

**Consejo Económico y Social**

Distr. general  
5 de febrero de 1998  
Español  
Original: inglés

**Comité de Fuentes de Energía Nuevas y Renovables  
y de Energía para el Desarrollo**

Tercer período de sesiones

Nueva York, 23 de marzo a 3 de abril de 1998

Tema 4 a) del programa provisional\*

**Energía y desarrollo sostenible**

**Tecnologías eficaces y ecológicamente racionales  
de la energía de los combustibles fósiles****Informe del Secretario General\*\*****Índice**

|                                                                                                     | <i>Párrafos</i> | <i>Página</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|
| I. Introducción .....                                                                               | 1–8             | 3             |
| II. La energía derivada de los combustibles fósiles y el medio ambiente .....                       | 9–15            | 4             |
| A. La salud y los accidentes .....                                                                  | 10–11           | 4             |
| B. Efectos sobre el medio ambiente local, regional y mundial .....                                  | 12–15           | 5             |
| III. Reservas de energía derivada de los combustibles fósiles .....                                 | 16–17           | 5             |
| IV. Conversión y distribución de la energía .....                                                   | 18–29           | 6             |
| A. Tecnologías menos contaminantes de la conversión de la energía de los combustibles fósiles ..... | 22–23           | 7             |
| B. Comparación de las tecnologías de combustibles fósiles menos contaminantes .....                 | 24–29           | 7             |
| V. Distribución y uso final de la energía .....                                                     | 30–31           | 9             |

\* E/C.13/1998/1.

\*\* La División de Desarrollo Sostenible del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales dispone de información más detallada.

---

|       |                                                                          |       |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| VI.   | Directrices técnicas y socioeconómicas .....                             | 32-36 | 10 |
| A.    | El progreso técnico y el conocimiento .....                              | 32-33 | 10 |
| B.    | Otras medidas y directrices respecto de la energía de origen fósil ..... | 34-36 | 10 |
| VII.  | Mejora de las técnicas de energía fósil en el futuro .....               | 37-39 | 11 |
| A.    | Posibilidades de mejora de las tecnologías de energía fósil .....        | 37    | 11 |
| B.    | Repercusiones de las nuevas técnicas fósiles en el medio ambiente .....  | 38-39 | 11 |
| VIII. | Medidas recomendadas .....                                               | 40    | 11 |

## I. Introducción

1. Hoy en día, los combustibles fósiles satisfacen la mayor parte de las necesidades mundiales en materia de energía. Las prácticas actuales de producción y distribución y la escala en que se utiliza esos recursos ponen en peligro la capacidad de los recursos energéticos del medio ambiente de asimilar sus efectos en los planos local, regional y mundial. Ese hecho ha puesto de manifiesto la necesidad evidente de utilizar la energía derivada de los combustibles fósiles de forma más eficiente, de aumentar la compatibilidad ecológica de las tecnologías de aprovechamiento de esos combustibles y de sustituir los combustibles más contaminantes por combustibles fósiles como el gas natural, cuya utilización es menos perjudicial para el medio ambiente.

2. El mundo cuenta con reservas aseguradas de combustibles fósiles para más de 100 años. Por consiguiente, si se adoptan medidas para concretar las enormes posibilidades que existen de aumentar la eficiencia de la energía y para promover la adopción de tecnologías avanzadas de aprovechamiento de los combustibles fósiles y del gas natural, será posible reducir la gravedad de muchos problemas ecológicos. En el presente informe no se evalúan los posibles efectos que tendría el empleo de esas tecnologías en las emisiones de dióxido de carbono en el plano mundial: aunque la adopción generalizada de las tecnologías más avanzadas a que se hace referencia más adelante contribuiría a moderar el aumento de esas emisiones, se necesitan políticas energéticas más amplias para resolver el problema.

3. Durante más de dos siglos, el consumo mundial de energía primaria ha crecido a una tasa media de alrededor del 2% anual y se ha duplicado aproximadamente cada tres decenios: recientemente, entre 1990 y 1996, la tasa media de aumento fue de alrededor del 1% anual (Nakićenović et. al., 1996; British Petroleum, 1997)<sup>1</sup>. El consumo se multiplicó por 34 entre 1860, en que ascendía al equivalente de unos 260 millones de toneladas de petróleo (eMtp), y 1990, en que alcanzó al equivalente de 9 gigatoneladas de petróleo (9 eGtp, es decir, 9.000 millones de toneladas), suma que incluye alrededor de 1,1 eGtp de formas tradicionales de energía, como la biomasa, el estiércol y los desechos.

4. El aumento histórico del consumo mundial de energía primaria se registró en su mayor parte en los países desarrollados; en consecuencia, hay grandes desigualdades de consumo en el plano mundial. Los países desarrollados, que albergan al 25% de la población mundial, consumen alrededor del 80% del total mundial de energía. Se calcula que alrededor de 2.000 millones de personas siguen sin tener acceso a servicios modernos de suministro de energía. Menos

del 20% del total acumulado de la población mundial, concentrado principalmente en los países industrializados, ha consumido desde 1860 hasta la fecha alrededor del 85% del total mundial de energía.

5. En 1990, con 9 eGtp de energía primaria se producían 6,4 eGtp de energía final, las cuales, tras su conversión en los dispositivos de consumo final, se reducían a unas 3,3 eGtp de energía útil. El suministro de 3,3 eGtp de energía útil dejaba 5,7 eGtp de energía sin utilizar (Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas y Consejo Mundial de la Energía, 1995; Nakićenović et. al., 1996; Gilli et. al., 1995). La mayor parte de esa energía se libera en el medio ambiente en forma de calor moderado y el resto es energía perdida o desechos, como ocurre en la combustión incompleta de combustible. La eficiencia general de la conversión de energía primaria a energía final es de alrededor del 71%. En el sector de la electricidad, la eficiencia de la conversión termodinámica se sitúa entre el 32% y el 34% en los procesos de ciclo único y entre el 40% y el 42% en los procesos de ciclo combinado, mientras que la relación de eficiencia entre la energía final y la energía útil se calcula en un 52%. Así pues, la eficiencia general de la conversión de energía primaria en energía útil es del 37%.

