordando estos factores externos negativos de la generación y uso de la energía en una etapa temprana, los países en vías de desarrollo encontrarían su bienestar económico global, y las perspectivas de su población mejorarían, no empeorarían. Sin embargo, la cuestión del cambio climático global podría resultar más difícil de reconciliar con unos altos niveles de crecimiento económico.

Sin embargo, el análisis de este informe sugiere que no existen límites fundamentales tecnológicos, económicos o de recursos que impidan que el mundo disfrute de las ventajas de unos buenos servicios energéticos y de un mejor medio ambiente. No se pretende sugerir que se deban esperar estos beneficios —sólo que se pueden lograr. Como demuestran las hipótesis antes analizadas, el futuro sostenible depende de ambiciosas medidas políticas y del apoyo a la innovación tecnológica.

Al analizar las políticas apropiadas, es importante recordar las características clave del entorno político y económico donde se desarrollarán los nuevos sistemas energéticos:

- **La amplia estructura de las políticas macroeconómicas y de desarrollo** particularmente aquellas para la educación y el crecimiento de amplia base. Por debajo de un determinado nivel de renta per cápita, hay otras necesidades de subsistencia distintas de la energía que dominan los presupuestos y prioridades familiares. El crecimiento de los ingresos entre los grupos sin acceso es el determinante más importante respecto a si estarán dispuestos a pagar los servicios energéticos (y proporcionar así la demanda necesaria para que los mercados funcionen eficazmente). A su vez, esto depende de políticas ajenas al sector energético.
- **La liberalización generalizada de los mercados energéticos y la reestructuración del sector de la energía.** Estos cambios vienen determinados por monopolios ineficaces, restricciones presupuestarias de los gobiernos y la expansión de las oportunidades tecnológicas —especialmente en la generación de potencia eléctrica. La liberalización y reestructuración pueden reducir los costes y generar la financiación necesaria para la expansión y ampliación de los suministros (mientras que resulte rentable hacerlo). Pero, en los mercados energéticos reestructurados, no habrá subvenciones cruzadas para incrementar el acceso en las zonas que no sean atractivas para los inversores, a menos que la reestructuración vaya acompañada de medidas políticas que aborden específicamente estas cuestiones.
- **La globalización y las transformaciones de la era de la información.** La globalización —la expansión mundial de las grandes empresas y la adquisición por su parte de empresas locales, o asociación con las mismas— está relacionada con la liberalización de los mercados. Es común la compra de materiales y servicios en países extranjeros distantes. Las nuevas tecnologías también se están difundiendo a un ritmo más rápido que nunca, espoleado por el acceso mundial a Internet y otras tecnologías de la información. Esta expansión puede acelerar la conciencia sobre las opciones de energía sostenible y el despliegue de nuevas tecnologías.

Políticas energéticas para un desarrollo sostenible

Las hipótesis han puesto de manifiesto que, aunque la energía puede contribuir a un desarrollo sostenible, su rendimiento en este aspecto dependerá de una variedad de factores, como las actitudes y el comportamiento, la información y las tecnologías, la disponibilidad de finanzas e instituciones de apoyo, y —en particular— políticas y marcos normativos que estimulen el cambio en la dirección deseada. La actual trayectoria del desarrollo energético y la rapidez de los cambios no son compatibles con los elementos clave del desarrollo sostenible. La divergencia de futuros alternativos que se hace evidente en las hipótesis transcurridos alrededor de 20 años, refleja la naturaleza a largo plazo de los sistemas energéticos. También indica que, si los gobiernos, corporaciones e instituciones internacionales no introducen ahora políticas y medidas apropiadas, es probable que se desperdicien unas oportunidades críticas. Entonces resultará incluso más difícil cambiar el curso.

Los aspectos más críticos que deben abordar las estrategias de energía sostenible y las políticas que de las mismas se deriven, son cómo ampliar el acceso a suministros de energía modernos, fiables y asequibles, y cómo aliviar los impactos negativos sobre la salud y el medioambiente como consecuencia del uso de la energía.

