La energía nucleoeléctrica y su papel en la limitación de las emisiones de dióxido de carbono

Los estudios demuestran que el uso de la energía nuclear está ayudando a los países a evitar las emisiones de CO_2 derivadas de la producción de electricidad

por J.F. van de Vate y L.L. Bennett

Casi el 80% del dióxido de carbono, uno de los gases más importantes vinculados con lo que se conoce como "efecto de invernadero", es generado por la producción y el uso de la energía. En la actualidad más del 60% de los trastornos causados por el efecto de invernadero se debe a este gas traza contenido en la atmósfera.

La necesidad de limitar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generadas por la producción de energía y otras actividades industriales ha recibido mayor atención internacional en los últimos años. Lo mismo ha sucedido con el papel que podría desempeñar la energía nucleoeléctrica en la producción de electricidad, proceso que no provoca emisiones de CO_2, y que es cada vez más utilizado en los sistemas de producción de energía del mundo. La energía nucleoeléctrica es una de las fuentes energéticas que ha contribuido de forma sustancial a la reducción de las emisiones atmosféricas de gases de efecto de invernadero y que podría hacerlo aún más en el futuro.

En junio de 1992 se celebró en Río de Janeiro, Brasil, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), denominada popularmente "La Cumbre para la Tierra" y considerada por muchos como una de las reuniones internacionales más importantes de este siglo. El Programa 21, uno de los resultados principales de los programas de acción emanados de esta reunión, contiene una estrategia en que se vinculan el medio ambiente y el desarrollo a fin de mejorar la amenazada sostenibilidad de la Tierra y sus habitantes. Como seguimiento de la Conferencia sobre el Medio Humano, celebrada en 1972 en Estocolmo, y aunque se trata de una nueva era en que las amenazas y las oportunidades son otras, en la Cumbre para la Tierra se hizo hincapié en un nuevo tema relacionado con el medio ambiente, que surge con gran fuerza, a saber, el tema del cambio climático. De los dos aspectos contenidos en este problema —el agotamiento del ozono estratosférico y el efecto de invernadero— este último es el que guarda una relación más estrecha con una necesidad fundamental de la humanidad: la energía.

Sin embargo, es de destacar la poca atención que se prestó a la energía nuclear en la mayoría de los documentos de la CNUMAD. Por ejemplo, en el Programa 21 no se incluye a la energía nuclear en su definición de sistemas energéticos ecológicamente inocuos, racionales, y eficaces en función del costo, en especial los nuevos y renovables, de los que se aspira obtener una mayor contribución. Nuestro *Futuro Común*, informe de la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo presentado a la Cumbre para la Tierra, fue bastante crítico al referirse a la energía nuclear y, en gran medida, sirvió de fundamento al Programa 21.

No obstante, en fecha más reciente, el Club de Roma, que se interesa por las cuestiones ambientales, emitió un criterio más positivo en una publicación titulada *Second Report to the Club of Rome*. En esa publicación se considera a la energía nuclear como parte indispensable de una política energética benigna desde el punto de vista del efecto de invernadero. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, documento relativo al cambio climático aprobado por unanimidad en la Cumbre para la Tierra y que ha sido suscrito por 154 países, se asume una posición neutral acerca de las diversas fuentes de energía. Esta Convención se está convirtiendo en un documento base de aceptación general para la formulación de las estrategias energéticas nacionales, es decir, para estabilizar "las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático". En consecuencia, la reducción de la tasa de emisión de gases de efecto de invernadero se ha convertido en un factor predominante en la planificación energética, junto con factores ya considerados como la eficacia en función del costo y la garantía de los suministros.

En el presente, las políticas medioambientales y sobre el cambio climático repercuten en la produc-

El Sr. Bennett es Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA y el Sr. van de Vate es funcionario de esa División.

ción de energía en muchas partes del mundo. Con el programa del OIEA sobre evaluación comparativa de la energía nuclear y otras fuentes de energía se intenta proporcionar medios y datos que permitan realizar una comparación completa y justa en el contexto de la planificación energética. Es sumamente difícil, cuando no imposible, abarcar en unidades comunes todos los efectos medioambientales de las distintas fuentes de energía. De ahí que en el presente artículo nos limitemos al efecto de invernadero y que, en ese contexto, examinemos el papel que ha desempeñado la energía nucleoeléctrica, en comparación con otras fuentes de energía, en la reducción de las emisiones de CO_2, así como la necesidad futura de fuentes de energía que liberen bajos niveles de CO_2.