6. Las diferencias de eficiencia energética de una región a otra obedecen a diversos factores: la mezcla de energía, los recursos endógenos, los precios, los niveles de desarrollo económico, etc. Los combustibles fósiles registran tasas relativamente bajas de conversión de energía final en energía útil. Y tasas relativamente altas de conversión de energía primaria en energía final. En el caso de la electricidad sucede lo contrario: la eficiencia de la conversión de energía primaria en energía final es relativamente baja, mientras que la eficiencia de la conversión de energía final en energía útil es muy alta. La eficiencia alcanza su más alto porcentaje en los países con economía en desarrollo (alrededor del 80%) y su porcentaje más bajo en los países con economía en transición (69%). En el plano regional, la eficiencia de la conversión de energía final en energía útil se sitúa entre el 30% que registran los países con economía en transición y el 53% correspondiente a los países con economía de mercado. Así pues, es posible que ni siquiera las tecnologías más eficientes alcancen a compensar los efectos de los estilos de vida prevalecientes en los países con economías de mercado prósperas, que entrañan un alto consumo de energía (Nakićenović, 1993)<sup>2</sup>.

7. En general, los países que registran bajas tasas de actividad económica per cápita, medidas utilizando los tipos de cambio del mercado, tienen un consumo de energía (medido en unidades físicas de energía utilizada por unidad del producto interno bruto (PIB)) más alto que los países con

tasas más elevadas de actividad económica per cápita. Los países que registran muy altas tasas de crecimiento económico también suelen tener tasas elevadas de crecimiento de la intensidad del consumo energético, mientras que los países cuya economía registra una tasa de crecimiento baja o de signo negativo tienen tasas estacionarias o crecientes de intensidad del consumo energético<sup>3</sup>. También es característico de los países en desarrollo que un porcentaje relativamente alto del total de la energía que consumen procede de fuentes de energías tradicionales. Tener en cuenta en esos cálculos únicamente la energía comercializada que se consume reduce aún más la intensidad energética aparente de los países en desarrollo; ahora bien, si se consideran también las fuentes de energía tradicionales, quizás la intensidad energética de algunos de esos países esté aumentando. Aun cuando se hacen esos ajustes, las necesidades energéticas por unidad de actividad económica tienden a disminuir a medida que aumenta el PIB per cápita en los países en desarrollo en su conjunto.

8. Las hipótesis sobre la eficiencia que se derivará de las tecnologías de la energía y sus repercusiones en el medio ambiente cumplen una función fundamental en las perspectivas y proyecciones de la energía y la economía. Morita y Lee (1997) han desarrollado una base de datos única en su clase de perspectivas y proyecciones en materia de energía sobre la base de toda la bibliografía disponible, incluidos 400 análisis diferentes de posibles adelantos en las esferas de la energía y de la economía. En las perspectivas que auguran las necesidades más elevadas en materia de energía, tanto en 2050 como en 2100, las tasas de crecimiento anual son de alrededor del 2%, lo cual incide exactamente con la experiencia histórica (Makarova et al., 1997)<sup>4</sup>. Por otra parte, muchas perspectivas se basan en la hipótesis de que la demanda de energía derivada de los combustibles fósiles seguirá aumentando, aunque a una tasa inferior que la del aumento de la demanda total de energía.

## II. La energía derivada de los combustibles fósiles y el medio ambiente

9. Prácticamente todos los ciclos de combustible tienen efectos perjudiciales para el medio ambiente. La combustión de combustibles fósiles, principal fuente de contaminación atmosférica, genera óxidos de azufre y de nitrógeno, hidrocarburos sin consumir, materia particulada y monóxido de carbono —sustancias que afectan directamente a la salud humana—, así como dióxido de carbono. Esa contaminación se produce en todas las etapas del ciclo de los combustibles

fósiles, desde la extracción de los recursos hasta su utilización final en automóviles y dispositivos generadores de calor. Los efectos perjudiciales incluyen riesgos para la salud, accidentes, contaminación y cambios climáticos en el plano mundial<sup>5</sup>.

### A. La salud y los accidentes

10. A menudo, las causas fundamentales de los efectos perjudiciales para la salud y para el medio ambiente de la energía derivada de los combustibles fósiles están relacionadas con la pobreza. La contaminación del aire de los espacios cerrados genera cada vez más riesgos para la salud en los hogares de las zonas urbanas y rurales, sobre todo en los países en desarrollo. La principal causa de esos riesgos es la combustión de biomasa y de carbón en cocinas y aparatos de calefacción peligro que afecta particularmente a mujeres y niños (Consejo Mundial de la Energía, 1995a). El problema puede mitigarse considerablemente aumentando la eficiencia de las cocinas y de las estufas. Esa mejora traería aparejado el beneficio múltiple de reducir la contaminación, las necesidades en materia de energía y la deforestación. No obstante, el suministro de cocinas y estufas eficientes no sólo es costoso, sino que a veces tropieza con barreras culturales y propias del estilo de vida, por lo que ese problema sólo puede mitigarse de forma apreciable mediante cambios sociales más fundamentales y, fundamentalmente, mediante el propio desarrollo (Consejo Mundial de la Energía, 1995a). Por otra parte, también peligra la salud de los trabajadores de las minas de carbón.

11. Otro de los riesgos que entraña la energía derivada de los combustibles fósiles, además de los efectos insalubres de la contaminación ambiental, es el peligro de muerte presente en todas las etapas del ciclo de los combustibles para los trabajadores del sector y para la población en general. Se estima que tanto los riesgos ocupacionales inmediatos como los mediatos que traen aparejados los ciclos de combustibles derivados del carbón son mucho mayores que los de los ciclos del petróleo o del gas natural. Los riesgos ocupacionales de la explotación del carbón en la superficie son mucho menores que los de la minería subterránea del carbón. En general, la mayor parte de los riesgos inmediatos para la población guardan relación con los accidentes de transporte y los efectos insalubres de la contaminación atmosférica. En cuanto al transporte de la energía, ello implica que el establecimiento de infraestructura específica para ese transporte, como los sistemas de tuberías, reduce considerablemente la exposición de la población en general a los riesgos que entraña el ciclo de los combustibles fósiles.

## B. Efectos sobre el medio ambiente local, regional y mundial

12. Aunque para resolver los problemas de la contaminación atmosférica de las zonas urbanas y rurales ocasionados por la utilización de combustibles fósiles exigirá que se adopten diversas medidas creativas, se prevé una serie de adelantos de índole general —estructurales en su mayor parte— que podrían reducir aún más la contaminación atmosférica<sup>6</sup>. La hipótesis básica es que, con el desarrollo, las principales fuentes de la contaminación atmosférica, que actualmente son dispositivos pequeños, diversos y dispersos que emplean los consumidores finales de la energía, se convertirán en aplicaciones tecnológicas de mayor envergadura para la conversión de esa energía. De esa manera, las medidas encaminadas a reducir la contaminación serían más económicas y, cabe suponer, más fáciles de aplicar en sistemas de conversión más importantes, como las centrales eléctricas (Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas y Consejo Mundial de la Energía, 1995).