Dados los marcos, las señales de precios y los regímenes reguladores adecuados, los mercados pueden lograr eficazmente los objetivos económicos de desarrollo sostenible. Pero no cabe esperar que los mercados solos satisfagan las necesidades de los grupos más vul-

nerables y protejan el medio ambiente. Cuando los mercados no protejan estos y otros importantes beneficios públicos, serán necesarias políticas gubernamentales específicas y planteamientos normativos coherentes. El problema es que las intervenciones gubernamentales son normalmente menos eficientes que los planteamientos del mercado. La intervención gubernamental puede tener consecuencias no intencionadas, en contradicción con sus objetivos originales. Por esta razón, es necesario probar planteamientos diferentes y aprender de las experiencias de otros países.

Las políticas y los marcos normativos en apoyo del desarrollo sostenible deben concentrarse en ampliar el acceso, estimular la eficiencia energética, acelerar la difusión de nuevas energías renovables y ampliar la utilización de tecnologías avanzadas de combustibles fósiles limpios, manteniendo abierta la opción nuclear. Estas áreas políticas, así como las decisiones sobre el transporte privado-público y la planificación urbana, son las más importantes respecto a los problemas ambientales y de seguridad relacionados con los combustibles fósiles.

Las estrategias generales para estimular los sistemas de energía sostenible son claras. Pero su consecución exigirá un amplio reconocimiento de los retos que afrontamos y un compromiso más fuerte con políticas específicas. Las estrategias están encaminadas principalmente a encauzar las eficiencias del mercado hacia el objetivo de desarrollo sostenible y la utilización de medidas adicionales para acelerar la innovación, superar los obstáculos y las imperfecciones del mercado, y proteger los beneficios públicos importantes. Entre las estrategias básicas, destacan seis.

Hacer que los mercados funcionen mejor
Impulsados por las fuerzas de la competencia, los mercados asignan los recursos mejor que los sistemas administrados. Pero el mercado no tiene en cuenta los costes sociales y ambientales del suministro y uso de la energía. Unas políticas que reduzcan las distorsiones del mercado —que nivelen el campo de juego— conferirían a la energía sostenible (fuentes renovables, medidas de eficiencia energética, nuevas tecnologías con emisiones casi nulas) una posición de mercado considerablemente mejor respecto de los usos y prácticas actuales.

Las distorsiones del mercado se pueden reducir eliminando progresivamente las subvenciones permanentes a la energía convencional (estimadas en 250-300 mil millones de dólares al año a mediados de la década de 1990) e incluyendo los costes sociales y ambientales en los precios. Varios países han experimentado con impuestos sobre la energía y el medio ambiente como forma de abordar esto último. En muchos casos, serán necesarios incentivos para inducir o acelerar los cambios. Una de estas opciones es una subvención específica y limitada en el tiempo (mediante una “cláusula de caducidad”). En los casos en que los mercados energéticos no puedan funcionar eficazmente debido a la pobreza absoluta, serán necesarios recursos adicionales, incluida la ayuda oficial al desarrollo.

Otro aspecto de conseguir que los mercados funcionen mejor es encontrar las formas de superar los obstáculos a las medidas sobre eficacia de la utilización final de la energía. Incluso en ausencia de subvenciones, las barreras del mercado —como la falta de conocimientos tecnológicos, los diferentes intereses de inversores y usuarios y los elevados costes de transacción de los inversores particulares— impiden que las medidas de eficiencia energética alcancen su potencial rentable. Las opciones para superar estas barreras incluyen normas voluntarias u obligatorias (eficazmente aplicadas) para electrodomésticos, vehículos y edificios, programas de etiquetado para informar mejor a los consumidores, políticas de

La innovación y el liderazgo en las tecnologías energéticas podrían ser muy beneficiosos en términos económicos, medioambientales y humanos para los países en vías de desarrollo

abastecimiento para conseguir mayores niveles y economías de escala, formación técnica en nuevas tecnologías de eficiencia energética y su mantenimiento, y mecanismos de crédito para ayudar a los consumidores a hacer frente a los precios de compra más elevados.

