

ENERGIA, MEDIO AMBIENTE Y EL CLIMA PLANETARIO

Umberto Colombo y Ugo Farinelli

1. INTRODUCCION

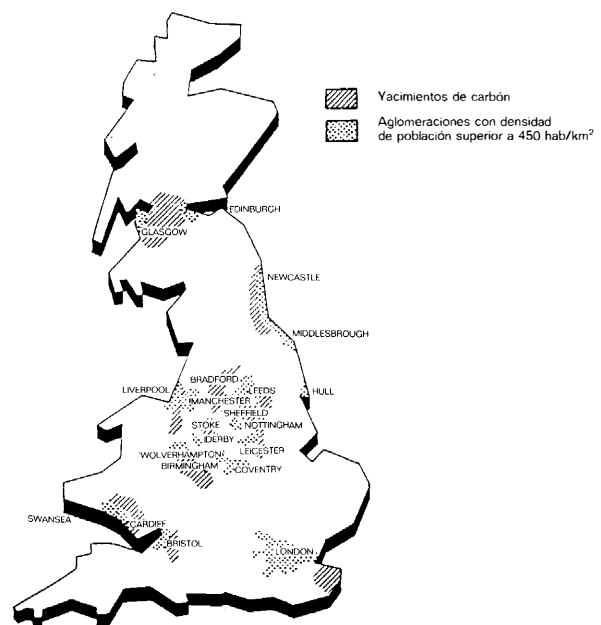
A lo largo de la historia de la especie humana, la energía ha sido un factor importante de desarrollo; la disponibilidad y la explotación de nuevas fuentes energéticas han acompañado y hecho posible los principales cambios económicos y sociales. En la edad Paleolítica, la utilización del fuego hizo posible la cocción y conservación de los alimentos, y la protección contra el frío del invierno: esto dio lugar a una vida menos preocupada por el día a día y, por tanto, a una organización social más compleja y estable; llevó también a una ampliación del hábitat humano.

Hace diez mil años, la utilización de la energía animal fue un factor importante para el advenimiento de la agricultura. En el Renacimiento, el empleo de la energía eólica para la navegación y para los molinos de viento contribuyó a un nuevo desarrollo de la agricultura y amplió los horizontes para los intercambios comerciales y culturales.

La revolución industrial de comienzos del siglo XIX fue posible gracias al uso de la energía hidráulica y, en mayor medida, del carbón como fuente energética. Esto hizo que se desarrollasen más los países con grandes reservas de carbón (como Gran Bretaña y Alemania) y, dentro de éstos, el surgimiento de nuevas y grandes ciudades en las proximidades de los depósitos de carbón (gráfico 1).

El renacimiento de la economía tras la Segunda Guerra Mundial y el gran desarrollo de los países

GRÁFICO 1
YACIMIENTOS DE CARBÓN Y AGLOMERACIONES
URBANAS EN EL REINO UNIDO

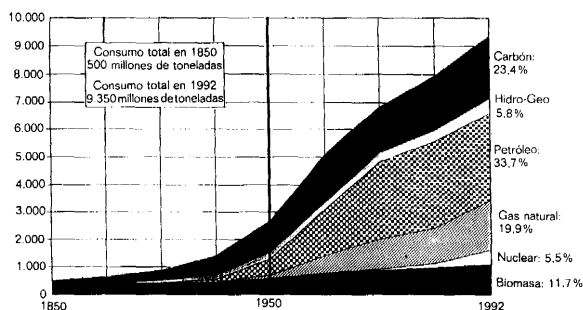


Fuente: U. COLOMBO, C. BERNARDINI: «A Low Energy Growth 2030 Scenario and the Perspectives for Western Europe», Julio 1979.

industrializados fueron posibles, y al mismo tiempo estuvieron profundamente condicionados, por la disponibilidad de petróleo: una fuente energética abundante, flexible y —casi siempre— barata.

En el pasado, en cada época predominó una forma de energía, sobre las demás (gráfico 2). Cuando surgía una forma nueva, más conveniente, de energía, iba ocupando gradualmente el lugar de la anterior. ¿Será esto lo que suceda en el futuro? Aunque el gas natural, la energía nuclear y las energías renovables han sido señaladas en distintas ocasiones por sus partidarios como la inevitable fuente energética hegemónica del futuro, somos de la opinión de que nos aproximamos hacia una era de opciones más abiertas, donde coexistirán diversas fuentes, que se usarán en una proporción mayor o menor de acuerdo con las necesidades y oportunidades locales, con las condiciones cambiantes a lo largo del tiempo y con diferentes aplicaciones; la clave para un futuro de este tipo es una mayor flexibilidad.

GRÁFICO 2
CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA PROCEDENTE DE LAS FUENTES PRIMARIAS DE 1850 A 1992 (MILLONES DE TONELADAS)



Nota: Los datos de 1992 son estimaciones.

Se requiere una energía barata y abundante para mantener y mejorar más el alto nivel de vida de los países industrializados, aun cuando vislumbremos un modo de vida más eficaz y menos afecto al derroche. Para que los países del Tercer Mundo puedan superar su pobreza actual y para conseguir la transición hacia sociedades industriales y post-industriales serán esenciales cantidades mucho mayores de energía.