13. La experiencia histórica corrobora esa hipótesis. Desgraciadamente, los problemas de la contaminación del aire de los espacios cerrados en el plano local han sido reemplazados por problemas ecológicos de alcance regional y mundial. Las emisiones de óxido de azufre y de nitrógeno, especialmente las que proceden de fuentes de gran tamaño, como las centrales eléctricas, tienen efectos de alcance regional como la acidificación del suelo y del agua, un grave problema ecológico regional. El problema se ha visto agravado por el hecho de que una de las estrategias aplicadas con frecuencia para “mitigar los problemas locales ocasionados por la contaminación del aire” ha consistido en construir chimeneas más altas en las plantas de combustibles fósiles, con los consiguientes efectos de las emisiones de dióxido de carbono en el clima mundial.

14. En general, se solía considerar que la acidificación era un problema que afectaba principalmente a los países industrializados (Consejo Mundial de la Energía, 1995a). Ahora bien, las emisiones están alcanzando niveles preocupantes en muchos países en desarrollo, al igual que los daños causados por la acidificación, particularmente en partes de Asia y Sudamérica. De continuar las tendencias actuales, las emisiones de anhídrido sulfuroso en Asia meridional y oriental superarán en dos decenios el nivel de las emisiones combinadas de América del Norte y de Europa. Si no se toman medidas, tarde o temprano acabarán por generalizarse los problemas causados por la acidificación, como la disminución del rendimiento de las explotaciones agrícolas de Asia. Por

otra parte, en algunas regiones de China ya se manifiestan graves problemas causados por la lluvia ácida (Consejo Mundial de la Energía, 1995a). Por fortuna, se está tomando conciencia en todo el mundo de los problemas que ocasionan al medio ambiente y a la salud humana las emisiones de azufre y de materia particulada.

15. Se pueden adoptar medidas eficaces para reducir las emisiones de azufre y de nitrógeno de las centrales eléctricas. El problema principal radica en obtener los recursos financieros para aplicar esas medidas de reducción de la contaminación. La sustitución del carbón por el gas natural también contribuiría a reducir las emisiones de azufre y de nitrógeno, así como las de dióxido de carbono.

## III. Reservas de energía derivada de los combustibles fósiles

16. Hoy en día, los combustibles fósiles generan alrededor del 75% de toda la energía primaria que se consume en el mundo. El combustible más difundido es el petróleo crudo —al cual corresponde el 33% del total— seguido del carbón, con un 24%, y el gas natural, con un 18%. Desde el punto de vista geológico, el potencial de los combustibles fósiles es enorme, pero no infinito. Su disponibilidad depende en gran medida de las tecnologías que se emplean para su extracción.

17. Hay amplios depósitos de petróleo y de gas natural aptos para la explotación, y se prevé que las reservas comprobadas aumentarán a la par de la producción de petróleo y de gas (Rogner, 1997; Adelman y Lynch, 1997)<sup>7</sup>. Se sabe que las reservas de carbón son todavía más abundante, de modo que la extracción depende en mayor medida de consideraciones económicas, ambientales y de otra índole que de que existan depósitos apropiados. En comparación, las reservas de petróleo convencionales son limitadas. Gran parte de las abundantes acumulaciones de hidrocarburos localizadas constan de carbón y de petróleo y gas no convencionales. La extracción y la utilización de todas las fuentes de energía derivadas de combustibles fósiles entrañan efectos perjudiciales para el medio ambiente. Así pues, el aumento de la eficiencia y de la compatibilidad ambiental de la tecnología de aprovechamiento de la energía derivada de los combustibles fósiles es un requisito importante para su utilización. Esos objetivos revisten particular importancia para los países en desarrollo ricos en carbón.

## IV. Conversión y distribución de la energía

18. En su mayor parte, la energía de los combustibles fósiles no se utiliza en forma directa, sino que se convierte y transforma en electricidad y en combustibles como la gasolina, el combustible de aviación, el combustible de calefacción y el gas natural que se suministra a sus consumidores finales. Para la conversión y el suministro a los usuarios finales se utiliza más de la tercera parte de la energía primaria de los combustibles fósiles fracción que, en su mayor parte, se destina a la generación de electricidad. Actualmente, la eficiencia media mundial de la generación de electricidad es del 30%, mientras que la eficiencia de la refinación de petróleo es de alrededor del 90%. Otras formas de energía final que se suministran a los hogares, como el carbón y el gas natural, exigen un procesamiento relativamente reducido en comparación con la electricidad y los productos del petróleo, por lo que la eficiencia de su conversión es elevada en comparación con la de éstos: se sitúa entre el 60% y casi el 90%. Por consiguiente, al menos desde el punto de vista de la eficiencia, los procesos de conversión de energía más importantes son los que tienen lugar en las refinerías de petróleo y en las centrales eléctricas. El aumento de la eficiencia en esos ámbitos reduciría considerablemente las necesidades de energía, las emisiones y, posiblemente, también los costos.

19. El aumento de la eficiencia de la conversión de la energía es una medida importante para reducir las necesidades de energía primaria por unidad de servicio energético, así como para reducir las cantidades de combustible necesarias y las consecuencias para el medio ambiente a todas las escalas. La evolución de la tecnología, combinada con prácticas prudentes de conservación y producción, se cuentan entre los requisitos fundamentales para aumentar la eficiencia de la conversión. Por ejemplo, la refinación de petróleo crudo es un proceso que exige un enorme consumo de energía, en el cual se refinan los subproductos para aprovecharlos como fuentes de energía y se utilizan también formas de energía comerciales como la electricidad y el gas natural. Como se señaló anteriormente, la eficiencia media de la refinación de petróleo es de alrededor del 90% en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE); ahora bien, esa eficiencia puede variar considerablemente según el tipo de petróleo crudo que se procese y del diseño de la refinería: en algunos países en desarrollo, la eficiencia puede reducirse al 80% o al 85%. No obstante, la eficiencia de las refinerías de petróleo ha aumentado considerablemente en los últimos decenios, a una tasa de alrededor del 1% anual en América del Norte y del 1,5% anual en los países en desarrollo. Las grandes perspectivas de que aumente esa eficiencia se han calculado en un 20% para 2010 y en más del

30% para 2020 (Consejo Mundial de la Energía, 1995b). Sin embargo, el alto costo de la tecnología necesaria para alcanzar un alto nivel de eficiencia en las refinerías complejas obstaculiza su aumento. Según un informe reciente del Consejo Mundial de la Energía (1995b), el costo de desarrollar una capacidad avanzada de refinación se sitúa entre los 70.000 y los 90.000 dólares por tonelada. En una industria donde los beneficios de las nuevas inversiones se obtienen al cabo de unos cinco años, las inversiones destinadas a aumentar la eficiencia no siempre pueden competir con otras alternativas de rentabilidad más inmediata.