Complementar la reestructuración del sector de la energía con normativas que estimulen la energía sostenible

La continua reestructuración mundial de la industria de la energía —determinada en gran medida por la creciente globalización de la economía— dará paso a unos mercados energéticos más eficientes económicamente. Esta reestructuración presenta un abanico de oportunidades para asegurar que los beneficios públicos relacionados con la energía, necesarios para un desarrollo sostenible, sean abordados adecuadamente en las políticas emergentes para la reforma del mercado energético. El proceso puede mejorar si los gobiernos establecen objetivos que definan las características de rendimiento de las tecnologías idóneas sobre energía sostenible (por ejemplo, especificando los límites de emisión de contaminantes atmosféricos o los niveles mínimos para factorías, maquinaria y vehículos).

Estos objetivos de los suministradores pueden ser complementados por mecanismos que favorezcan unas tecnologías de energía sostenible en las opciones del mercado energético. Otros planteamientos normativos en apoyo de la energía sostenible incluyen el mandato de que un determinado porcentaje de energía provenga de fuentes renovables, exigiendo que las redes de distribución de energía sean abiertas a los productores de potencia independientes, y asegurar que sean atendidas las poblaciones rurales. Estas regulaciones están basadas en el reconocimiento de que la reestructuración del mercado energético, por sí misma, quizás no pueda ayudar a conseguir el desarrollo sostenible.

Movilizar inversiones adicionales en energía sostenible

Los mercados energéticos de muchos países están volviéndose más competitivos con rapidez. Por este motivo, las buenas políticas sobre energía sostenible, tanto si abarcan financiación, incentivos, impuestos o reglamentos, deben involucrar al sector privado y catalizar la inversión privada a gran escala. Pero, por razones de carácter político o institucional, muchas de las economías de transición y en desarrollo que más necesitan inversión tienen problemas para atraer a la empresa privada y acceder a los mercados financieros. Podrían ser necesarias una legislación y una jurisdicción comerciales fiables, así como incentivos, para animar a las empresas privadas a que inviertan en energía sostenible —o sufragar los riesgos relacionados con tales inversiones.

Las fuentes internacionales de financiación quizás deban jugar también un papel más importante en los países menos desarrollados, especialmente en aquellos donde no haya condiciones que atraigan los negocios. La estabilidad política, la aplicación de la ley, la evitación de intervenciones arbitrarias y la existencia de instituciones que faciliten el ahorro y la inversión, son generalmente factores importantes para fomentar la inversión. Serán necesarios convenios financieros y de crédito (incluyendo convenios de microcrédito como los que existen actualmente) para hacer llegar la energía comercial a la población excluida de los mercados, especialmente en las zonas rurales.

Fomentar la innovación tecnológica

Las tecnologías que se usan actualmente no son adecuadas ni suficientemente rentables para prestar los servicios energéticos que se necesitarán en el siglo XXI y proteger simultáneamente la salud humana y la estabilidad medioambiental. El apoyo adecuado a un conjunto de nuevas y prometedoras tecnologías es una forma de ayudar a garantizar que las opciones estén disponibles cuando su necesidad resulte más acuciante. Las innovaciones en materia de energía se enfrentan a barreras a lo largo de toda la cadena de la innovación (desde investigación y desarrollo, hasta proyectos de demostración, reducción de costes y una difusión generalizada). Algunas de estas barreras reflejan las imperfecciones del mercado, algunas insuficiencias del sector público y algunos puntos de vista sobre las necesidades, prioridades de las empresas, horizontes de tiempo pertinentes y costes razonables.

