

# OPCIONES ENERGETICAS ANTE LA INCERTIDUMBRE DE UN CAMBIO CLIMATICO

**Roberto Vacca**

## 1. INTRODUCCION

El calentamiento del planeta, el agujero de la capa de ozono, las lluvias ácidas, el invierno nuclear: según Lovelock (citado por Visconti, 1989) estas catástrofes anunciadas pueden atribuirse a un caso mundial de hipocondría. No llegaré al punto de suscribir esta opción parcialmente jocosa. Lo que me propongo es:

— Hacer una lista de las numerosas incertidumbres que afectan a las posibles explicaciones de los mecanismos que podrían ser la causa del pretendido aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra, especialmente como consecuencia del bien conocido aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>;

— describir algunas empresas del sector energético que pretenden reducir drásticamente el constante aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> y algunas que pretenden compensar las consecuencias de otras catástrofes planetarias;

— indicar qué empresas parecen menos riesgosas o al menos más razonables, teniendo en cuenta las citadas incertidumbres.

En realidad, sería un despilfarro invertir sumas muy elevadas de dinero para construir sistemas destinados a evitar riesgos y sobre cuya existencia tenemos la obligación de albergar serias dudas.

Por otra parte, los que tienen capacidad de decisión no deberían suspender todo juicio —y pos-

poner todas las actuaciones— mientras esperan que los científicos proporcionen predicciones más documentadas y creíbles. La historia humana es una larga secuencia de decisiones tomadas en condiciones de extrema incertidumbre. En muchos casos, ni siquiera existía la apariencia de que hubiese un problema crítico, y mucho menos de cuál podría haber sido la solución. En este caso, al menos, disponemos de datos y de teorías, aun cuando se susciten controversias por lo que respecta a su significación real.

## 2. INCERTIDUMBRES RELATIVAS AL CALENTAMIENTO DEL PLANETA Y A SUS CAUSAS

Parece haber un consenso —en todos los medios de comunicación— acerca de que el aumento constante de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre (280 ppm en 1750, 300 ppm en 1910, 360 ppm en 1993) está causado por la combustión del carbón, el petróleo y el gas natural; acerca de que esto hace aumentar el efecto invernadero y de que, como consecuencia, la temperatura media de la superficie de la Tierra aumentará entre 1 y 5 grados en el transcurso de uno o dos siglos.

Es un hecho que el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> se debe en gran medida a la combustión de combustibles fósiles. Sin embargo, hasta

1980, la masa acumulativa proveniente de esta fuente era de 170 Pg<sup>1</sup>, mientras que la cantidad producida por la deforestación y los suelos era de 265 Pg (véase Visconti, 1989, pág. 136). Sin embargo, los mecanismos de generación y absorción del CO<sub>2</sub> no se conocen bien. Predomina el CO<sub>2</sub> en los océanos y todavía no se ha estudiado exhaustivamente la relación entre el CO<sub>2</sub> disuelto y la cantidad absorbida por las algas. Los expertos suelen aceptar que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está regulada en gran medida por procesos biológicos que tienen lugar en los océanos. Las cantidades de carbono presentes en la Tierra en forma de CO<sub>2</sub> son:

Disuelto en los océanos.....	38.000 Pg.
Presente en la biosfera.....	2.100 Pg.
En la atmósfera.....	750 Pg.

Obsérvese también que se ha determinado que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era aproximadamente de 200 ppm al final del último período glacial (aproximadamente veinte mil años atrás), mientras que fue mucho más elevado durante los períodos interglaciares.

El primer científico que alarmó al mundo con el peligro del calentamiento del planeta fue James Hansen, del Goddard Institute for Space Studies. Sus datos sobre los aumentos de temperatura (de los que hablaremos más adelante) fueron registrados en el suelo y demostraron el repentino desencadenamiento de una tendencia al calentamiento a mediados de la década de 1970.

J. Christy, de la Universidad de Alabama, y R. Spencer, del Marshall Space Flight Center de Huntsville, Alabama, registraron una cantidad de datos contradictorios y mucho más amplios basándose en las mediciones de satélite de la National Oceanic and Atmospheric Administration. Sus informes, basados en exploraciones de la totalidad de la superficie de la Tierra, indican que en cada uno de los meses que transcurrieron entre diciembre de 1991 y junio de 1993, la temperatura media global de la atmósfera terrestre fue más baja que la media para los meses correspondientes de la década anterior (*International Herald Tribune*, 29/7/1993, pág. 8).