20. Desde el punto de vista histórico, la eficiencia de la conversión de combustibles fósiles en electricidad ha aumentado enormemente. Hoy en día, las centrales eléctricas de combustibles fósiles generan energía eléctrica con turbinas de vapor y de gas o una combinación de ambas en un solo ciclo y pueden alcanzar un nivel de eficiencia neto de casi el 40%, mientras que las mejores centrales eléctricas de turbinas para ciclos combinados que emplean gas natural alcanzan una eficiencia superior al 50%. Los aumentos de la eficiencia se han logrado mejorando las tecnologías de conversión, sustituyendo el carbón por el gas natural y reemplazando los motores de vapor por las turbinas y los sistemas de ciclo combinado. Las economías de escala también han permitido aumentar la eficiencia. Así, la eficiencia de la conversión se ha multiplicado por 10 en unos 90 años, es decir, ha aumentado a una tasa aproximada del 2,5% anual.

21. Entre las medidas tecnológicas que se emplean actualmente para aumentar la eficiencia cabe mencionar la utilización de ciclos combinados en centrales eléctricas que emplean gas natural y la utilización de ciclos hipercríticos de flujo de vapor en las centrales eléctricas que utilizan carbón. Al mismo tiempo, por motivos ecológicos, a menudo hay que añadir sistemas de depuración de los gases de combustión para eliminar sustancias contaminantes como los óxidos de azufre y de nitrógeno y, en el futuro, es posible que se utilicen depuradoras para filtrar el carbón. En los últimos tiempos, el diseño y la integración innovadoras de las centrales eléctricas han permitido aumentar la eficiencia y reducir las emisiones (en una magnitud superior a la de las emisiones directamente relacionadas con el factor eficiencia). Por ejemplo, los ciclos combinados de gasificación integrada, las tecnologías de combustión en lecho fluidizado a presión y las células de combustible reducen considerablemente la mayor parte de las emisiones, lo cual suprime o reduce la necesidad de dispositivos adicionales para proteger el medio ambiente.

## **A. Tecnologías menos contaminantes de conversión de la energía de los combustibles fósiles**

### **1. Gas natural y ciclos combinados**

22. Hoy en día, las centrales eléctricas más eficaces desde el punto de vista económico y menos contaminantes desde el punto de vista ecológico utilizan gas natural y ciclos combinados. La tecnología más eficiente disponible en el mercado alcanza porcentajes netos de eficiencia de la conversión de energía del 95% y del 52%. Se prevé que en los próximos años esos porcentajes aumentarán levemente. La tecnología del ciclo combinado protege a la industria ante la incertidumbre respecto de las futuras prioridades normativas en materia de medio ambiente y además representa la estrategia de inversión más eficaz en relación con los costos, y la menos contraproducente. En suma tres factores influyen en la economía de la tecnología de ciclo combinado: a) la disponibilidad de gas natural o gasóleo de bajo costo; b) la exigencia de emisiones más bajas en las políticas ambientales y c) los relativamente bajos gastos de capital.

### **2. Tecnologías menos contaminantes y más eficientes de utilización del carbón**

23. Otra forma de lograr un alto nivel de eficiencia en la conversión de la energía y bajos niveles de emisión consiste en utilizar carbón y aplicar una tecnología de ciclo combinado. Esencialmente, en la mayor parte de las tecnologías menos contaminantes de utilización del carbón se combinan las turbinas de gas y el carbón o los combustibles basados en el carbón (Bajura y Webb, 1991). Esas tecnologías se dividen en varias categorías: los procesos de combustión menos contaminantes como la combustión en lecho fluidizado a presión, la gasificación del carbón y la combustión del gas resultante de la síntesis en una turbina de gas de ciclo combinado; la utilización de turbinas de alimentación directa e indirecta de carbón; el empleo de turbinas de gas propulsadas por combustible y oxígeno puro; los generadores magnetohidrodinámicos; el uso de células de combustible carbonífero y la separación del hidrógeno del carbón. Las tecnologías de combustión en lecho fluidizado a presión y de sistemas integrados como los ciclos combinados de gasificación integrada ya se están utilizando o están a punto de incorporarse al mercado. Los sistemas de alimentación directa de carbón están en la etapa de desarrollo de prototipos, al igual que los de células de combustible, mientras que el desarrollo de generadores magnetohidrodinámicos y el proceso de separación del hidrógeno del carbón se encuentran en la etapa de comprobación de los principios teóricos.

## **B. Comparación de las tecnologías de combustibles fósiles menos contaminantes**

24. En el cuadro se reseñan las principales características de las tecnologías de combustibles fósiles menos contaminantes que probablemente contribuirán a aumentar la eficiencia de la conversión de la energía en los próximos decenios y a reducir sus efectos sobre el medio ambiente a todas las escalas, así como estimaciones representativas de las características de esas tecnologías desde los puntos de vista económicos y técnicos. Lamentablemente, hay pocas fuentes bibliográficas con las que se pueda establecer una comparación efectiva.

25. Es evidente que las características de las centrales eléctricas de ciclo combinado que emplean como combustible el gas natural y de las centrales eléctricas convencionales que emplean carbón varían según la localidad en función de diversos factores; las cifras indican el costo y el rendimiento de esos establecimientos. La situación es totalmente diferente en el caso de las tecnologías en vías de desarrollo. No se conocen con certeza las características que tendrán los establecimientos correspondientes, y la información sobre su costo es particularmente especulativa. Esos datos se incluyen en el cuadro para dar una idea aproximada en órdenes de magnitud; no obstante, es evidente que esas cifras podrán modificarse radicalmente antes de que ese tipo de centrales eléctricas se construyan a escala comercial.