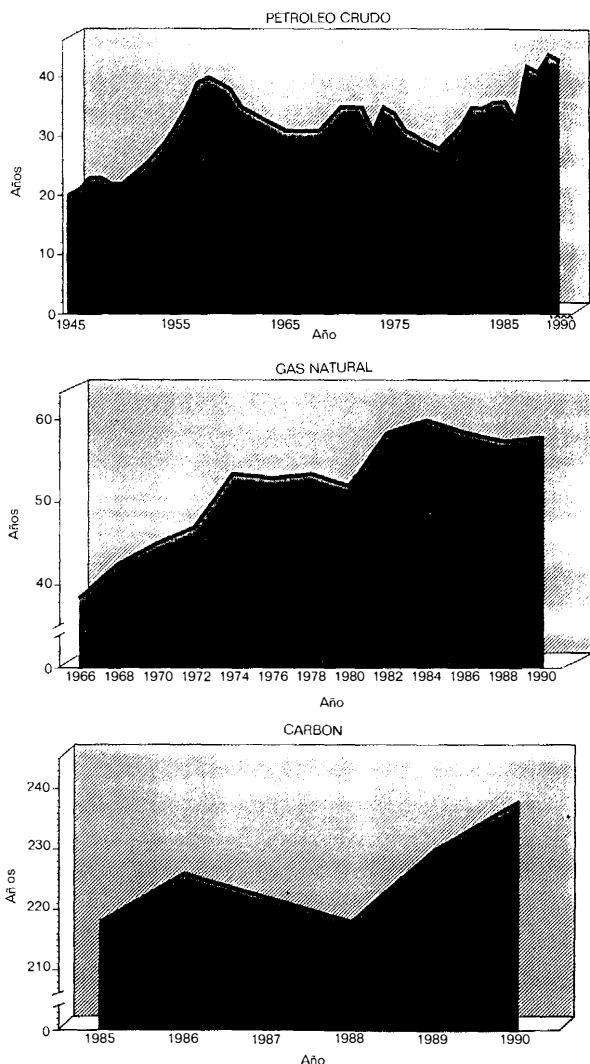
2. LA DISPONIBILIDAD DE ENERGIA

Los combustibles fósiles representan la gran mayoría del consumo energético en todo el mundo. Cuando se publicó en 1972 el famoso informe del MIT para el Club de Roma, titulado *Los límites del crecimiento*, se señaló la naturaleza finita de los combustibles fósiles y de los recursos

minerales (así como la limitada capacidad sustentadora del medio ambiente). Cuando apenas un año después la primera crisis del petróleo conmovió al mundo, todos pensaron que las sombrías predicciones de ese informe estaban empezando a hacerse realidad.

Sabemos ahora que la crisis del petróleo no se debió al agotamiento físico de las reservas. Aunque los combustibles fósiles no son renovables, son recursos finitos, la amenaza de su agotamiento físico todavía no se ha materializado y sus reservas conocidas son superiores a las de cualquier época anterior. Esto puede observarse mejor examinando la *ratio* entre reservas garantizadas y producción de petróleo, gas y carbón (gráfico 3). A

GRÁFICO 3
RATIO RESERVAS/PRODUCCION DE PETROLEO CRUDO, GAS NATURAL Y CARBON



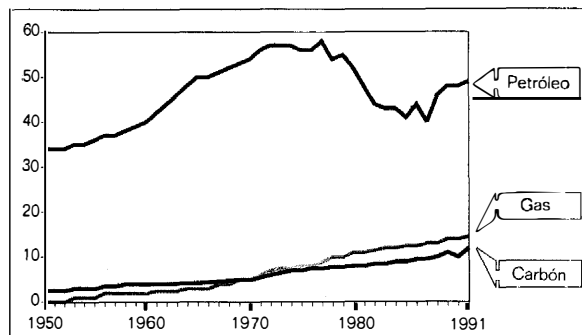
medida que aumentan las necesidades se encuentran nuevas reservas, gracias también a nuevos y mejorados métodos de exploración y de explotación. Las preocupaciones relacionadas con la garantía de la disponibilidad y estabilidad de los precios de los combustibles fósiles (en particular del petróleo), por lo menos para el corto y mediano plazo, deben preocuparnos menos en el momento actual que en el pasado. Sin embargo, nada nos asegura que en el futuro no se vaya a repetir una situación de inestabilidad. Las reservas del Próximo Oriente (que representan la mayor cuota de las reservas de petróleo) tienen costes de extracción mucho más bajos que los de otros depósitos y, por tanto, pueden determinar en gran medida el precio del petróleo en el mercado internacional. Las dos crisis del petróleo de 1973 y 1979-1980, con la consiguiente depresión económica mundial y el contragolpe de 1985, han demostrado cómo la rigidez que afecta tanto a la oferta como a la demanda puede provocar la inestabilidad en el mercado.

Aunque hasta hace poco el petróleo era el único producto energético que se intercambiaba profusamente en el mercado internacional, en los últimos años el carbón y el gas natural han pasado a representar un porcentaje mayor en las exportaciones (gráfico 4); esta tendencia podría aliviar la necesidad de confiar sólo en una forma específica de energía, pero el cambio de una fuente a otra no se produce siempre de forma inmediata y a veces resulta problemático (como en el caso del transporte, que actualmente depende casi en su totalidad del petróleo y de sus derivados).

En los últimos tiempos, incluso la cuota de electricidad que se intercambia internacionalmente ha dejado de ser insignificante.

GRÁFICO 4

PORCENTAJES DEL CONSUMO DE PETRÓLEO, CARBÓN Y GAS NATURAL EN EL COMERCIO INTERNACIONAL



3. LIMITES MEDIOAMBIENTALES PARA LA UTILIZACION DE LA ENERGIA

En la actualidad, el límite más importante para el uso de la energía lo imponen las preocupaciones sobre el medio ambiente y el clima. Muchos efectos negativos sobre el medio ambiente provienen, de forma directa o indirecta, del ciclo energético. En los últimos tiempos, los efectos locales (reconocidos en todo momento) van acompañados por una preocupación creciente por los efectos regionales y mundiales.

La lluvia ácida, proveniente de la liberación de óxidos de sulfuro y de nitrógeno en la combustión de los combustibles fósiles (especialmente, aunque no en exclusividad, el carbón), cae a muchos cientos de kilómetros de distancia de la fuente de contaminación y tiene efectos adversos sobre la agricultura, sobre los bosques, sobre los lagos y sobre la conservación de los productos y de las obras de arte. Aunque las emisiones ácidas ya han sido drásticamente reducidas en los países industrializados, están aumentando en los países en vías de desarrollo, especialmente aquellos que (como China) tienen grandes recursos nacionales de carbón. Reducir las emisiones es posible (aunque con unos costes nada despreciables) para las grandes instalaciones, tales como las plantas energéticas; es mucho más difícil para los usuarios de menores proporciones, por ejemplo, para los usos domésticos en calefacción o cocinas.

Otros problemas medioambientales relacionados con la energía surgen de los derrames de petróleo provocados por los buques cisterna, que a menudo son causa de desastres ecológicos de envergadura; de los accidentes nucleares, que en el caso de Chernobyl han diseminado productos radiactivos sobre medio continente; y de la contribución a la deforestación y desertización debida a la utilización no sostenible de la madera como combustible.