El apoyo público necesario para superar estas barreras variará de una tecnología a otra, dependiendo de su madurez y potencial de mercado. Por ejemplo, podría ser necesario dar mayor prioridad a los obstáculos a la difusión de tecnología que a las barreras a la innovación. Es más probable que se necesite un apoyo gubernamental directo para las tecnologías radicalmente nuevas que para los avances incrementales donde, por lo general, el sector privado funciona relativamente bien. Las opciones para apoyar la innovación tecnológica, pero empleando la competencia para evitar que suban los costes, incluyen incentivos fiscales, colaboraciones en investigación y desarrollo, políticas de abastecimiento gubernamentales o de cooperación, programas de etiquetado “verde” e iniciativas de transformación del mercado.

Apoyar el liderazgo tecnológico y el incremento de la capacidad en los países en desarrollo

Dado que la mayor parte del crecimiento previsto de la demanda energética tendrá lugar en el mundo en desarrollo, la innovación y el liderazgo en las tecnologías energéticas podrían ser altamente rentables para dichos países en términos económicos, ambientales y humanos. Las economías en desarrollo (y de transición) deben desarrollar adicionalmente sus recursos —humanos, naturales y tecnológicos— de modo que puedan crear unos sistemas energéticos apropiados a sus propias circunstancias. Pero también necesitan ayuda en forma de transferencia de tecnología, financiación e incremento de la capacidad.

La reducción de la ayuda oficial al desarrollo con respecto al capital de inversión sugiere que mucha de esta ayuda tendrá que ser canalizada por el sector privado o por asociaciones entre el sector privado y el sector público. La colaboración industrial internacional permite que el sector privado consiga mercados a la vez que fomenta la migración de nuevas tecnologías a los países en vías de desarrollo. Los organismos públicos, los institutos de investigación privados y los institutos regionales que ofrecen formación en gerencia tecnológica son posibilidades adicionales para que se compartan mejor las tecnologías y el incremento de la capacidad.

Fomentar una mayor cooperación a nivel internacional

El proceso continuo de globalización significa que las ideas, las finanzas y la energía fluyen de un país a otro. Una forma productiva de avanzar

Evidentemente, la energía puede ser un instrumento poderoso para el desarrollo sostenible

podría incluir la combinación de esfuerzos nacionales, por ejemplo, en el desarrollo de tecnologías de energía renovable. Otras opciones incluyen la armonización internacional de impuestos ecológicos y el comercio de emisiones (particularmente entre los países industrializados), así como normas de eficiencia energética para productos fabricados en masa e importaciones de maquinaria y vehículos usados. La necesidad de acciones concertadas en materia de energía es evidente, de acuerdo con las principales convenciones internacionales que surgieron a partir de la Cumbre de la Tierra 1992, particularmente la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Aunque los principios básicos y los numerosos artículos detallados de esa convención estimulan el desarrollo de la energía sostenible y ofrecen un marco para el progreso futuro, la implantación ha sido lenta en relación con la urgencia de conseguir una mayor sostenibilidad.

El reto de la energía sostenible incluye unos papeles cruciales para gobiernos, organizaciones internacionales, instituciones financieras multilaterales y la sociedad civil, incluidas las organizaciones no gubernamentales

y los consumidores. Serán necesarias asociaciones basadas en unos planteamientos integrados de mayor cooperación y utilizando la experiencia práctica disponible. Un denominador común en todos los sectores y regiones es el establecimiento de unas condiciones marco correctas y hacer que las instituciones públicas funcionen eficazmente con el resto de la sociedad y con otros actores económicos para alcanzar unos objetivos beneficiosos que puedan ser compartidos.