Mensaje del pasado

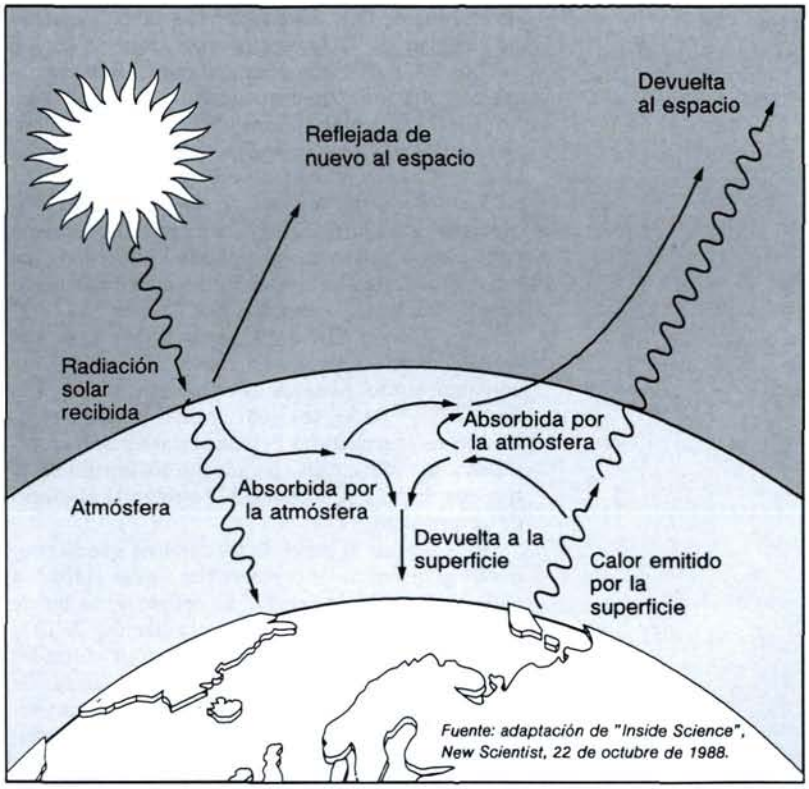
Los niveles de CO_2 en la atmósfera aumentan a un ritmo de alrededor del 0,4% anual. Ese aumento obedece principalmente a la utilización de energía fósil, cuyas emisiones globales asociadas de CO_2 se calculan en la actualidad en unas 24 000 megatoneladas anuales. El aumento anual de unas 250 megatoneladas de CO_2 producidas por el sector energético es bastante constante, sobre todo por la creciente utilización de energía en los países en desarrollo. Los países industrializados y los que están "en transición" han estabilizado sus tasas de emisión desde mediados del decenio de 1970.

Entender esa estabilización de la tasa de emisión de CO_2 podría ayudar a elaborar una estrategia energética más inocua para el medio ambiente. A ese fin convendría examinar más detenidamente las emisiones de CO_2 per cápita, pues un examen de esa índole descartaría el factor demográfico (el crecimiento de la población de los países en desarrollo influye decisivamente en el crecimiento de la población mundial).

Con excepción de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), en los que se produjo una ligera disminución después de 1973, las emisiones de CO_2 per cápita han registrado una tendencia general a aumentar. *(Véanse los gráficos de las páginas siguientes.)* En la antigua Unión Soviética se registró un aumento bastante pequeño después de 1980. En los países en desarrollo, las emisiones de CO_2 per cápita aumentan constantemente a razón de un 3,5% anual. Es notable la diferencia de un orden de magnitud que existe entre las emisiones de CO_2 per cápita de los países industrializados y las de los países en desarrollo y que no es más que un reflejo de los diferentes niveles y estilos de vida.

Suponemos que la estabilización de las emisiones de CO_2 per cápita de los países industrializados obedece a la introducción de fuentes de energía que provocan poca o ninguna emisión de CO_2. Una muestra de ello es el gran aumento de la participación de la electricidad en la producción de energía de los países industrializados desde mediados del decenio de 1970 y la introducción asociada de la energía nucleoeléctrica en una serie de países.

Con todo, es posible comprender mejor lo que sucede si se examinan las tendencias del factor



El efecto de invernadero

La atmósfera funciona como los paneles de vidrio de un invernadero, es decir, protege a la Tierra de alcanzar niveles de enfriamiento muy por debajo del punto de congelación. Sin embargo, desde hace más de un siglo, los niveles de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera han ido aumentando en el mundo entero. Ese aumento de los niveles de estos gases altera el equilibrio terrestre entre la radiación solar que se recibe y el calor que se devuelve al espacio.

La absorción de radiaciones por la atmósfera provocada por los gases de efecto de invernadero antropógenos no sería tan inquietante si no existiera un importante factor de retroalimentación que la amplía. Esa retroalimentación se debe al gas de efecto de invernadero natural y más importante de la Tierra: el vapor de agua. La humedad del aire aumenta cuando la atmósfera se calienta, lo que aumenta aún más la absorción de radiaciones.