## Características de las técnicas poco o menos contaminantes de generación de electricidad de origen fósil

(Costos estimados en dólares de los EE.UU. de 1990)

| <i>Técnica</i>                                     | <i>Unidades<sup>a</sup></i> | <i>Ordinaria con carbón</i> | <i>Combustión de carbón en lecho fluidizado a presión</i> | <i>Ciclo combinado de gasificación integrada con carbón</i> | <i>Turbinas de alimentación directa con carbón</i> | <i>Turbinas de alimentación indirecta con carbón</i> | <i>Ciclo combinado con gas natural</i> |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Energía                                            | MW                          | 400                         | 400                                                       | 1 250                                                       | 200                                                | 200                                                  | 400                                    |
| Gastos de capital                                  | \$/kW                       | 1 300                       | 1 750                                                     | 1 350                                                       | 2 100                                              | 1 430                                                | 650                                    |
| Gastos fijos de funcionamiento y mantenimiento     | \$/kW-año                   | 36,4                        | 56                                                        | 37,8                                                        | 71,4                                               | 30                                                   | 16,3                                   |
| Gastos variables de funcionamiento y mantenimiento | \$/kW-año efectivo          | 42,9                        | 26,3                                                      | 27,2                                                        | 30,7                                               | 25,4                                                 | 5,9                                    |
| Rendimiento                                        | %                           | 38,8                        | 45                                                        | 44,3                                                        | 43,2                                               | 51,7                                                 | 52,6                                   |
| Utilización de combustible                         | BTU/kWh efectivo            | 8 800                       | 7 600                                                     | 7 700                                                       | 7 900                                              | 6 600                                                | 6 490                                  |
| Gasto de combustible                               | \$/GJ                       | 2,05                        | 2,05                                                      | 2,05                                                        | 2,05                                               | 2,05                                                 | 2,4                                    |
| Duración                                           | años                        | 35                          | 30                                                        | 35                                                          | 30                                                 | 35                                                   | 35                                     |
| Factor de carga                                    | %/año                       | 80                          | 80                                                        | 80                                                          | 70                                                 | 75                                                   | 80                                     |
| Gasto (excepto combustible)                        | \$/                         | 0,0229                      | 0,0291                                                    | 0,0218                                                      | 0,04                                               | 0,0196                                               | 0,0094                                 |
| Gasto total de generación de electricidad          | \$/kWh efectivo             | 0,0468                      | 0,0486                                                    | 0,0415                                                      | 0,0608                                             | 0,0368                                               | 0,0265                                 |
| Emisiones de carbono                               | kgC/kWh efectivo            | 0,232                       | 0,2                                                       | 0,203                                                       | 0,208                                              | 0,174                                                | 0,109                                  |

| <i>Técnica</i>                                                 | <i>Unidades<sup>a</sup></i> | <i>Pilas de combustible de carbón</i> | <i>Pilas de combustible de carbón fundido con carbón</i> | <i>Pilas de combustible de carbón fundido con gas natural</i> | <i>Pilas de combustible de óxido sólido con carbón</i> | <i>Pilas de combustible de óxido sólido con gas natural</i> |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Energía                                                        | MW                          | 150                                   | 650                                                      | 200                                                           | 165                                                    | 165                                                         |
| Gasto de capital                                               | \$/kW                       | 2 600                                 | 1 650                                                    | 1 150                                                         | 1 240                                                  | 860                                                         |
| Gastos fijos de funcionamiento y mantenimiento                 | \$/kW-año                   | 78                                    | 16,5                                                     | 15                                                            | 12,4                                                   | 11,2                                                        |
| Gastos variables de funcionamiento y mantenimiento             | \$/kW-año efectivo          | 87,6                                  | 92                                                       | 87,6                                                          | 78,8                                                   | 74,5                                                        |
| Rendimiento                                                    | %                           | 55                                    | 50,5                                                     | 52,9                                                          | 49,7                                                   | 54,2                                                        |
| Utilización de combustible                                     | BTU/kWh efectivo            | 6 200                                 | 6 750                                                    | 6 450                                                         | 6 860                                                  | 6 300                                                       |
| Gasto de combustible                                           | \$/GJ                       | 2,05                                  | 2,05                                                     | 2,4                                                           | 2,05                                                   | 2,4                                                         |
| Duración                                                       | años                        | 30                                    | 30                                                       | 30                                                            | 30                                                     | 30                                                          |
| Factor de carga                                                | %/año                       | 70                                    | 75                                                       | 75                                                            | 75                                                     | 75                                                          |
| Gasto de la técnica (excepto combustible)                      | \$/kWh efectivo             | 0,0535                                | 0,0313                                                   | 0,025                                                         | 0,0246                                                 | 0,0197                                                      |
| Gasto total de producción de electricidad en corriente alterna | \$/kWh efectivo             | 0,0769                                | 0,0564                                                   | 0,0153                                                        | 0,0484                                                 | 0,0442                                                      |
| Emisiones de carbono                                           | kgC/kWh efectivo            | 0,163                                 | 0,178                                                    | 0,108                                                         | 0,181                                                  | 0,106                                                       |

<sup>a</sup> MW = megavatio; kWh = kilovatio-hora; BTU = Unidad térmica inglesa; GJ = gigajulio; kgC = kilogramos de carbono.

26. En el cuadro figuran estimaciones de los gastos de capital, fijos y variables de las tecnologías menos contaminantes, muchas de las cuales se encuentran aún en vías de desarrollo y entrañan gastos de entre 3 y más de 6 centavos por kilovatio-hora para la generación de electricidad. Las centrales eléctricas que generan electricidad al costo más bajo son las del ciclo combinado que emplean gas natural. Los gastos de la generación de electricidad se calcularon incluyendo y sin incluir los gastos de combustible. La estimación de los gastos de combustible se llevó a cabo sobre la base de un precio de 50 dólares por tonelada de carbón (54 dólares por kilovatio-año) y de 2,5 dólares por millón de unidades térmicas británicas de gas natural (75 dólares por kilovatio-año), incluidos los gastos de transporte, y se reiteró el carácter incierto propio de ese tipo de estimaciones. De hecho, parte de las grandes diferencias de los gastos de capital entre las diversas tecnologías de combustibles fósiles menos contaminantes se ven contrarrestadas por sus diferencias en cuanto a los gastos de combustible (Organismo Internacional de Energía Atómica, 1991). Las tecnologías que entrañan grandes gastos de capital suelen tener gastos de combustible reducidos. Los gastos de capital más bajos de la tecnología de ciclo combinado ofrecen más flexibilidad de financiación para los servicios que deben competir con otras oportunidades de inversión para obtener capital. Ello pone de manifiesto algunas de las ventajas económicas de la tecnología de ciclo combinado en las condiciones actuales del mercado.

27. La eficiencia térmica de las centrales eléctricas avanzadas que emplean combustibles fósiles superan el 40%; el porcentaje sobrepasa el 55% en el caso de las células de combustible (es posible que las células de combustible permitan llegar a alcanzar un nivel de eficiencia superior al 60% (Organismo Internacional de Energía Atómica, 1991), lo cual duplicaría de hecho la eficiencia media actual de la generación de electricidad). La eficiencia media actual de las centrales eléctricas que utilizan carbón en los países de la OCDE, que prácticamente alcanza el 39%, se acerca al rendimiento de las centrales eléctricas convencionales modernas que utilizan carbón. En cambio, la eficiencia media de las centrales eléctricas que emplean carbón es de aproximadamente el 33%, es decir, casi 20% menos que la eficiencia de la central eléctrica convencional tomada como referencia. A medida que las centrales eléctricas modernas amplíen su participación en el mercado, mayores serán las posibilidades de aumentar la eficiencia media.