Hansen sostiene que los datos del Marshall Space Flight Center no son tan pertinentes para la flora y la fauna del suelo, ya que calculan el término medio de la temperatura atmosférica desde el suelo hasta una altitud de 6 km. Sin embargo,

tal vez sean más pertinentes para la formación de nubes, que enfrían la superficie durante el día y la calientan durante la noche.

Existen también considerables incertidumbres por lo que respecta a las tendencias de variación de la temperatura en la atmósfera alta (véase Bolin y otros, 1986, pág. 283). Esto se debe a problemas instrumentales, a diferencias en los métodos de análisis y a que hasta fines de la década de 1940 no empezaron a realizarse mediciones metódicas.

A. Arking, jefe de la rama climática del NASA's Goddard Space Flight Center, señaló (*International Herald Tribune*, 24/5/89, pág. 8) que la temperatura atmosférica se elevó en aproximadamente 0,6°C entre 1890 y 1940 (cuando la combustión de combustibles fósiles fue más baja), pero a continuación se estabilizó o decreció entre 1940 y fines de la década de 1970 (cuando se quemaron muchos más combustibles fósiles). Arking afirma que la temperatura atmosférica guarda una estrecha relación con las manchas solares. Estas prácticamente desaparecieron durante la segunda mitad del siglo XVII y las temperaturas decayeron considerablemente. A ese período se le denominó «la pequeña era glacial».

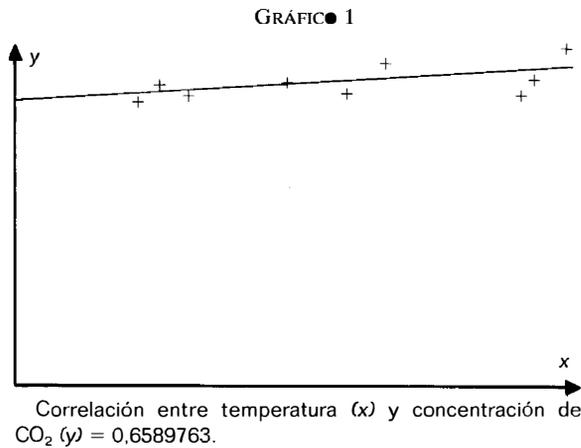
A. R. Solow, un estadístico de la Woods Hole Oceanographic Institution, señaló también la notable falta de una relación causa-efecto entre la concentración del CO<sub>2</sub> y la temperatura atmosférica. Según Solow, «el actual calentamiento es coherente con un leve período posglacial, probablemente la consecuencia de la “pequeña era glacial” que terminó a mediados del siglo XIX».

He computado el coeficiente de correlación entre las temperaturas medias registradas por Hansen (véase Bolin y otros, 1986, pág. 280) y las concentraciones de CO<sub>2</sub> (véase Bolin y otros, 1986, págs. 98-99) con intervalos de diez años entre 1880 y 1980. El coeficiente de correlación es de 0,658 y la línea de regresión está representada en el gráfico 1. Esto indica que la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura están conectadas de una manera muy imprecisa<sup>2</sup>. Influyen otros factores.

La complejidad del problema es extrema. Se han utilizado instrumentos muy sofisticados, como los Modelos de Circulación General Informatizados (Henderson-Sellers y McGuffie, 1987), pero no reproducen los mecanismos actuales de los cambios climáticos. Estos instrumentos no pueden proporcionar predicciones fiables. En palabras de

<sup>1</sup> 1 Pg (Petagramo)=1 Gton (1.000 millones de toneladas).

<sup>2</sup> El coeficiente de correlación entre la población de pacientes de SIDA y la dotación de ordenadores personales de Italia entre 1981 y 1991 es de 0.91.



un experto, «se trata de bolas de cristal empañadas».

Visconti sostiene que tendremos que esperar al menos hasta el año 2000 para decidir si el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> está a punto de causar un aumento significativo en la temperatura atmosférica. Las señales provenientes del sistema climático tienen que ser lo suficientemente fuertes como para poder distinguirlas del ruido de fondo.