Este proceso es considerado como una grave amenaza para la humanidad y el medio ambiente, no sólo por el "calentamiento global" resultante (que algunos esperan que sea incluso beneficioso), sino también porque podría provocar el aumento de la frecuencia y la gravedad de las inundaciones, las sequías y los huracanes, que son amenazas más comunes para nuestra vida cotidiana y están más al alcance de nuestro entendimiento. En los últimos tiempos, ha crecido el interés de los círculos científicos del Programa Mundial sobre el Clima en estos importantes sucesos climáticos. En general, la mayoría de los expertos consideran que existen suficientes razones para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, sobre todo las generadas por las fuentes de energía.

Necesidad de un conjunto de medidas. ¿Qué medidas deben considerarse para evitar los trastornos provocados por el efecto de invernadero y detener el cambio climático antropógeno futuro? En un interesante estudio, Bert Bolin, presidente del IPCC desde su fundación, da respuesta a esa pregunta. En un discurso pronunciado en mayo de 1989 ante el III Grupo de Trabajo del IPCC sobre Estrategias de Respuesta, Bolin demostró que sólo la aplicación de un conjunto de medidas más enérgicas puede impedir, al menos en su mayor parte, el calentamiento global de dos grados pronosticado para el año 2030.

El estudio de Bolin revela que a fin de evitar ese calentamiento de dos grados, es preciso imponer una prohibición total de los clorofluorocarbonos para el año 2000, repoblar al menos la mitad de las zonas terrestres taladas desde 1900, reducir en un 0,5% anual la tasa de uso de combustible fósil, y mejorar significativamente la eficiencia del uso final de la energía.

de emisión de CO_2. Este factor, que se define como la cantidad de CO_2 emitida por exajoule (EJ, ó 10^{18} joule), puede servir para establecer una comparación entre los distintos combustibles fósiles. Para un país o una región en específico, el factor de emisión es un indicador tecnológico de su inocuidad en cuanto al efecto de invernadero.

Por lo general, los factores de emisión de CO_2 globales y regionales registran una disminución constante y relativamente estable. Los países en desarrollo tienen la tasa de disminución anual más baja ($-0,24$ megatoneladas de CO_2 por EJ), y el antiguo bloque soviético registra la más alta ($-0,43$ megatoneladas). En cuanto al mundo en su conjunto, y a los países de la OCDE, los valores son de $-0,29$ y $-0,33$, respectivamente. Resultan alentadoras estas tendencias bastante estables de mejoramiento de los sistemas energéticos del mundo en lo que concierne a su inocuidad con relación al efecto de invernadero.

Para ilustrar el papel de los cambios que se producen en la mezcla de combustibles fósiles utilizados en la producción de energía, se definió un factor de emisión de CO_2 específico como la cantidad de CO_2 liberado por cada EJ de combustible fósil utilizado. Hasta la crisis del petróleo de 1973, este factor de emisión específico iba mejorando en todo el mundo, tanto en los países en desarrollo como en los industrializados. Sin embargo, desde 1973, se mantuvo casi invariable, salvo una ligera disminución después de 1985.

Una de las razones para ello es que el año 1973 marcó el final de un período en que se sustituyó el carbón, que libera mayor cantidad de CO_2, por el petróleo. A partir de entonces, no se produjeron cambios sustanciales en la mezcla de combustibles fósiles. La reducción sostenida del factor medio de emisión de CO_2 ha obedecido a otras causas. Después de 1973, la energía nucleoeléctrica y, en menor medida, la hidráulica, se encargaron de mejorar el factor medio global de emisión de CO_2. La limitación de las emisiones de CO_2 mediante la utilización de la energía nucleoeléctrica aumentó de alrededor de 1% en 1973 a casi 7% en 1990, mientras que con el uso de la energía hidráulica aumentó de 6,5% a 8%. No es sorprendente que países con un vasto programa nucleoeléctrico tengan factores de emisión de CO_2 mucho mejores, es decir, políticas energéticas inocuas en lo tocante al efecto de invernadero. Los países que pusieron en práctica amplios programas nucleoeléctricos en el período 1965–1990, como Bélgica, Francia y Suecia, mejoraron considerablemente sus estrategias energéticas desde el punto de vista de su inocuidad en lo que respecta al efecto de invernadero, y lo lograron reduciendo sus factores de emisión de CO_2 en aproximadamente una megatonelada o más por EJ al año.