4. LA ENERGIA Y LOS CAMBIOS EN EL CLIMA MUNDIAL

El caso más llamativo de los efectos adversos del ciclo energético es el de los posibles cambios climáticos asociados con el efecto invernadero producido por el hombre. El principio del efecto invernadero es bien conocido desde que fue explicado por el científico sueco Svante Arrhenius, a fines del pasado siglo. La Tierra absorbe la radiación del Sol, sobre todo en la superficie. Esta energía es redistribuida a continuación por la at-

mósfera y el océano y se reirradia al espacio en longitudes de onda más largas (térmicas o infrarrojas). Algunas de las radiaciones térmicas son absorbidas por gases radiactivamente activos («de invernadero») en la atmósfera, principalmente el vapor de agua y el dióxido de carbono, pero también el metano, los clorofluorocarbonos, el ozono y el óxido de nitrógeno. La energía absorbida es reirradiada en todas las direcciones, tanto hacia abajo como hacia arriba, de modo que la radiación que llega a perderse hacia el espacio proviene de niveles más altos y más fríos de la atmósfera. Como resultado de ello la superficie pierde menos calor hacia el espacio que si no estuviesen presentes los gases de invernadero y en consecuencia conserva más calor. Este fenómeno, que actúa algo así como una «manta» en torno a la Tierra, es lo que se conoce como efecto invernadero.

El efecto invernadero se produce naturalmente, especialmente por lo que respecta al CO₂ y al vapor de agua. Es el principal responsable de la alta temperatura media de Venus (+480 °C), y su ausencia provoca las bajas temperaturas de Marte (-54 °C con ascensos a 50 °C). El efecto invernadero debido a causas naturales sobre la Tierra es la causa de nuestro clima actual, al cual se han adaptado las formas de vida que hoy conocemos a lo largo de un proceso de selección natural. Sin este efecto natural de invernadero, el clima de la Tierra sería mucho más frío, con una temperatura media aproximada de -18 °C.

Se han suscitado preocupaciones sobre el posible aumento del efecto invernadero producido por el hombre, con repercusiones sobre la temperatura y el clima.

Muchos gases de invernadero producidos por el hombre contribuyen a crear este efecto (gráfico 5) de diferentes formas: difieren tanto en su capacidad para absorber la radiación infrarroja del efecto como en su tiempo de permanencia en la atmósfera. El dióxido de carbono es, con mucho, el Gas de Efecto Invernadero (GEI) más importante de los producidos por el hombre (gráfico 6).

¿En qué estado se encuentra el conocimiento científico? Las emisiones producidas por el hombre pueden evaluarse con cierto grado de confianza, especialmente por lo que respecta al CO₂, que proviene de diversas fuentes, pero en su mayoría de los combustibles fósiles. Existen algunas dudas sobre las contribuciones debidas a las modificaciones en el uso de la tierra, especialmente la deforestación. Las observaciones por satélite han reducido el grado de incertidumbre. Se obtiene una aproximación bastante buena para los CFC (cuyas emisiones son controladas con precisión para la

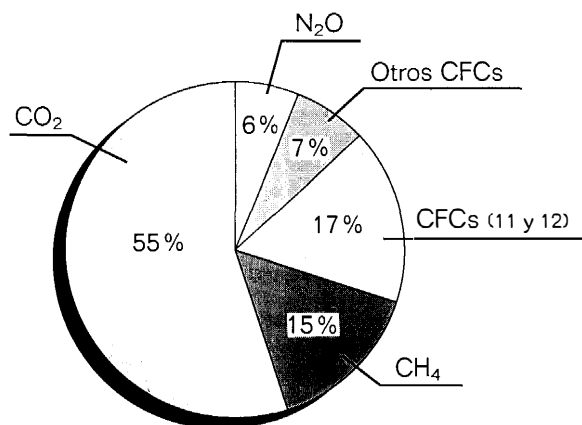
GRÁFICO 5
FACTORES BASICOS SOBRE LOS GASES DE INVERNADERO

	Contribución relativa al efecto invernadero a lo largo de un período de 100 años	¿Larga vida?	¿Fuentes conocidas?
Dióxido de carbono	61,0 %	Sí	Sí
Metano *	15,0 %	No	Semicuantitativamente
Oxido nitroso	4,0 %	Sí	Cualitativamente
CFCs	11,0 %	Sí	Sí
HCFC/22	0,5 %	En su mayoría no	Sí
Otros* (Ozono)	8,5 %	No	Cualitativamente

* Estos valores abarcan el efecto indirecto de estas emisiones sobre los gases de invernadero a través de reacciones químicas en la atmósfera. Esas estimaciones dependen muchísimo del modelo y deben considerarse como estimaciones preliminares y susceptibles de cambio.

Fuente: IPCC.

GRÁFICO 6
CONTRIBUCION DE CADA UNO DE LOS GASES DE INVERNADERO AL CALENTAMIENTO DEL PLANETA EN LA DECADA DE 1980



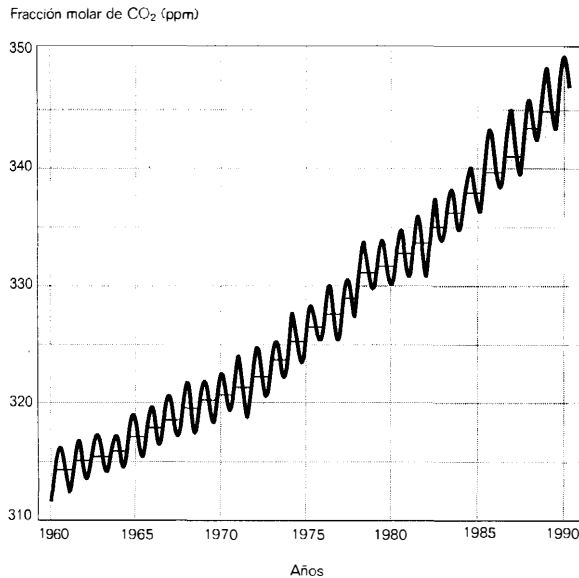
Fuente: Oficina de Evaluación de la Tecnología, 1991.

protección de la capa de ozono de la estratosfera), si bien persisten algunas dudas sobre las emisiones de metano y óxido de nitrógeno.