Hasta entonces los encargados de tomar las decisiones tendrán que soportar la incertidumbre. Es probable que la combustión de combustibles fósiles esté causando los incrementos observados en la concentración de CO<sub>2</sub>. Es posible que éstos, junto con otros factores, estén a punto de causar un calentamiento considerable de la atmósfera. ¿Qué medidas se justifica que tomemos para evitar este riesgo, aparte de invertir en investigación para determinar si el riesgo realmente existe?

### 3. LAS OPCIONES ENERGETICAS: EL GAS NATURAL

Cualquier política energética que se adopte en el futuro tendrá que basarse en escenarios de demanda energética. Ausubel y otros, 1988, han analizado la situación, basada en el razonable supuesto de que el gas natural se convertirá en la fuente predominante de energía de aquí al año 2050. Han considerado dos escenarios basados en las estimaciones del Banco Mundial de un crecimiento demográfico mundial hasta 10.400 millones en el 2100. El primer escenario supone un consumo *per capita* a los niveles de 1987, y según el mismo, la concentración de CO<sub>2</sub> alcanzaría su punto máximo a los 450 ppm. El segundo supone que de aquí al año 2100 el consumo energético

mundial *per capita* llegará al nivel de los Estados Unidos de 1987 y daría como resultado una concentración de CO<sub>2</sub> que llegase a los 600 ppm.

La media entre estos dos escenarios da los siguientes valores para las diversas fuentes energéticas en el año 2050:

Gas .....	586	exaJ
Nuclear .....	234,5	exaJ
Petróleo .....	58,5	exaJ
Carbón.....	14,6	exaJ
Solfus (energía fotovoltaica+fisión nuclear).....	23,4	exaJ
Total.....	917,0	exaJ

El primero y segundo escenarios implicarían respectivamente una reducción y un aumento del 50 por 100 de los valores arriba mencionados. En lo siguiente me referiré a los valores medios proporcionados por el cuadro anterior para evaluar la importancia relativa de las contribuciones de las posibles fuentes energéticas. Podría parecer que Ausubel era demasiado optimista por lo que respecta a la cuota de energía total proporcionada por las plantas de fisión nuclear, dada la fuerza de los movimientos antinucleares que funcionan en los países industrializados. Por otra parte, la preocupación por las cuestiones medioambientales muy bien podrían llevar a los verdes a apoyar una reanudación de la industria nuclear. El futuro podría favorecer la adopción de los HTGR, Reactores de Alta Temperatura Enfriados por Gas, que en sí mismos son unas mil veces más seguros que los reactores de agua ligera de igual potencia.

La combustión del gas natural produce un 40 por 100 menos de CO<sub>2</sub> por unidad que una energía como el carbón. Las proyecciones de Ausubel parecen, pues, muy razonables. Dadas las grandes reservas de metano del mundo parece factible limitar la concentración del CO<sub>2</sub> a menos de 600 ppm. Una utilización mayor de metano, unida a la conservación, parece una estrategia prudente. Las proyecciones basadas en la mezcla actual de fuentes energéticas indican niveles (posiblemente peligrosos) de concentración de CO<sub>2</sub> incluso superiores a las 1.000 ppm de aquí al año 2100.

### 4. HIDROELECTRICA

Resulta curioso que ninguno de los estudios tan serios citados aquí mencione la energía hidroeléctrica como una energía significativa, aunque Ausubel dice explícitamente que en sus cálculos se omiten las fuentes energéticas que no llegan a una cuota de mercado del 1 por 100. La energía hi-

dráulica, sin embargo, podría representar una contribución mucho mayor. A. M. Angelini, 1974, documentó el hecho de que aproximadamente el 90 por 100 del potencial hidráulico del mundo no se utiliza. Podrían construirse estaciones muy importantes con una potencia total de 1.350 GW (700 GW en Asia, 400 GW en América, 250 GW en África). Funcionando durante ocho mil horas/año, estas estaciones energéticas podrían producir 10,8 petaWh —correspondientes a 38,9 exaJ (la producción hidroeléctrica de 1989 fue de 7,5 exaJ). Esto representaría más del 4 por 100 de la demanda total de energía para el año 2050. Pero en 1993 la producción energética mundial es aproximadamente de 330 exaJ y la producción hidroeléctrica es aproximadamente de 8 exaJ. Por tanto, la producción hidráulica podría proponerse representar más del 10 por 100 de la demanda total. Esta es una cuota significativa y una parte importante de la solución. Aun cuando los peligros de una mayor concentración de CO<sub>2</sub> fuesen muy exagerados, la inversión en energía hidráulica sería válida. Contribuirá a reducir otras emisiones gaseosas y favorecerá el desarrollo de países mucho menos desarrollados. La inversión necesaria para construir los 1.350 GW de energía hidráulica citados arriba sería de aproximadamente 4 T\$.