Es evidente que la energía puede servir de potente herramienta para el desarrollo sostenible. Sin embargo, el redirigir su fuerza hacia ese objetivo exigirá importantes cambios de política dentro de un marco de capacitación global. La pobreza, la falta de equidad, la ineficacia, los servicios poco fiables, las prioridades ambientales inmediatas, la falta de información y de destrezas básicas, y la ausencia de instituciones y recursos necesarios, hacen necesaria la introducción de cambios. A menos que estos cambios tengan lugar en las próximas décadas, se perderán muchas de las oportunidades ahora disponibles, disminuirán las posibilidades para las generaciones futuras y no se realizará el objetivo de desarrollo sostenible. ■

Referencias

- Naciones Unidas. 1992. Earth Summit Agenda 21: *The United Nations Programme of Action from Rio*. Nueva York.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 1997. *Energy after Rio*. Nueva York.
- CMMAD (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo). 1987. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- CME (Consejo Mundial de la Energía). 1998. Round Up: 17th *Congress of the World Energy Council*. Londres.
- . 2000. *Statement 2000: Energy for Tomorrow's World—Acting Now!* Londres.
- CME-FAO (Consejo Mundial de la Energía y Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas). 1999. *The Challenge of Rural Energy Poverty in Developing Countries*. Londres.
- Banco Mundial. 1996. *Rural Energy and Development: Improving Energy Supplies for Two Billion People*. Washington, D.C.

Notas

1. En este informe, el término *países industrializados* se refiere principalmente a los países de altos ingresos que pertenecen a la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). *Países en vías de desarrollo* se refiere a países con rentas bajas que son miembros del G77 y China. Aunque muchas *economías de transición* también tienen un alto grado de industrialización, a menudo se analizan y discuten por separado debido a sus requisitos de desarrollo específicos.

2. En este informe, los términos *energía tradicional* y *energía no comercial* se emplean de forma intercambiable para denominar los combustibles sin procesar basados en la biomasa y recogidos localmente, como los residuos de cosechas, madera y estiércol animal. Aunque las fuentes tradicionales de energía se pueden utilizar de forma renovable, en este informe el término *energías renovables* se refiere a los biocombustibles modernos, la energía eólica, energía solar, potencia hidroeléctrica a pequeña escala, energía marina y geotérmica.

3. El Informe Brundtland, como se conoce normalmente al informe de la CMMAD (1987), estableció una agenda global para el cambio.

4. Los vínculos de la energía con el desarrollo sostenible fueron reconocidos recientemente por la Sesión Especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas sobre los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo de 1999. Las principales conferencias que resaltaron la importancia de las cuestiones energéticas fueron la Conferencia sobre Población de las Naciones Unidas y la Conferencia sobre Pequeños Estados Insulares en Desarrollo de las Naciones Unidas de 1994, la Cumbre Social de Copenhague y la Cuarta Conferencia Mundial sobre las Mujeres celebrada en Beijing en 1995, y la Cumbre mundial sobre Alimentación y HABITAT II en 1996. Las cuestiones energéticas que surgieron en estas conferencias se resumen en los capítulos 1 y 2 de PNUD (1997).

5. Agenda 21 es el plan de acción para el desarrollo sostenible adoptado en la Cumbre de la Tierra de Río.

6. Los medios para lograr estos objetivos se discuten con mayor detalle en CME (2000).

7. Salvo que se indique lo contrario, todos los precios son en dólares de EEUU.

8. Este objetivo fue reafirmado en 1992 (en el capítulo 33 de Agenda 21).

9. En este informe, el término *energía convencional* se utiliza para referirse a los combustibles fósiles, la energía nuclear o la potencia hidroeléctrica a gran escala.

10. En este informe, la palabra *agresión* se usa para describir un factor de estrés físico producido por el sistema energético, como la contaminación atmosférica. La palabra *impacto* se emplea para describir el resultado, como enfermedades respiratorias o degradación forestal.

11. El Tratado sobre la Carta de la Energía, junto con un protocolo sobre eficiencia energética y aspectos ambientales relacionados, entró en vigor en 1998. Ha sido firmado por alrededor de 50 países, incluidos los miembros de la Unión Europea y la Comunidad de Estados Independientes, Australia y Japón.