Las concentraciones en la atmósfera pueden medirse con bastante exactitud. Por ejemplo, esto es lo que sucede con el CO₂ (gráfico 7). Existe, sin embargo, una discrepancia entre la cantidad de dióxido de carbono que se emite (del orden de 6.000 millones de toneladas de carbono por año) y el aumento del contenido de carbono en la atmósfera (en torno a los 3.000 millones de tonela-

das por año) según se evalúa mediante la medición del aumento de la concentración de CO₂. Sólo parte de esta diferencia es supuestamente absorbida por los océanos, aunque hay divergencias en las teorías sobre el resto.

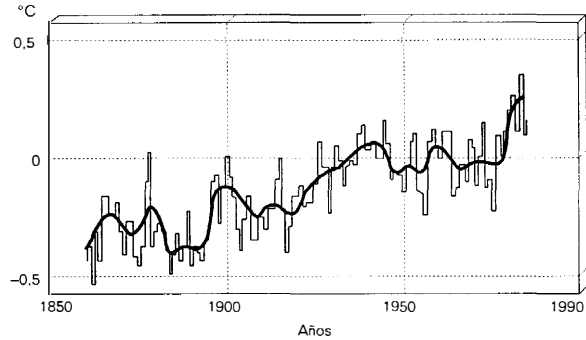
GRÁFICO 7
CONCENTRACION DE DIOXIDO DE CARBONO
EN LA ATMOSFERA



La evaluación de cuánto varía la temperatura media de la Tierra como resultado de estos cambios en la concentración de los gases de invernadero es otra cuestión difícil. Las mediciones por satélite (que permiten una evaluación fiable, especialmente sobre los océanos) son relativamente recientes y no permiten una correlación lo suficientemente extensa. Las observaciones terrestres se remontan al menos a un siglo atrás, pero su consistencia tanto sobre el espacio como sobre el tiempo suele ser dudosa. Las evaluaciones más fiables (gráfico 8) demuestran un aumento de 0,4 a 0,6° en cien años, lo cual está de acuerdo con las predicciones teóricas con respecto al efecto de invernadero antropogénico, pero que también es del mismo orden de magnitud que la variabilidad del clima natural. Además, existe una nivelación no explicada durante las décadas de 1960 y 1970, épocas en que las emisiones fueron importantes.

Las temperaturas superficiales medias del planeta, anormalmente altas, de fines de 1980 se han mantenido a lo largo de 1990 y 1991, que son los años más cálidos de que se tenga registro. El calentamiento medio en los continentes de latitud

GRÁFICO 8
VARIACIONES EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS
ANUALES EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA
DESDE 1861



media del hemisferio norte se ha caracterizado por un aumento más en las mínimas (nocturnas) que en las máximas (diurnas). Sin embargo, el clima varía naturalmente en todas las escalas de tiempo debido tanto a factores internos como externos. Para distinguir entre las variaciones climáticas producidas por el hombre y las que se deben a cambios naturales es necesario identificar la «señal» del hombre frente al «ruido» de fondo de la variabilidad climática natural, lo cual no es simple y no se ha conseguido hasta el momento sin que quede una duda razonable.

Es necesario entender mejor muchos fenómenos, por ejemplo, el efecto de las nubes, que en algún aspecto contribuyen al calentamiento y en otros al refrescamiento, y las reacciones biológicas, que no se han tomado en cuenta hasta el momento en la simulación de los cambios climáticos.

Otros problemas que no están resueltos son los cambios en la radiación del sol, el efecto de las partículas y aerosoles tanto de fenómenos naturales (en especial las erupciones volcánicas) como provenientes de actividades humanas (tales como el SO₂ proveniente de la combustión de los combustibles fósiles); las interacciones entre los diferentes gases de invernadero (CFC's, en sí mismo gases de invernadero, que destruyen el ozono, especialmente en la estratosfera, pero en cierta medida también en la troposfera superior, y el ozono es un potente gas de invernadero).

Los efectos recíprocos, tanto positivos como negativos, son muy numerosos; y muchos de ellos tal vez no sean lineales, con lo cual la evaluación del aumento de la temperatura que puede esperarse resulta realmente muy problemática. Las conclusiones del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) son, por tanto, muy cautas, pero de todos modos señalan hacia un calenta-

miento del planeta: «Es improbable que la sensibilidad de la temperatura superficial media del planeta a una duplicación del CO₂ quede fuera de la gama de 1,5 °C a 4,5 °C» (IPCC, 1992).

La consideración de los efectos recíprocos nos introduce en el problema más difícil: la relación entre *temperatura y clima*. La temperatura media no es un indicio muy significativo de lo que podemos esperar del clima en el futuro. Es preciso considerar las *distribuciones* de la temperatura, tanto en el espacio como en el tiempo, las variaciones en las precipitaciones, y todos los efectos derivados de un nuevo clima. La predicción de todo esto es una tarea enormemente compleja.

El instrumento más desarrollado para representar el clima y los cambios climáticos se conoce como *modelo general de circulación o MGC*. Estos modelos se basan en las leyes de la física y se valen de descripciones en términos físicos simplificados o en los procesos de menor escala, tales como los que se deben a las nubes y a las mezclas profundas en el océano. Los MGC «acoplados» vinculan el componente atmosférico con un componente oceánico de complejidad comparable.

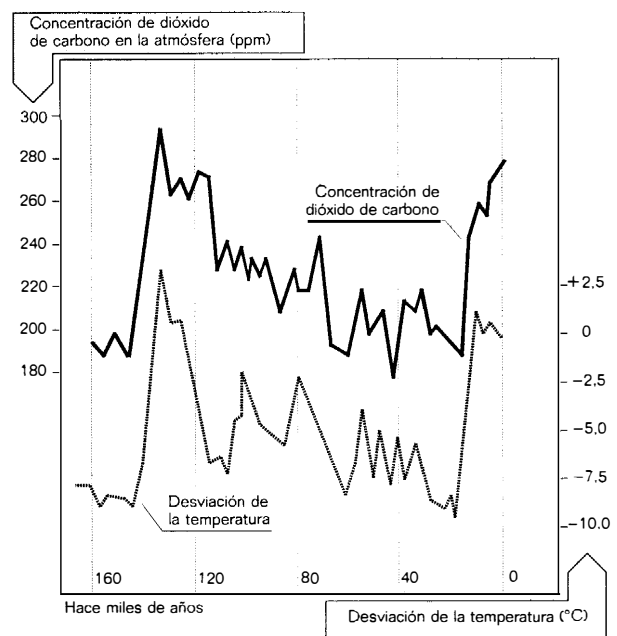
El clima global es la consecuencia de una compleja interacción del calentamiento solar, los intercambios de calor entre los océanos y la atmósfera, los vientos, las corrientes. Podría tener una gama muy limitada de estabilidad; hay indicios de que en el pasado los cambios muy pronunciados en las configuraciones climáticas guardaron relación con variaciones bastante modestas de la temperatura media.