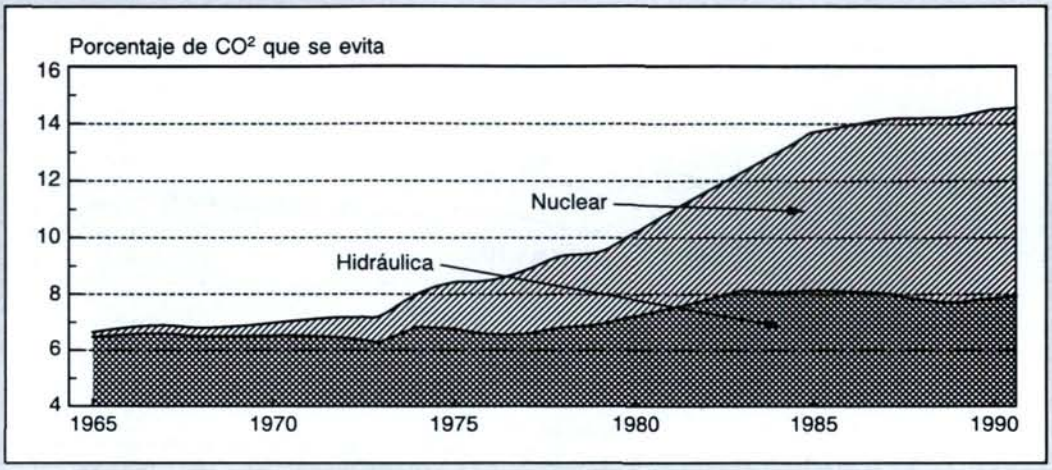
En los últimos decenios, los factores medios de emisión de CO_2 del mundo y de los Estados Unidos de América se mantuvieron al nivel de los del petróleo, a saber, 75 megatoneladas de CO_2 por EJ. Ello ilustra todavía mejor el valioso papel desempeñado por la energía nucleoeléctrica en la reducción de las emisiones de CO_2 en países como Suecia y Francia desde el inicio de sus programas nucleoeléctricos a mediados del decenio de 1970. Demuestra, además, la importancia de la función de la energía hidráulica en Suecia y Noruega. Asimismo, los datos muestran la estabilidad relativa de los factores de emisión de CO_2 en países con abundantes recursos energéticos como China (carbón), EE UU (carbón y petróleo) y Noruega (energía hidráulica). Todo esto refleja la alta prioridad que en las políticas energéticas nacionales de los últimos decenios se ha asignado a la garantía de los suministros, en comparación con la sostenibilidad medioambiental.

Mensajes del futuro

Se han elaborado numerosos escenarios energéticos a fin de formular proyecciones a largo plazo de las emisiones de CO_2 asociadas a la energía. En algunas de ellas se considera de manera explícita el suministo de energía nuclear. A modo de ejemplo, más adelante se examinan los escenarios de emisiones de CO_2 elaborados por el Grupo Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC), el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA) y el Consejo Mundial de la Energía (CME). *(Véanse los gráficos.)* También se debaten otros tres casos en que se abordan diferentes hipótesis sobre el crecimiento de la población y el desarrollo mundial equitativo.

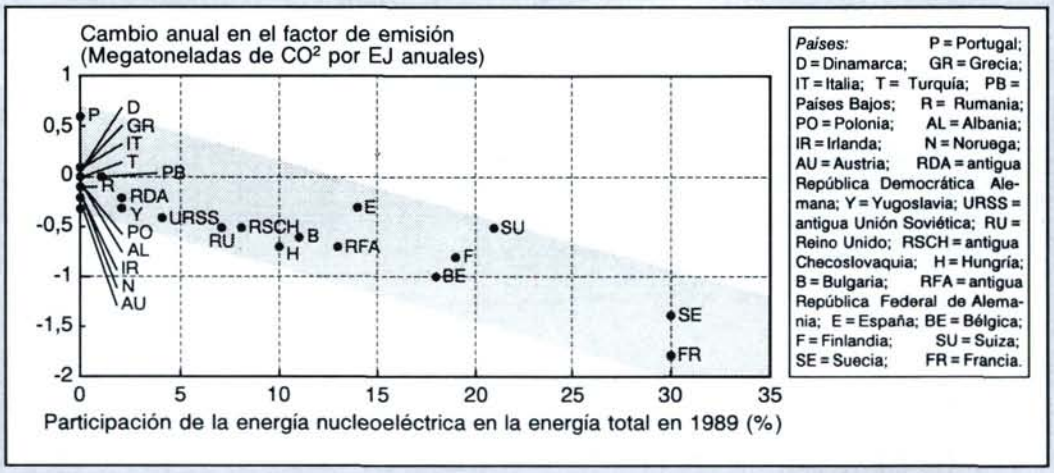
Escenarios del IPCC. En el escenario de referencia (1a) del IPCC se plantea la hipótesis de que la población mundial aumentará hasta unos 11 000 millones de habitantes en el año 2100 y de que el crecimiento económico medio será de 2,9% anual hasta el 2025 y de 2,3% en lo sucesivo. En el suministro total de energía, aumentará considerablemente la participación del gas natural y las fuentes de energía renovables, sobre todo la energía solar y los biocombustibles que se supone lleguen a ser competitivos. Según este escenario habrá un moderado aumento de las emisiones de CO_2 relacionadas con la generación de energía.