12. En el capítulo 6 de este informe aparece un análisis de los potenciales de eficiencia en los sectores de utilización final en los próximos 20 años, basado en estudios tecnoeconómicos detallados y en ejemplos de las mejores prácticas.

13. Convencionalmente, la eficiencia energética ha sido definida de acuerdo con la primera ley de la termodinámica. La segunda ley de la termodinámica reconoce que las diferentes formas de energía tienen distintos potenciales para realizar tareas específicas. Por ejemplo, una caldera de gas para calefacción puede funcionar con una eficiencia cercana al 100% (en términos basados en la primera ley de la termodinámica). Esto parece sugerir que son posibles unas mejoras adicionales limitadas de la eficiencia. Pero extrayendo calor del suelo o de otras fuentes, una bomba de calor accionada por gas podría generar considerablemente más calor de baja temperatura con el mismo consumo de energía. El segundo ejemplo ilustra el potencial de mejoras de eficiencia energética de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.

14. Un sistema de pagos adecuado significa la utilización de contadores y de una forma de cobro que garanticen que todos los servicios energéticos sean pagados por todos los usuarios con carácter regular.

15. Ambas cifras incluyen los dos mil millones que en la actualidad carecen de acceso a energía comercial. Los pronósticos de población de las Naciones Unidas fueron revisados a la baja en 1998, después de que se desarrollasen las hipótesis aquí descritas. Aunque el supuesto de población utilizado para estas hipótesis (11.700 millones para el 2100) es ligeramente mayor que el supuesto medio de las Naciones Unidas (10.400 millones), ninguno de los dos es incongruente.

16. Las políticas de los países industrializados y las presiones inflacionistas de los petrodólares también podrían haber contribuido a los niveles de deuda.

ANEXO: UNIDADES ENERGÉTICAS, FACTORES DE CONVERSIÓN Y ABREVIATURAS

TABLA A1. CONVERSIÓN ENERGÉTICA*

A:	Terajulio (TJ)	Gigacaloría (Gcal)	Megatonelada de petróleo (equiv) (Mtep)	Millones de unidades térmicas en sistema británico	Gigavatio-hora (GWh)
De:	Multiplicado por:				
Terajulio (TJ)	1	238.8	2.388×10^{-5}	947.8	0.2778
Megatonelada de petróleo (equiv) (Mtep)	4.1868×10^4	10^7	1	3.968×10^7	11,630
Millones de unidades térmicas en sistema británico (Mbtu)	1.0551×10^{-3}	0.252	2.52×10^{-8}	1	2.931×10^{-4}
Gigavatio-hora (GWh)	3.6	860	8.6×10^{-5}	3,412	1

* Conversión adicional de cifras disponibles en <http://www.iea.org/stat.htm>

TABLA A2. PREFIJOS

k	kilo (10^3)
M	mega (10^6)
G	giga (10^9)
T	tera (10^{12})
P	peta (10^{15})
E	exa (10^{18})

TABLA A3. EFICIENCIA ESTIMADA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (PARA CALCULAR ENERGÍA PRIMARIA)

Tipo de energía	Eficiencia adoptada
Energía nuclear	.33
Hidroeléctrica	1.00
Eólica y solar	1.00
Geotérmica	.10

TABLA A4. ABREVIATURAS

CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂	Hidrógeno
kWh	Kilovatio hora
GWe	Gigavatio de electricidad
GWth	Gigavatio térmico
MWe	Megavatio hora
TWh	Tera vatio hora
GJ	Giga julio
PJ	Peta julio



Informe Mundial de Energía



PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO
Bureau for Development Policy
One United Nations Plaza
New York, NY 10017
United States of America



DEPARTAMENTO DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA ASUNTOS ECONÓMICOS Y
SOCIALES
Two United Nations Plaza, DC-2
New York, NY 10017
United States of America



CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA
Regency House, 5th Floor
1-4 Warwick Street
London W1R 6LE
United Kingdom