Los modelos que tratan de predecir las distribuciones de las temperaturas como un efecto del calentamiento de invernadero incrementado arrojan resultados que tienen ciertos rasgos en común: las regiones cálidas se vuelven más cálidas, las precipitaciones aumentan especialmente en las regiones que ya de por sí son húmedas (en latitudes altas, en las regiones monzónicas de Asia y en el invierno en las latitudes medias); las regiones secas se volverán aún más secas; habrá fluctuaciones mayores durante el período transitorio de cambio climático; es previsible que las temperaturas del aire superficial aumenten más sobre la tierra que sobre los océanos; sobre algunas áreas continentales de latitud media, los valores de humedad del suelo, por lo general, disminuirán en el verano... Sin embargo, los resultados de un modelo y los del otro difieren de manera muy marcada en cuanto a los detalles de la descripción y a muchos otros rasgos. De modo que hay grandes incertidumbres en la predicción de los efectos reales del calentamiento de invernadero de las diversas regiones.

Entre los efectos difíciles de predecir se encuentra la *elevación del nivel del mar*. El efecto de la expansión térmica del agua de mar es relativamente fácil de predecir (aunque no es tan sencillo como podría parecer). Mucho más difícil es la fusión de los casquetes polares de la Antártida (las modificaciones en las masas de hielo flotantes, como en el Polo Norte, no tienen un efecto neto de primer orden). La fusión de los hielos podría ser mucho más importante que la expansión térmica; por otra parte, el efecto neto del cambio climático sobre el nivel del mar podría ser mucho más pequeño de lo que en algún momento se predijo, porque se prevén precipitaciones mayores en la Antártida, y puesto que las temperaturas seguirán la mayor parte del tiempo por debajo de cero, en realidad el casquete polar podría incluso aumentar.

¿Sabemos algo con certeza? Puede que el indicio más sorprendente del vínculo que existe entre la concentración de los gases de invernadero y la variación de la temperatura provenga de la evidencia geológica (gráfico 9). El análisis de muestras de hielo tomadas de la Antártida ha permitido la investigación tanto de la concentración del CO₂ como de la temperatura media en el pasado;

GRÁFICO 9
VARIACIONES A LARGO PLAZO
EN LA TEMPERATURA MEDIA MUNDIAL
Y EN LA CONCENTRACION DE DIOXIDO
DE CARBONO EN LA ATMOSFERA



como lo demuestra el gráfico, es evidente un alto grado de correlación entre estas dos variables.

5. COMO PREVENIR LA MODIFICACION DEL CLIMA DEL PLANETA

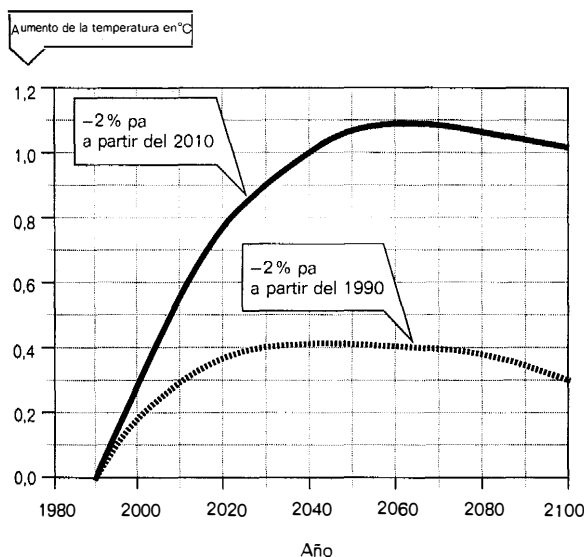
El consenso de la mayor parte de los científicos y analistas (aunque no de todos) es que, de mantenerse la tendencia actual en cuanto a las emisiones, existen probabilidades suficientes de que se produzca un cambio climático con consecuencias espectaculares como para justificar una *póliza de seguros*.

En realidad, es preciso intervenir con mucha antelación (gráfico 10) debido a la elevada inercia del sistema. Si bien la detección inequívoca del aumento del efecto invernadero a partir de las observaciones no es probable que se produzca hasta dentro de una década o más, esperar todo este tiempo significaría realmente decidirse a no intervenir y a aceptar las consecuencias. Este es un primer ejemplo de la necesidad de tomar decisiones en condiciones de alta incertidumbre, lo cual será cada vez más común en el futuro.

GRÁFICO 10

AUMENTO DE LA TEMPERATURA CALCULADA A PARTIR DE:

- a) Disminución de las emisiones de todos los gases de invernadero producidos por el hombre en un 2% pa a partir de 1990.
- b) Aumento de las emisiones de todos los gases en un 2% pa hasta el 2010, seguido por una disminución de las emisiones en un 2% pa.



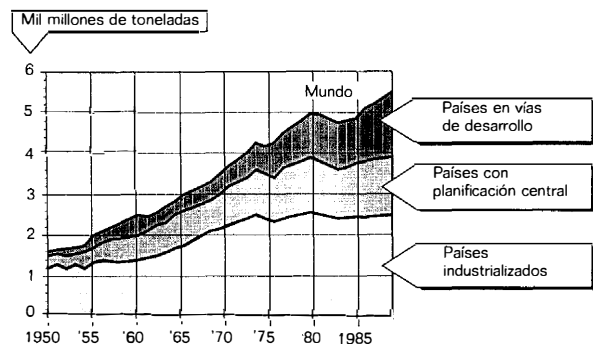
Fuente: Panel Intergubernamental para los Cambios Climáticos, 1990.

Una política de reducción de las emisiones de gases de invernadero tendría valor aun cuando, sin llegar a evitar un cambio climático, resultase eficaz para retardar el proceso: esto podría permitir cambios geográficos progresivos en la distribución de las plantas, ciertas adaptaciones, y cambios en las infraestructuras humanas.