Otros tres escenarios del IPCC parten de hipótesis diferentes. En el escenario 1e se supone el mismo crecimiento de la población que en el escenario de referencia, pero con un crecimiento económico mayor, es decir, de 3,5% anual hasta el 2025 y de 3% en lo sucesivo. Se supone que con el gas natural suceda lo mismo que se prevé en el escenario de referencia y que para el año 2075 la energía nucleoeléctrica se elimine gradualmente. Según este escenario, desde 1990 hasta el año 2100 las emisiones de CO_2 aumentarán más de cuatro veces de manera vertiginosa. En los escenarios 1c y 1d se supone un crecimiento menor de la población que se traducirá en 6400 millones de habitantes en el año 2100, las tasas de crecimiento económico también son inferiores a las del escenario de referencia. En el escenario 1c, en que se supone la tasa de crecimiento económico más baja y un gran desarrollo de la energía nucleoeléctrica, las emisiones de CO_2 a largo plazo serán mucho menores e incluso disminuirán después del año 2025. Según el escenario 1d en el próximo siglo las emisiones serán bastante estables, ya que en él se suponen tasas de crecimiento económico y demográfico moderadas, una considerable introducción de fuentes de energía renovables y, en menor grado, de la energía nucleoeléctrica. Los escenarios 1e y 1d, en que se muestra

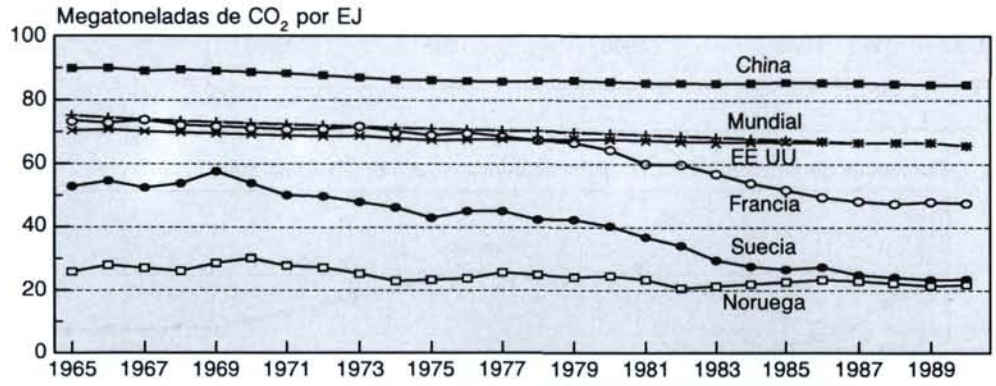


Porcentaje de emisiones de CO_2 que se evita con el uso de las energías nuclear e hidráulica

Uso de la energía nuclear y emisiones de CO_2



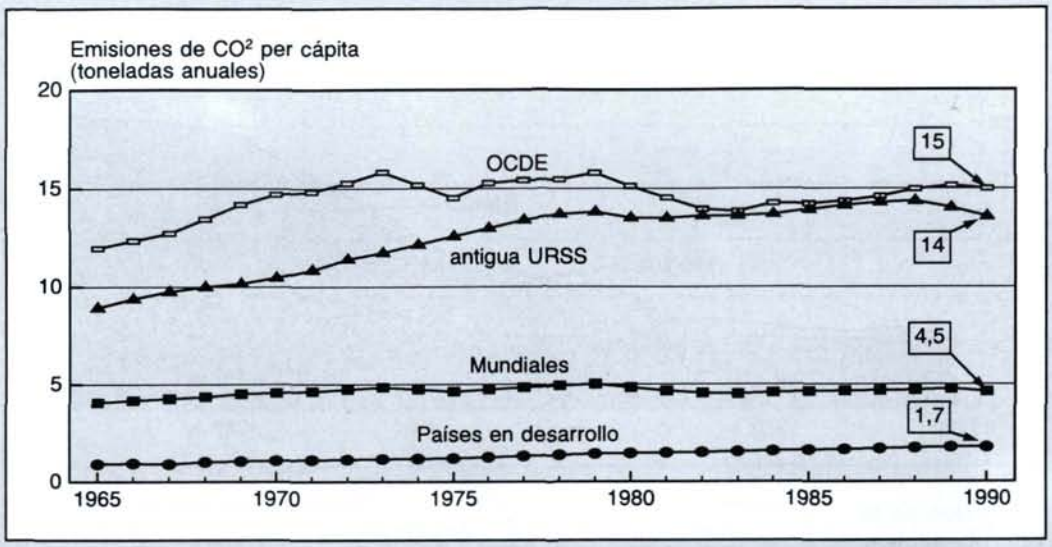
Países: P = Portugal; D = Dinamarca; GR = Grecia; IT = Italia; T = Turquía; PB = Países Bajos; R = Rumania; PO = Polonia; AL = Albania; IR = Irlanda; N = Noruega; AU = Austria; RDA = antigua República Democrática Alemana; Y = Yugoslavia; URSS = antigua Unión Soviética; RU = Reino Unido; RSCH = antigua Checoslovaquia; H = Hungría; B = Bulgaria; RFA = antigua República Federal de Alemania; E = España; BE = Bélgica; F = Finlandia; SU = Suiza; SE = Suecia; FR = Francia.