28. Los diseños de algunas centrales eléctricas avanzadas que emplean carbón se están acercando a una etapa en que podrían producirse a escala comercial. En comparación con la eficiencia media mundial de las centrales eléctricas que emplean carbón, esas centrales de diseño avanzado quizás

permitirían aumentar la eficiencia en casi el 40% y reducir considerablemente las emisiones de materia particulada, óxidos de azufre y nitrógeno y en casi un 40% las emisiones de óxido de carbono. El aumento de la eficiencia es una forma muy eficaz de mitigar las consecuencias para el medio ambiente de la utilización de la energía a todas las escalas, incluidas las emisiones de dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono, sin que sea necesario aumentar el costo de la electricidad.

29. Esta evaluación comparativa de las tecnologías avanzadas de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles indica que la opción más eficaz en relación con los costos en distintas condiciones locales y regionales es la central eléctrica de ciclo combinado que emplea gas natural. Esa situación se mantendrá durante algún tiempo. Se prevé que la mayor parte de las demás tecnologías avanzadas entrañarán gastos de capital más elevados, aunque en algunos casos esos gastos serán menores cuanto mayor sea la envergadura de la central eléctrica. No obstante, el gas natural es la fuente de energía preferible, y la tecnología de ciclo combinado, cuando se dispone de gas natural, es la más aconsejable. A una escala superior a los 500 megavatios, tal vez un sistema combinado de tecnologías de ciclo combinado de gasificación integrada y degeneradores magnetohidrodinámicos sea una opción viable. Además, entre los combustibles fósiles, el gas natural es la fuente de energía menos perjudicial para el medio ambiente: sus emisiones de dióxido de azufre son mínimas; sus emisiones de óxido de nitrógeno pueden reducirse y sus emisiones de dióxido de carbono son las más bajas de todos los combustibles fósiles. El principal problema son las pérdidas de metano, un potente gas de efecto invernadero. Afortunadamente, por motivos de seguridad, las pérdidas de las tuberías se mantienen a niveles bajos, y otras emisiones de metano pueden reducirse de forma eficaz. Ahora bien, es evidente que la disponibilidad de gas natural es un problema en varias partes del mundo, ya sea porque no es una fuente de energía abundante o desarrollada en la región, porque no hay posibilidades aceptables de importación o porque se carece de la infraestructura adecuada para su transporte y distribución.

## V. Distribución y uso final de la energía

30. La estructura del uso final de la energía es de importancia capital para el rendimiento general de la energía de origen fósil desde la fuente hasta el consumo. El propósito de la transformación de la energía primaria en energía final es facilitar un mayor rendimiento y provecho y reducir los efectos nocivos del uso final de la energía en el medio

ambiente. En efecto, el rendimiento del consumo de energía final puede influir más en el rendimiento general de todo el ciclo de combustible que el propio rendimiento en etapas intermedias. Naturalmente, los aparatos que son usuarios finales, como los vehículos de motor, están estrechamente relacionados con combustibles determinados. Muy a menudo esos aparatos limitan la flexibilidad para optar por distintas fuentes de energía primaria y distintos combustibles fósiles. Por lo tanto, la cuestión es determinar qué combinación de aparatos de uso final y sus correspondientes ciclos de combustible fósil puede proporcionar todos los servicios energéticos necesarios en el futuro con el máximo rendimiento general, un costo moderado y escasos efectos sobre el medio ambiente. A juzgar por el examen del rendimiento, el gasto total y las emisiones de anhídrido carbónico de diversas aplicaciones de uso final y sus correspondientes ciclos de combustible fósil, es obvio que la electricidad es la forma de energía final preferible para combinar distintos combustibles fósiles con distintos aparatos de uso final (fijos)<sup>8</sup>.

31. Puesto que la demanda de servicios de energía impulsa los ciclos de combustible, hay que procurar mejorar el rendimiento de los aparatos de uso final. Por ello, las medidas de gestión de la demanda de energía y de otra índole encaminadas a mejorar el rendimiento y reducir el gasto del uso final de la energía son cuando menos tan importantes como las mejoras en etapas previas. En vista de las muchas oportunidades de gestión de la demanda de energía y de mejora del rendimiento del uso final, se plantea la cuestión de por qué esas oportunidades prácticamente no se han aprovechado. Existen obstáculos evidentes, sobre todo en los países en desarrollo, como son diversos fallos de asignaciones al mercado, directrices de fijación de precios, barreras institucionales, actitudes de los consumidores, estructuras de incentivos, acceso a los créditos y limitaciones de infraestructura. Los métodos actuales no resuelven adecuadamente esos problemas.

## **VI. Directrices técnicas y socioeconómicas**

### **A. El progreso técnico y el conocimiento**

32. Debe darse una gran innovación en el sector energético si se quieren cumplir los ambiciosos logros de aumentar la cantidad y la calidad de los servicios energéticos reduciendo al mismo tiempo considerablemente los gastos y los efectos negativos de numerosas opciones técnicas. Contrariamente a esto, en el último decenio, el apoyo del sector público a la investigación, desarrollo y demostración en materia de

energía ha descendido una tercera parte en los países de la OCDE y se ha reducido a la mitad el porcentaje del PIB destinado a esas actividades (Watson y otros, 1996). Por suerte, las técnicas de la energía precisan una inversión en investigación, desarrollo y demostración relativamente escasa. Algunas técnicas fósiles modernas son de escala y modularidad reducidas, lo que permite obtener un alto grado de experiencia con inversiones relativamente módicas.

33. Los programas de investigación, desarrollo y demostración son necesarios, aunque no suficientes, para introducir nuevas técnicas en el mercado. Se necesitan además proyectos y programas de demostración comercial situados en contextos económicos y organizativos realistas que estimulen el mercado de las nuevas técnicas. Tanto la labor de investigación, desarrollo y demostración como la demostración y el despliegue comerciales, en particular en los mercados apropiados, exigen la actuación coordinada de los sectores público y privado y diversas medidas y directrices reguladoras y de mercado.