## 5. LA ELIMINACION DEL CO<sub>2</sub> Y LA TRANSICION AL HIDROGENO

El físico Freeman Dyson propuso resolver el problema de la concentración del CO<sub>2</sub> plantando un billón de sicomoros, especialmente en los desiertos. El contenido carbónico de estos árboles absorbería el equivalente de aproximadamente un tercio del CO<sub>2</sub> atmosférico. Una dificultad parece ser que los sicomoros son más oscuros que el suelo en el que crecen y esto aumentaría la cantidad de radiación solar absorbida por la superficie de la Tierra. En cualquier caso, la propuesta de Dyson parece razonable y debería ser evaluada también en conexión con posibles utilizaciones de madera de sicomoro, que en el antiguo Egipto se usaba para construir féretros para las momias.

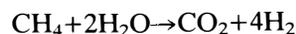
Otra opción sería reunir el CO<sub>2</sub> mientras se produce al quemar combustibles fósiles. Esto no sería posible en instalaciones pequeñas y medianas, sino sólo en las muy grandes.

En la hipótesis mencionada en la sección 3, de predominio del gas natural entre las fuentes energéticas aproximadamente hasta fines del próximo siglo, puede parecer factible centralizar la produc-

ción de CO<sub>2</sub>, de modo que pueda almacenarse. Esto haría que la situación fuese mucho más favorable que la que hemos visto en la sección 3.

Marchetti, 1988, ha sugerido la reforma del gas natural, es decir, extraer hidrógeno de él. El proceso de reforma absorbe cantidades considerables de energía que pueden ser suministradas mediante reactores de fisión nuclear.

La reacción es:



El contenido energético del hidrógeno producido es un 30 por 100 mayor que el del metano utilizado. La reacción se produce a altas temperaturas. El calor necesario producido por un Reactor de Alta Temperatura es del orden de la mitad del contenido energético de metano: la mitad del mismo va a un sumidero de calor y la mitad pasa al contenido energético del hidrógeno. Al parecer, plantas piloto instaladas en Alemania han demostrado la factibilidad del proceso.

Sería aconsejable instalar la planta reformadora cerca de los campos de gas, o de lo contrario, cerca de los pozos petrolíferos agotados. El calor sobrante y el CO<sub>2</sub> producidos se bombearían entonces hacia los antiguos pozos petrolíferos y esto haría posible la recuperación de petróleo terciario, ya que el CO<sub>2</sub> se disuelve en el petróleo haciendo que se expanda y reduciendo su viscosidad.

El proceso descrito tiene la ventaja de reducir la utilización de combustibles fósiles y también de proporcionar una recuperación adicional de petróleo.

Una eliminación menos ventajosa del CO<sub>2</sub> reunido podría llevarse a cabo (Marchetti, 1977) licuando el gas (lo cual puede hacerse a temperatura ambiente a la presión de 70 atmósferas), transportándolo a continuación por medio de tuberías y dejando que se hundiese en el océano Atlántico en Gibraltar. El CO<sub>2</sub> líquido entonces se hundiría hacia el fondo del océano. Lo haría sin peligro para la vida marina, siempre que la concentración se mantuviese dentro de unos límites determinados.

Otra solución —que más parece propia de la ciencia-ficción— para el problema del almacenamiento del CO<sub>2</sub> sería bombearlo hacia los pozos petrolíferos agotados. Podría mantenerse allí hasta el momento en que el clima presentase una marcada tendencia al enfriamiento. Para evitar una mini o maxi edad glacial podría dejarse en libertad entonces el CO<sub>2</sub> y tratar de aumentar el efecto invernadero para favorecer el calentamiento del planeta.

6. ¿PUEDE LOGRARSE QUE LOS ARBOLES PRODUZCAN HIDROGENO MEDIANTE INGENIERIA GENETICA?