Ha resultado sumamente difícil llegar a un acuerdo sobre una política de reducción de las emisiones de GEI entre los diferentes países: ¿Qué criterios deberían adoptarse para señalar metas para esta reducción? ¿Cómo debería distribuirse la carga de esta distribución entre los diversos países? Algunos países tienen la sensación de tener poco que perder o de que incluso podrían ganar algo con un cambio climático que les aportase temperaturas más elevadas; las regiones frías pero húmedas, como Siberia, el norte de Canadá o Finlandia, podrían llegar a convertirse en zonas más fértiles y más agradables de lo que son actualmente. Otros países, especialmente los más pobres entre los países en vías de desarrollo, tienen problemas mucho más urgentes que abordar y no consideran que cuestiones a tan largo plazo deban figurar en su agenda, especialmente si significan una limitación en sus posibilidades actuales de desarrollo económico.

No es fácil encontrar una forma equitativa de distribuir la carga de un esfuerzo de tan gran escala y a tan largo plazo. La responsabilidad en cuanto a las emisiones de GEI corresponde en su mayor parte a los países industrializados (gráfico 11). Esto se vuelve todavía más evidente si consideramos las emisiones *per capita* (gráfico 12). Lo único que los países industrializados tienen a su favor es que obtienen *más* del CO₂ que emiten, en otras palabras, que su Producto Interior Bruto tie-

GRÁFICO 11
EMISIONES DE CARBONO PRODUCIDAS POR LOS COMBUSTIBLES FOSILES DESDE 1950 HASTA 1988



Fuente: Oak Ridge National Laboratory; Wordwatch.

GRÁFICO 12
EMISIONES DE CO₂ PER CAPITA PROVENIENTES DE COMBUSTIBLES FOSILES

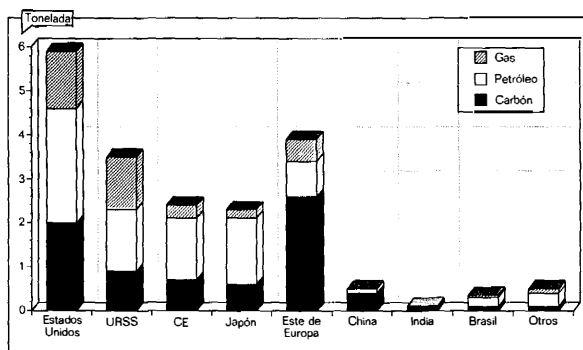
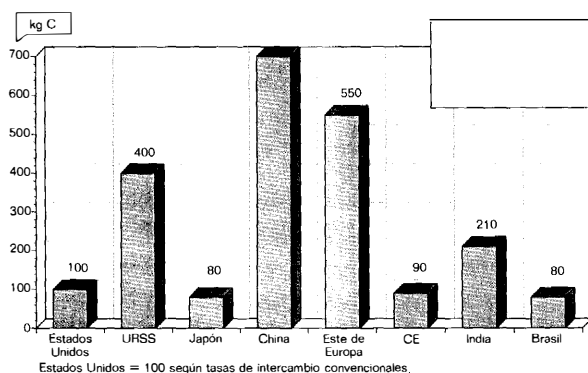


GRÁFICO 13
EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE COMBUSTIBLES FOSILES POR UNIDAD DE PNB



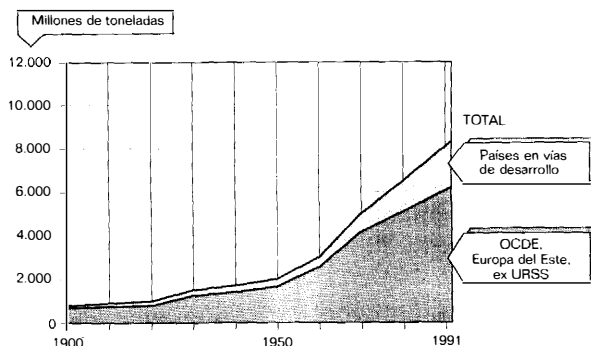
ne una menor participación de GEI (gráfico 13).

La forma de definir y de aplicar una política para la reducción de las emisiones de GEI en el ámbito mundial está en el centro de las discusiones y negociaciones entre los gobiernos: es preciso crear y aplicar nuevas normas para las relaciones internacionales.

6. COMO FRENAR LAS EMISIONES DE GASES DE INVERNADERO

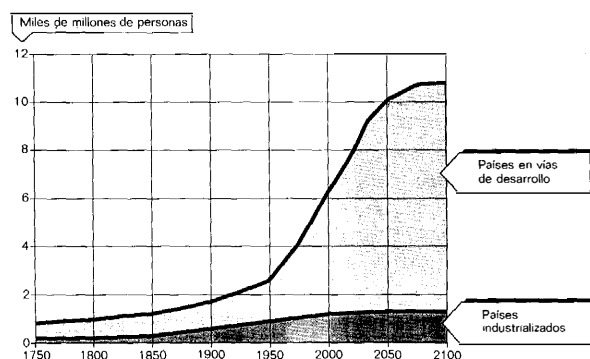
La tarea de nivelar o de reducir las emisiones de GEI no es nada fácil. Si examinamos los datos históricos sobre consumo energético (gráfico 14), salta a la vista el enorme aumento de los últimos años. Aunque la mayor parte del consumo se sigue produciendo en los países industrializados (y en las antiguas economías centralmente planificadas), el consumo de energía de los países en vías de desarrollo está aumentando rápidamente y un examen de las tendencias demográficas (gráfi-

GRÁFICO 14
CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA: DATOS HISTORICOS



Fuente: Conferencia Mundial sobre la Energía.

GRÁFICO 15
TENDENCIAS EN EL AUMENTO DE LA POBLACION MUNDIAL. DATOS HISTORICOS Y PROYECCIONES HASTA EL AÑO 2100



Fuente: «Energía en los países en vías de desarrollo», Oficina de Evaluación de la Tecnología.

co 15) y de la necesidad de aumentar el nivel de vida en estos países revela que gran parte de las necesidades energéticas futuras provendrá de los actuales países del Tercer Mundo.