### **B. Otras medidas y directrices respecto de la energía de origen fósil**

34. Sin las medidas y las directrices adecuadas es improbable que se produzca una difusión de tecnologías de energía fósil modernas, poco contaminantes y de gran rendimiento más allá de las mejoras del rendimiento tecnológico que acompañan a la sustitución natural del capital amortizado en el sistema energético.

35. La escasez de capital, sobre todo en los países en desarrollo y en algunos con economía en transición, es un impedimento grave para la adopción de tecnologías energéticas modernas. Además, las técnicas de suministro de energía compiten por un capital escaso con otras necesidades del desarrollo. No obstante, muchas opciones energéticas podrían derivar de la producción endógena y fomentar nuevas infraestructuras y la creación de empleo en el plano local. Incluso en los países industrializados es posible que el capital destinado a financiar las tecnologías de suministro de energía tenga un rendimiento inferior al invertido en otras esferas. La adopción de medidas para que las técnicas de suministro y transformación de la energía resulten más atractivas para el mercado puede mitigar las dificultades financieras al reducir el riesgo, la incertidumbre y las necesidades de capital inicial. Otras medidas útiles son la amortización acelerada, los préstamos para la iniciación de actividades y las subvenciones privilegiadas.

36. La supresión de las barreras institucionales suele ser determinante también para que el sector privado invierta en tecnologías modernas. La reforma normativa y la desregulación (supresión de monopolios de productores y desmembramiento de redes de transmisión y distribución) ha hecho que productores de energía pequeños e independientes accedan a la red de suministro y sean más competitivos. También contribuiría a la adopción de las nuevas técnicas la normalización de los equipos con objeto de facilitar la conexión al sistema.

## **VII. Mejora de las técnicas de energía fósil en el futuro**

### **A. Posibilidades de mejora de las tecnologías de energía fósil**

37. Numerosos estudios ponen de manifiesto que es viable aumentar el rendimiento energético entre un 10% y un 30% con gastos netos casi nulos en muchos lugares del mundo si en los dos o tres decenios próximos se produce un cambio técnico y mejora la gestión (Watson y otros, 1996a). La sustitución inmediata del sistema energético actual por las mejores tecnologías disponibles provocaría un aumento del rendimiento general de aproximadamente el 60%, incluso prescindiendo de las técnicas más modernas aún no comercializadas. Al ritmo histórico de mejora de un 1% anual, ese aumento del rendimiento tardaría unos 70 años. Sin embargo, en un plazo de entre 50 y 100 años, todo el sistema de suministro de energía se reemplazará al menos dos veces. Por lo tanto, es técnicamente posible mejorar notablemente el rendimiento al ritmo normal con que se hacen inversiones para reemplazar la infraestructura y el material cuando se desgasta o queda anticuado. Es ciertamente posible lograr un ritmo de mejora más rápido si se establecen las directrices adecuadas que aceleren la transformación tecnológica de las instalaciones de combustible fósil.

### **B. Repercusiones de las nuevas técnicas fósiles en el medio ambiente**

38. La mejora del rendimiento energético es a grandes rasgos proporcional a la posible reducción de las emisiones, pero la posibilidad de reducir éstas es mayor si se tienen en cuenta los mecanismos de regulación de las emisiones. En lo que atañe a las tecnologías mejoradas que utilizan el mismo combustible fósil, la mejora del rendimiento acarrea una reducción de los gastos de combustible, lo que a menudo

puede compensar las necesidades algo mayores de capital. Esas técnicas mejoradas pueden producir beneficios accesorios apreciables, como la disminución de otras sustancias contaminantes (como el anhídrido sulfuroso, los óxidos de nitrógeno y la materia granulosa). Cabe decir que las emisiones descendieron aproximadamente un 24% entre 1990 y 1994 en Europa occidental y en los países con economía en transición como consecuencia, respectivamente, de las directrices constantes destinadas a reducir el azufre y de la recesión económica y consiguiente disminución del consumo de carbón (Grübler, 1997). Por el contrario, las emisiones aumentaron considerablemente en Asia en el mismo período; por ejemplo un 22% aproximadamente en China (Grübler, 1997).

39. Se prevé que las emisiones de anhídrido sulfuroso se quintupliquen en el peor de los casos o, en el mejor, se reduzcan en una tercera parte de los niveles actuales. En general, la oscilación de las emisiones futuras de azufre revela una clara desulfurización de la energía en el próximo siglo, en parte por el desplazamiento de la estructura del sistema energético a fuentes distintas de los carbones ricos en azufre y en parte por la mejora general del rendimiento energético. También puede hacerse una previsión sobre las emisiones mundiales de anhídrido carbónico a partir de la serie de hipótesis documentada en la base de datos elaborada por Morita y Lee (1997). Esas hipótesis van desde un aumento superior a 10 veces las emisiones actuales, a la eliminación total de éstas, es decir, una oscilación entre más de 40 gigatoneladas para el año 2100 y la ausencia total de emisiones, con una mediana de aproximadamente 15 gigatoneladas. Se espera que las emisiones de azufre y carbono descendan en términos relativos frente a las actividades económicas y energéticas.

## **VIII. Medidas recomendadas**

40. Deben establecerse directrices adecuadas que apoyen la investigación, el desarrollo y la demostración, y que se complementen con medidas de fomento de un sistema energético de alto rendimiento y no contaminante que tenga presentes las muy diversas condiciones institucionales, sociales, económicas, técnicas y de recursos naturales de los distintos países y regiones. En esas directrices deben establecerse instrumentos de mercado, como los subsidios; los impuestos sobre la energía y las emisiones; medidas reguladoras, como las normas y códigos sobre las emisiones o la calidad del combustible, y acuerdos voluntarios con la industria.

### *Notas*

<sup>1</sup> En el decenio de 1990, la transición económica de las Repúblicas de la ex Unión Soviética y de los países de Europa oriental trajo aparejadas disminuciones considerables en el consumo de energía de esos países.

<sup>2</sup> El gas natural y la electricidad tienen el nivel de eficiencia más elevado de conversión de energía final a energía útil en comparación con la tasa de conversión de energía primaria a energía final; la biomasa registra los niveles más bajos de eficiencia de conversión a energía útil: 17% en el plano mundial y apenas 12% en los países en transición y los países en desarrollo.

<sup>3</sup> La intensidad de consumo de energía es diferente si el PIB se calcula utilizando los tipos de cambio del mercado en lugar de las paridades del poder adquisitivo. La intensidad de consumo de energía de los países en desarrollo es mucho menor cuando las actividades económicas se miden sobre la base de las paridades del poder adquisitivo: ese cálculo aumenta el valor de las actividades económicas a causa de los precios comparativamente más bajos que tienen estos países, lo cual reduce la magnitud de la intensidad del consumo de energía que se mide.