Marchetti, 1979, ha propuesto que se realicen investigaciones para determinar las posibilidades de modificar el ADN de los árboles a fin de que produzcan directamente hidrógeno. Procesos de este tipo se producen en la naturaleza cuando ciertas bacterias inducen agallas semejantes a tumores en la corteza y en el tallo de ciertos árboles. Las agallas a menudo sirven para albergar larvas y están genéticamente controladas para que se abran cuando el insecto maduro esté listo para salir.

En el laboratorio, la secuencia de ADN para fijar hidrógeno ha sido transferida con éxito de *Klebsiella Pneumonia* a *Escherichia Coli*. El éxito en la producción de agallas capaces de revertir la fotosíntesis y producir hidrógeno podría conducir al cultivo de bosques como fábricas de energía. Unas tuberías que atravesasen las agallas extraerían el hidrógeno, con una red colectora que alimentase un sistema de gasoducto.

En 1993, el total de las instalaciones medias generadoras de energía del mundo representan aproximadamente 10 TW. Los bosques del mundo producen una cantidad de hidratos de carbono del orden de 100 TW. Sería suficiente el aprovechamiento de una parte del mismo para resolver la mayor parte de nuestros problemas energéticos sin producir ningún CO<sub>2</sub> adicional. Por supuesto, es preciso probar que este plan es factible. Sin embargo, no deberíamos descartarlo por considerarlo una solución futurista —y barata— una vez demostrado que en principio no son imposibles y que podrían poner a nuestra disposición cantidades considerables de energía.

7. CONVERSION DE LA ENERGIA TERMICA DEL OCEANO

La temperatura de la superficie marina es de alrededor de 20° en el Ecuador y en los Trópicos. A una profundidad de 2.000 metros la temperatura es de 2°C. La porción mayor del calor almacenado en el mar está localizada en el estrato superior hasta una profundidad de 500 metros. Esta energía es equivalente a la recibida del sol en un período de diez años.

Es posible realizar un ciclo termodinámico para transformar en energía mecánica parte del calor a la diferencia de temperatura que existe entre los

niveles superficial y profundo del mar. El proceso se denomina OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion). La eficiencia teórica máxima del proceso es del 7 por 100. Esta baja eficiencia no es un importante factor disuasorio. Obstáculos peores son el hecho de que la ubicación esté geográficamente forzada y que el coste de las KW instaladas sería muy elevado. La potencia del total de OTEC susceptible de instalarse en el mundo se estima en 2.000 a 3.000 GW. Otra desventaja es que las estaciones OTEC sólo pueden construirse en lugares bastante distantes de aquellos donde hay una gran demanda de energía. La transmisión de la energía producida a lugares muy distantes resulta también bastante costosa.

Una propuesta atrevida y paradójica para explotar la energía OTEC fue la que formuló en 1981 Sir Fred Hoyle, el astrónomo británico. Hoyle sostuvo que los períodos glaciares fueron causados en el pasado por el impacto sobre la tierra de meteoritos de piedra de cientos de metros de diámetro. Como consecuencia de ellos, cientos de millones de toneladas de polvo fueron proyectadas hacia la atmósfera. Esta gran nube habría bloqueado durante alrededor de diez años gran parte de la radiación solar. La temperatura de la atmósfera habría disminuido marcadamente, mientras que el aire habría absorbido el calor almacenado en los océanos. Después de diez años, la atmósfera se habría enfriado hasta el punto de que se congelase su humedad en forma de diminutas agujas conocidas como polvo de diamante. Esto habría reflejado hacia el espacio gran parte de la radiación solar incluso después de disipada la enorme nube de polvo. El período glacial que sigue a un fenómeno de este tipo dura hasta que la Tierra es golpeada por un gran meteorito metálico. El polvo metálico producido por este meteorito absorbe entonces la radiación solar, calentando la atmósfera y derritiendo el polvo de diamante. Estadísticamente, tendríamos que esperar al meteorito metálico durante decenas de miles de años. La situación sería trágica.