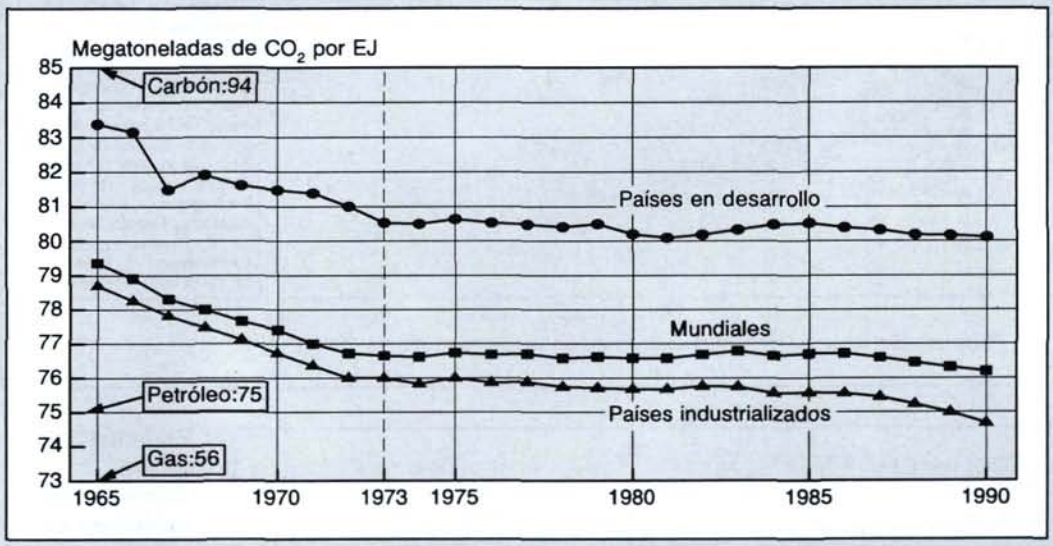
Participación de los combustibles fósiles en el consumo de energía y emisiones de CO_2 de países seleccionados

	Participación de los combustibles fósiles (%)	Participación de los combustibles no fósiles (%)		
		Energía nuclear	Energía hidráulica	Total
China	95	0	5	5
Francia	65	30	5	35
Noruega	29	0	71	71
Suecia	34	31	35	66
Estados Unidos	88	8	4	12
Mundial	87	6	7	13

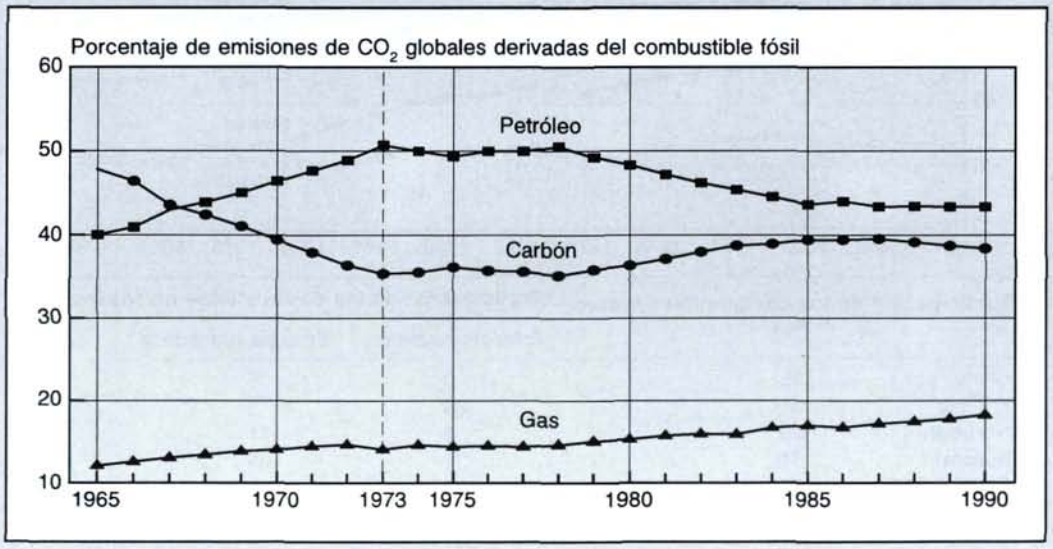
Emisiones de CO_2 per cápita por grupos de países