<sup>4</sup> En términos absolutos, se prevé que las necesidades de energía primaria se situarán entre las 7 eGtp en el año 2050 (una disminución comparada con las 9 eGtp correspondientes a 1990) y las casi 80 eGtp en el año 2100. En la mayor parte de las proyecciones se prevén niveles de consumo situados entre las 14 y las 32 eGtp, es decir, entre 1,5 y 3,5 veces los niveles de consumo de 1990.

<sup>5</sup> Los ciclos de producción de energía a partir de combustibles fósiles son la principal causa de la contaminación atmosférica en general. Cabe atribuir los efectos en la salud y el medio ambiente de la producción de energía a causas de dos categorías (Consejo Mundial de la Energía, 1995a; Instituto Internacional de Análisis Aplicados de Sistemas y Consejo Mundial de la Energía, 1995). La primera categoría podría denominarse "contaminación derivada de la pobreza"; incluye diversos tipos de riesgos para la salud, como los altos niveles de contaminación en espacios cerrados, la deforestación y la alta concentración de materia particulada en el medio ambiente de las zonas urbanas. La segunda categoría podría llamarse "contaminación moderna"; proviene del tráfico motorizado intenso y de la generación de electricidad utilizando carbón de baja calidad, que ocasionan altas concentraciones de aire contaminado en las zonas urbanas.

<sup>6</sup> En primer lugar, es fundamental aumentar la eficiencia de conversión de los dispositivos del consumidor final, lo cual permitiría conservar las limitadas reservas de fuentes de energía tradicionales como la leña y al mismo tiempo reduciría la contaminación atmosférica. En segundo lugar, pero asignando a esa tarea la misma importancia, habría que efectuar cambios estructurales para sustituir las modalidades habituales de consumo final de la energía y las formas de energía que se utilizan tradicionalmente y adoptar tecnologías de conversión modernas que sean más eficientes y formas de energía menos contaminantes. En tercer lugar, a largo plazo, debe efectuarse una transición de modo que la energía se obtenga de combustibles menos contaminantes y

que no dependan de redes de distribución.

<sup>7</sup> Se calcula que las reservas mundiales descubiertas de energía de combustibles fósiles contienen más de 1.000 eGtp de equivalente de petróleo. En teoría, esa cantidad duraría más de 130 años a los niveles actuales de consumo mundial de energía (9 eGtp en 1990) y equivale a cinco veces el consumo mundial de energía derivada de combustibles fósiles desde 1860 (Nakićenović et al., 1996). El carbón representa más de la mitad del total de las reservas de energía de combustibles fósiles. Las estimaciones actuales de esos recursos y de otras acumulaciones localizadas son mucho mayores pero también más inciertas que las de las reservas. La base de recursos mundial es de casi 4.000 eGtp, sumada a acumulaciones localizadas de más de 20.000 eGtp, sobre todo en forma de hidratos de gas. Así pues, el total mundial de energía derivada de los combustibles fósiles es abundante; además, las reservas conocidas probablemente durarán más de 100 años y, en vista de los adelantos tecnológicos y científicos en el ámbito de la obtención de energía de esos combustibles fósiles, muchos siglos más.

<sup>8</sup> En el informe completo se examinan ejemplos de los rendimientos, gastos totales y emisiones de anhídrido carbónico de varios aparatos de uso final representativos y sus ciclos de combustible fósil subsidiarios. Se cita como ejemplo la calefacción ambiental y de agua, la cogeneración, la propulsión eléctrica y la refrigeración, el alumbrado, los automóviles, las aeronaves de pasajeros y los ferrocarriles.

## Bibliografía

- Adelman, M. A. y M. C. Lynch (1997). "Fixed view of resources limits creates undue pessimism", *Oil and Gas Journal* (7 de abril), págs. 56 a 60.
- Bajura, R. A. y H. A. Webb (1991), "The marriage of gas turbines and coal". *Mechanical Engineering Journal* (septiembre), págs. 58 y sig.
- British Petroleum (1997). *BP Statistical Review of World Energy 1997*. Londres.
- Consejo Mundial de la Energía (1995a). "Local and regional energy related environmental issues". Londres.
- \_\_\_\_\_, (1995b). "Energy efficiency improvement utilizing high technology: an assessment of energy use in industry and buildings". Londres
- Gilli, P.-V., N. Nakićenović y R. Kurz (1995). "First and second law efficiencies of the global and regional energy systems", *Proceedings of the World Energy Council Sixteenth Congress*, Tokio (8 a 13 de octubre), págs. 229 a 248.
- Grübler, A. (1997). "Sulfur emissions in IPCC scenarios". Monografía presentada en un seminario sobre los efectos y la evaluación global del cambio climático celebrada en Snowmass (Estados Unidos de América) (4 a 15 de agosto).
- Hall, D. O. (1991), "Biomass energy". *Energy Policy*, vol. 19, No. 8, págs. 711 a 737.
- Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas y Consejo Mundial de la Energía (1995). "Global energy perspectives to 2050 and beyond". Londres.
- MacGregor, P. R., C. E. Maslak y H. G. Stoll (1991). *The Market Outlook for Integrated Gasification Combined Cycle Technology*. Schenectady (Estados Unidos de América): General Electric Company.
- Makarova, N., N. Nakićenović y A. Johnson (1997). *Review of Global Emissions Scenarios*. (De próxima aparición).
- Morita, T. y H.-C. Lee (1997). "Development of an emissions scenario database for simulations conducted since 1994 and a preliminary analysis using the database". Monografía presentada al seminario sobre los efectos y la evaluación global del cambio climático celebrada en Snowmass (Estados Unidos de América) (4 a 15 de agosto).
- Nakićenović, N., compilador (1993). "Long term strategies for mitigating global warming". *The International Journal*, número especial sobre energía, vol. 18, No. 5.
- \_\_\_\_\_, A. Grübler, H. Ishitani, T. Johansson, G. Marland, J. R. Moreira y H.-H. Rogner (1996). "Energy primer", en R. Watson, M. C. Zinyowera y R. H. Moss, compiladores, *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change, Scientific-Technical Analysis*. Cambridge University Press.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (1991). Monografías sobre cuestiones principales. Simposio de expertos supervisores en electricidad y el medio ambiente, Helsinki (13 a 17 de mayo).
- Rogner, H.-H. (1997). "An assessment of world hydrocarbon resources". *Annual Review of Energy and the Environment*, No. 22, págs. 217 a 262.
- Watson R., y otros (1996a). *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_, (1996b). *Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Documento técnico No. 1, Ginebra.