Existen posibilidades técnicas de reducir la emisión de contaminantes y de gases de invernadero. Las opciones más interesantes son aumentar la eficacia de la energía y la utilización de fuentes energéticas no fósiles (tales como las energías renovables y la nuclear). Un primer paso hacia la diversificación de las fuentes de energía fue el impulsado por las crisis del petróleo en 1973 y en 1981 como medio de reducir la dependencia de las importaciones de este combustible (gráfico 16). La situación de ese momento hubiese aconsejado utilizar más carbón, lo cual, desde el punto de vista de las emisiones de dióxido de carbono, hubiera

GRÁFICO 16
CAMBIOS EN LA PROPORCIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA EN LAS NECESIDADES TOTALES DE ENERGÍA ENTRE 1973 Y 1991 (PORCENTAJES)

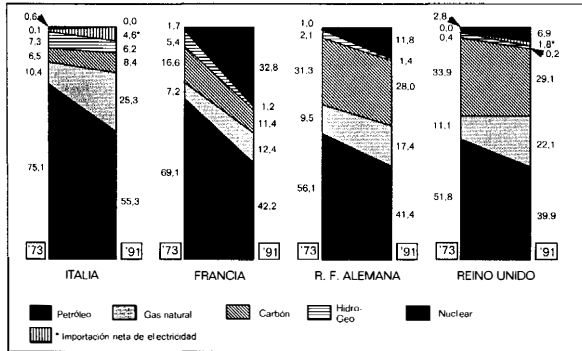
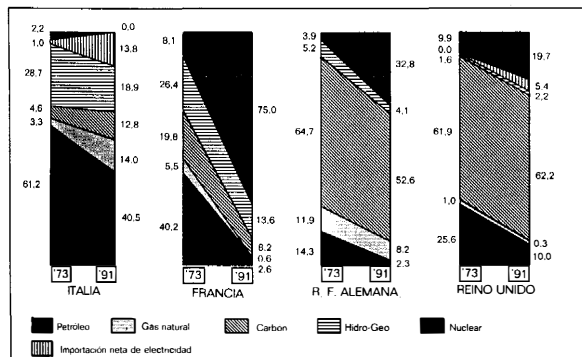


GRÁFICO 17
CAMBIOS EN LA PROPORCIÓN DE LAS FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD ENTRE 1973 Y 1991 (PORCENTAJES)



sidio contraproducente. Sin embargo, otros problemas medioambientales relacionados con el carbón y las dificultades de infraestructura desalentaron una reinstauración del carbón y los cambios tuvieron que ver sobre todo con un aumento de la utilización del gas natural y una expansión de la energía nuclear, lo cual redundó en una reducción de las emisiones de CO₂. Esta tendencia es particularmente clara si examinamos la reducción de electricidad (gráfico 17) en lugar del consumo total de energía. El intento de extender aún más la utilización de la energía nuclear está tropezando con numerosos problemas, mientras que la utilización del gas sigue en expansión.

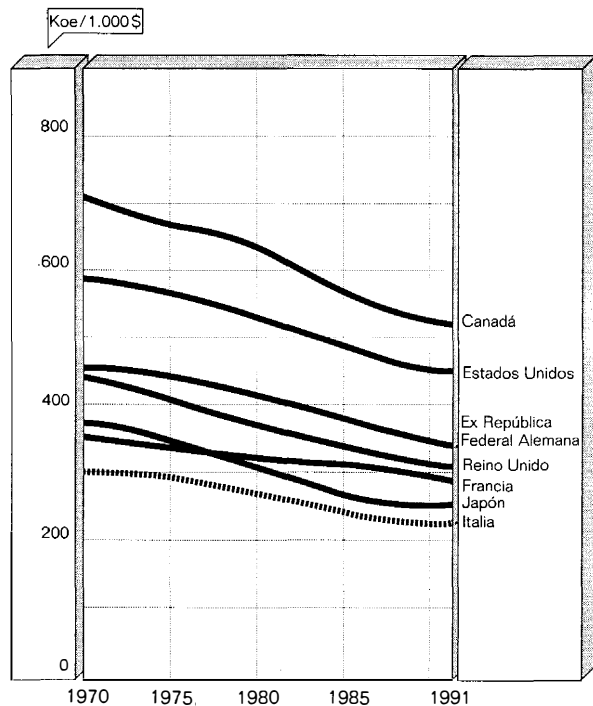
La posibilidad de reducir la demanda de energía aumentando la eficiencia de su uso es una opción obvia si se considera que no estamos interesados en la energía como tal, sino en los servicios

que puede proporcionar. Si podemos obtener el mismo resultado gastando menos energía, esto beneficiará al medio ambiente, al clima, a la sostenibilidad y a la economía. Sin embargo, en el pasado las políticas energéticas se concentraron en el aspecto de la oferta más que en el de la demanda, y un enfoque más equilibrado requiere un cambio cultural que no es fácil producir.

La energía puede utilizarse de manera más eficiente en casi todos los campos de aplicación; en muchos casos, mejorar la eficiencia también puede ser conveniente desde el punto de vista económico, especialmente si en los precios de la energía se toman en cuenta los costes indirectos de la contaminación.

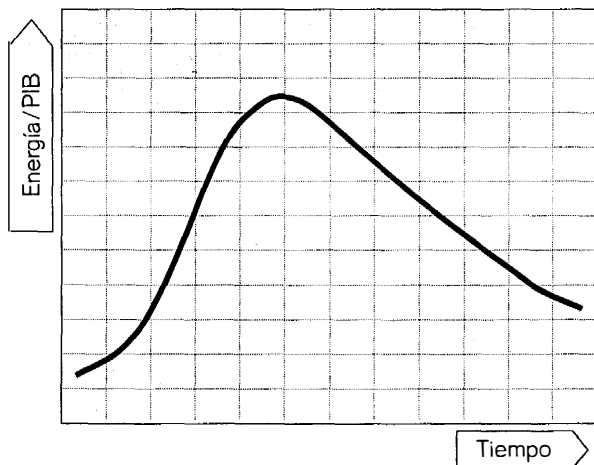
Reducir la intensidad de la energía es una experiencia común en los países avanzados (gráfico 18). En términos más generales, la evolución de las economías en los países que están pasando el proceso de industrialización y aún más allá en los países post-industriales presenta una forma característica para la participación de la energía en el PNB (Producto Nacional Bruto) (gráfico 19), elevándose en una primera etapa (cuando es preciso construir infraestructuras y producir bienes

GRÁFICO 18
PARTICIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL PIB (Equivalente a kilogramo de petróleo (Koe)/1.000 US\$ del PIB a precios de 1985 y PPP)



Fuente: BP Statistical Review of World Energy (junio 1992).