Tendencias en las emisiones de CO_2, 1965–1990



Porcentaje de emisiones de CO_2 provocadas por el uso de combustibles fósiles



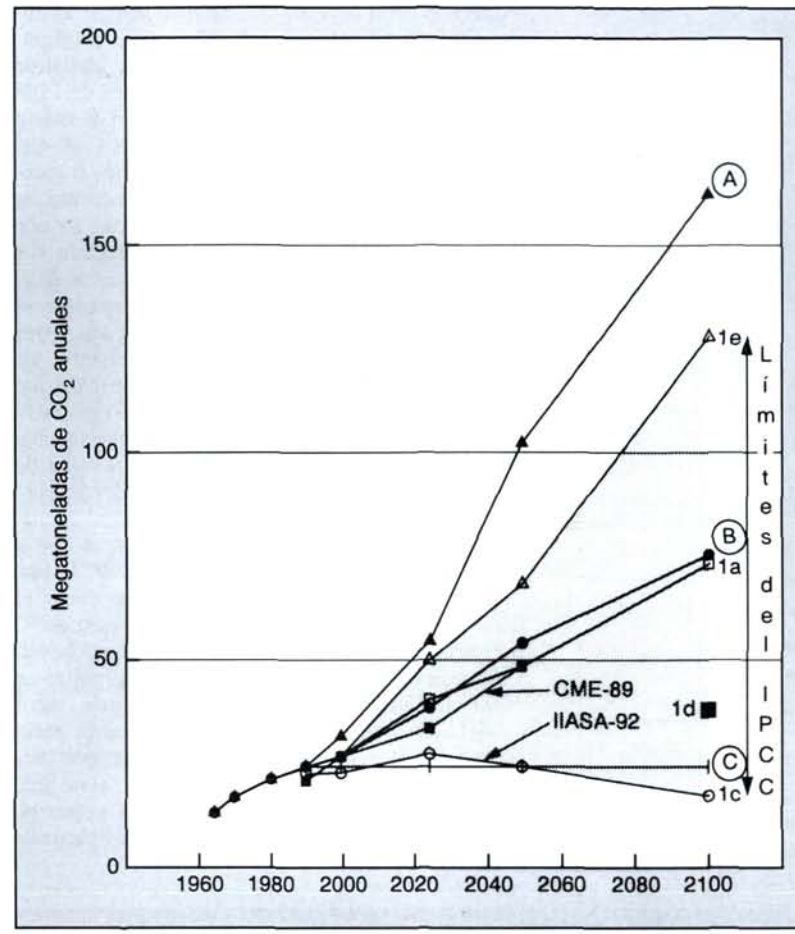
la correlación entre las bajas emisiones de CO_2 y una gran participación de la energía nucleoeléctrica en el caudal energético, constituyen un ejemplo de la importancia de la opción nuclear en la aplicación de estrategias energéticas sostenibles a largo plazo.

Escenario del CME. La Comisión del CME elaboró proyecciones de la demanda de energía hasta el año 2020, con un crecimiento demográfico hipotético bastante bajo de 1,4% anual hasta ese año. En el caso de referencia CME-89 se supone que se mantienen las tasas de crecimiento económico alcanzadas en la segunda mitad del decenio de 1980, y la intensidad energética se reduce con una rapidez mayor que la registrada históricamente. Asimismo, la participación de la energía nucleoeléctrica en el suministro mundial de energía primaria aumentaría en un 50% en el período 1990–2020. Esta hipótesis se basa en la opinión de la Comisión del CME de que, teniendo en cuenta la sostenibilidad, es preciso reevaluar la opción nuclear sin olvidar las cuestiones medioambientales y la seguridad del suministro.

Escenario del IIASA. En el escenario IIASA-92, en que se supone una gran participación de la energía nucleoeléctrica en el suministro de energía, se brinda aún más apoyo al criterio de que las tecnologías que no emiten CO2 deben tener una participación sustancial en el suministro de energía en el marco de una política benigna desde el punto de vista del efecto de invernadero.

Otros casos. El OIEA ha elaborado otros tres casos, atendiendo a los criterios expuestos en la Convención Marco sobre el Cambio Climático, en la que se hace hincapié en la equidad mundial entre los países industrializados y los países en desarrollo como uno de los conceptos fundamentales del desarrollo sostenible. Ello quiere decir que uno de los pilares de una política climática global debe ser la erradicación de la brecha socioeconómica que existe entre los países ricos y los países pobres, lo que entraña, además, un futuro con un mayor equilibrio regional del consumo per cápita de energía y de las emisiones de CO_2. Es probable también que ésta sea una condición indispensable para la plena colaboración de los países en desarrollo en el establecimiento de una política global encaminada a un medio ambiente sostenible. En la actualidad, el consumo medio per cápita de energía y las emisiones per cápita de gases de efecto de invernadero conexas son un orden de magnitud mayores en los países industralizados que en los países en desarrollo. De ahí que la demanda global de energía en el próximo siglo podría ser mucho mayor por razones de equidad y porque la población mundial podría crecer, como se espera, hasta casi triplicar el nivel actual.

En los tres casos se examinan distintos niveles máximos de equidad, que se supone habrán de alcanzarse durante el próximo siglo. Esto se hizo para ilustrar las limitaciones que existen para el logro de una política energética global sostenible encaminada a reducir la brecha económica que existe entre los países en desarrollo y los países desarrollados y que es determinada por los estilos de vida. En esas hipótesis se supone, además, que la equidad mundial de las emisiones de CO_2 per cápita puede lograrse con un índice de cambio del 3% anual en la relación de emisiones de CO_2 per cápita existente entre los países industrializados y los países en desarrollo.



Escenarios de emisiones de CO_2 asociadas con la energía

Se supone que la población mundial llegará a 12 000 millones en el año 2075, cifra que concuerda con lo previsto por el Fondo de Población de las Naciones Unidas. A los efectos de la transparencia se partió del supuesto de que no se producirían cambios en las mezclas de combustibles ni mejoras en la eficiencia.

Se examinaron tres casos:

Caso A. En este caso se supone que los países industrializados estabilizan su consumo de energía y la emisión de CO_2 per cápita a los niveles de 1990, y que los países en desarrollo logren superar su atraso en un período de 50 años. El resultado no es sorprendente porque se producirá una enorme liberación global de CO_2 de hasta 150 megatoneladas anuales, que es casi seis veces la actual tasa de emisión anual de 24 megatoneladas.

Caso B. En este caso se supone que en el año 2050 el nivel global de equidad en el consumo de energía per cápita será cuatro veces mayor que el nivel actual de los países en desarrollo y 2,5 veces menor que el nivel actual de los países industrializados. Ello entrañaría la tasa máxima factible de inversión en el desarrollo. La tasa máxima de emisión de CO_2 resultante de unos 75 megatoneladas de CO_2 anuales sigue siendo muy elevada, aunque cae dentro de los límites de los escenarios del IPCC.

Caso C. Este es un caso normativo restringido a una tasa global hipotética de emisiones de CO_2 esta-

bilizada al nivel de 1990. La equidad sólo se alcanzaría al final del próximo siglo. Con todo, ello significa que ni siquiera se alcanzaría la meta global de Toronto (reducción del 20% de los niveles de 1988 para el año 2005). No obstante, este caso es más o menos idéntico al del escenario 1c del IPCC en que se supone un amplio desarrollo nuclear, y es el escenario de ese Grupo en que se prevé que ocurran las menores emisiones de CO_2. Queda implícito en este caso que los países industrializados reducirán sus emisiones de CO_2 en 70% y 80% en los años 2050 y 2100, respectivamente, a fin de compensar el aumento de las emisiones provocadas por los países en desarrollo. Ello requeriría fijar un objetivo de reducción de unos 100 millones de toneladas de CO_2 anuales. La expansión implícita de la capacidad de las centrales nucleares es evidentemente factible ya que es comparable con la tasa de instalación de centrales que ya se alcanzó a principios del decenio de 1980.

En su conjunto, los tres casos demuestran que si no se adoptan medidas rigurosas, las tasas de emisión de gases de efecto de invernadero, como el CO_2, aumentarán a niveles excepcionalmente altos, debido en gran medida al crecimiento de la población y al mejoramiento del estilo de vida de los países en desarrollo en aras de la equidad. Además, estos casos hacen suponer que la energía nuclear es necesaria para alcanzar una estrategia mundial que permita detener el cambio climático. Ello, a su vez, exigiría una mayor participación de los países en desarrollo en la generación de electricidad a partir de la energía nuclear.

Fortalecimiento de los compromisos

Los escenarios energéticos en que se considera de manera explícita la contribución de la energía nucleoeléctrica al suministro de energía muestran sin lugar a dudas que las emisiones globales de CO_2 pueden reducirse considerablemente si la energía nuclear logra introducirse más en el mercado de la electricidad. Es preciso adoptar un conjunto de medidas, entre las que se incluyan la utilización de la energía nuclear y el mejoramiento de la eficiencia energética para poder reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero a un nivel en que no se produzcan más la perturbación antropógena del efecto de invernadero ni el cambio climático que trae aparejado. Ello entraña una acción mundial muy amplia por parte de los países industrializados y los países en desarrollo, con miras a reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, necesitando los segundos un sustancial apoyo en lo que respecta a fondos, especialistas y equipo.

No obstante, como primera medida, es menester que todos los países industrializados demuestren que han tomado en serio el problema del efecto de invernadero, reduciendo sus aportes, los más altos en la actualidad, a las emisiones globales de gases que tienen ese efecto. En este contexto, los países que tienen intenciones de eliminar gradualmente la energía nuclear tendrán que convencerse de que una medida de esa índole haría difícil, cuando no imposible, mantener sus compromisos de al menos estabilizar las emisiones de CO_2, y mucho más difícil aún alcanzar la meta global de Toronto.

Una parte importante de la electricidad de Chicago y otras ciudades del mundo se genera con energía nuclear. ***(Cortesía: ENEL)***