GRÁFICO 19
EVOLUCION DE LA PARTICIPACION DE LA ENERGIA EN EL PIB A LO LARGO DEL DESARROLLO ECONOMICO DE UN PAIS



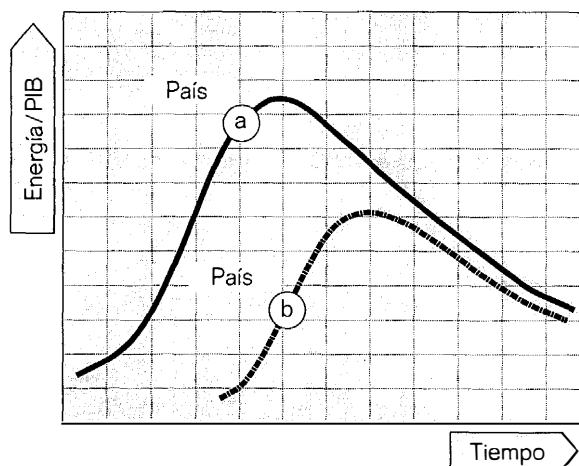
Fuente: Elaboración de ENEA.

perdurables por primera vez a la población), llegando al máximo y a continuación descendiendo, a medida que la demanda se desplaza hacia menos energía y productos intensivos en material, hacia la calidad más bien que hacia la cantidad, hacia los servicios y el *software* en lugar de hacia el *hardware*. El valor del punto máximo de esta curva desciende para los países que lo alcanzan en un momento más tardío (gráfico 20), porque ya tienen a su disposición técnicas más avanzadas y eficientes. Si bien las curvas históricas para las actuales sociedades industrializadas del mundo occidental se conforman a estas normas (gráfico 21), son excepciones notables las antiguas economías de planificación central, donde la ausencia de mecanismos de mercado dio como resultado niveles elevados de residuos y tecnologías de escasa eficiencia; y la mayoría de los países en vías de desarrollo, que por diversas razones carecen de tecnologías modernas. Cualquier estrategia global destinada a reducir los problemas del medio ambiente y del clima a nivel mundial debe abordar estos problemas con prioridad, mediante transferencia, adaptación, difusión y desarrollo conjunto de tecnologías avanzadas en los antiguos países de economía centralizada y en los países en vías de desarrollo.

Las mismas consideraciones que para la energía pueden hacerse por lo que respecta al uso de las materias primas y a la producción de residuos. Su participación por unidad en el PNB está decre-

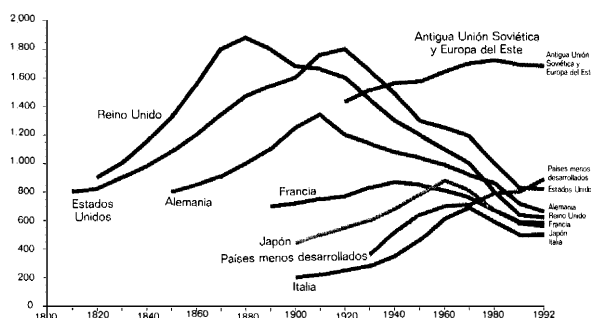
GRÁFICO 20
COMPARACION DE LA EVOLUCION DE LA PARTICIPACION DE LA ENERGIA EN EL PIB EN DOS PAISES:

PAIS (a): SE INDUSTRIALIZA ANTES
PAIS (b): SE INDUSTRIALIZA MAS TARDE, CUANDO EXISTEN YA TECNOLOGIAS MAS EFICIENTES



Fuente: Elaboración de ENEA.

GRÁFICO 21
PARTICIPACION DE LA ENERGIA (RATIO E/PNB) EN ALGUNOS PAISES Y GRUPOS DE PAISES. TENDENCIAS HISTORICAS (Equivalente a kilogramo de petróleo por 1.000 US\$ de 1975)



ciendo en los países industrializados y en algunos casos también ha empezado a decaer el consumo *per capita*. Ya se empieza a disponer de tecnologías para reducir los residuos, y tienen un mérito económico, aunque es poco probable que su potencial pleno pueda explotarse mediante mecanismos puros de mercado, a menos que se aplique al mercado cierta corrección para los objetivos a largo plazo y mundiales mediante normas, correcciones fiscales o incentivos. Las consideraciones sobre el ciclo vital de los materiales y productos constituyen un enfoque de gran impacto para re-

ducir tanto los desechos como el uso de materias primas finitas.

7. CONCLUSIONES

La energía seguirá desempeñando un papel importante en el mundo futuro. Su disponibilidad a un precio razonable es una de las cuestiones clave para el desarrollo de los países del Tercer Mundo.

Lo más probable es que las consideraciones medioambientales lleven al establecimiento de límites a la utilización de fuentes energéticas primarias, en particular de los combustibles fósiles, y cobra importancia la preocupación por los cambios climáticos mundiales antes de que se agoten físicamente las reservas.

Para superar estos límites, y, sin embargo, permitir el crecimiento económico y social, es necesario, en primer lugar, aumentar la eficiencia de la transformación y el uso de la energía. Existen amplios márgenes para mejorar la situación en este aspecto y a menudo son económicamente viables; para explotarlos es importante eliminar las barreras no económicas, facilitar la difusión de tecnologías más eficaces y consolidar una actitud cultural que constituya la base de una conducta

que lleve a una utilización eficiente y sostenible de los recursos. Poner al alcance de los países en vías de desarrollo y de las economías en transición las tecnologías avanzadas disponibles aumentando la capacidad y utilizando la cooperación científica y tecnológica constituye una parte importante de este esfuerzo.

Es preciso crear y difundir fuentes energéticas no contaminantes. Las energías renovables forman parte importante de cualquier escenario futuro con miras a la sostenibilidad. Estas no sólo contribuyen de una manera apreciable a la emisión de gases de invernadero y otros agentes contaminantes, sino que además no se basan en la explotación de recursos finitos; pero también son adecuadas para una forma descentralizada y distribuida de desarrollo que puede ser la clave de la sostenibilidad social. La energía nuclear también podría ser una parte importante de la oferta futura de energía por lo que respecta a la producción centralizada de electricidad siempre y cuando se encuentren soluciones satisfactorias para reducir al mínimo las posibles consecuencias de accidentes graves, para garantizar la contención a largo plazo de los desechos radiactivos y para evitar el peligro de proliferación de las armas nucleares.