Hoyle señaló la conveniencia de proteger a nuestros descendientes contra esta catástrofe calentando la superficie del mar hasta una profundidad de 500 metros. Esto podría hacerse bombeando todos los años un 1 por 100 de las aguas oceánicas hacia la superficie donde el sol las calentaría. A una velocidad del agua de 1 m/s, la sección transversal de los circuitos de bombeo tendría que ser de 14 km<sup>2</sup>. La energía necesaria de 600 GW podría proporcionarse mediante estaciones de OTEC. De esta manera, en un siglo almacenaríamos en el mar el equivalente de las radia-

ciones solares de un año. Llevaría mil años duplicar la energía almacenada en los océanos. Para que esto fuese más seguro deberíamos seguir bombeando durante tres mil o cuatro mil años. Entonces el mar volvería a estar tan caliente como lo estaba hace doscientos millones de años, cuando no había edades glaciales. La inversión necesaria para esta empresa equivaldría al PNB de los Estados Unidos (más de 5 billones de dólares). El mantenimiento anual medio puede estimarse en 200.000 millones de dólares. El rendimiento iría decreciendo al reducirse la disposición de energía OTEC, cuando los niveles más profundos del mar se calentasen. El impacto sobre el medio ambiente sería enorme y posiblemente negativo. Esta empresa no parece factible. Su necesidad no está probada.

Con un mayor progreso tecnológico tal vez fuese posible la construcción de estaciones de energía OTEC que totalizaran 600 GW a un coste aproximado de 2,5 T\$, evitando las enormes instalaciones necesarias para el bombeo del agua del mar. Esto representaría una producción anual de energía de 17 exaJ —o aproximadamente el 2 por 100 de la demanda de energía mundial para el año 2050—. Las consideraciones de costes indican que debe darse prioridad a la inversión en plantas hidroeléctricas.

## 8. LOS GOBIERNOS Y EL PROCESO DE DECISION

No es probable que los gobiernos se pongan de acuerdo en unir fuerzas para evitar el riesgo de una nueva era glacial. Nadie está dispuesto a intentar empresas a millones de años vista. De hecho, los gobiernos ni siquiera se ponen de acuerdo sobre cuestiones vitales que ponen en peligro de muerte a poblaciones enteras sumidas en guerras locales.

Se logró cierto éxito en la limitación de las emisiones de CFC a las que obligaron acuerdos internacionales. Se ha echado en falta una acción concreta para limitar las emisiones de combustibles basados en el carbono, aunque en la Conferencia de Río de 1992 los países ricos estuvieron de acuerdo en tomar la iniciativa. Sin embargo, no se pusieron fechas para hacerlo. El Día de la Tierra (21 de abril de 1993) el presidente Clinton prometió que los Estados Unidos reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> a los niveles de 1990 de aquí el año 2000. Esto significaría reducir la producción

proyectada de 1,7 Pg en 0,2 Pg —una cantidad igual a las emisiones de aproximadamente 2/3 de los vehículos motorizados de los Estados Unidos—. Incluso esto parece poco factible a la vista de que el Congreso de los Estados Unidos ha eliminado el impuesto sobre el carbono reemplazándolo por un pequeño impuesto sobre la gasolina. La transición a los coches eléctricos no se notará hasta las primeras décadas del próximo siglo.

El año próximo se espera que la ONU apruebe una Convención Marco sobre los Cambios Climáticos. Definir los contenidos de la convención será una ardua labor dadas las incertidumbres sobre los propios hechos, que no se disiparán durante muchos años. Es de esperar que la convención se concrete en planes factibles: grandes plantas hidráulicas, conservación de la energía con campañas de educación, una transición más rápida hacia el gas natural y los coches eléctricos e inversión en investigación básica.

Esto resultaría ventajoso aun cuando se llegase a comprobar que los cambios climáticos no van a producirse en las direcciones y por las causas que algunas personas sospechan. La comunidad europea debería lanzar muchos más programas de investigación destinados a aumentar la participación de los Estados miembros en programas de investigación y desarrollo, especialmente en el sector energético.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Bolin, B., y otros (comp.) (1986), *The Greenhouse effect, Climatic Change and Ecosystems*, John Wiley.
- (2) Visconti, G. (1989), *L'atmosfera*, Garzanti.
- (3) Henderson-Sellers, A., y McGuffie, K. (1987), *A Climate Modelling Primer*, John Wiley.
- (4) Ausubel, J. H., y otros (1988), «Carbon Dioxide Emissions in a Methane Economy», *Climatic Change*, 12, 245-263.
- (5) Angelini, A. M. (1974), *Utilisation des Ressources Hydrauliques Encore Disponibles dans le Monde*, 9ème Conférence Mondiale de l'Energie, Detroit, septiembre 1974.
- (6) Marchetti, C. (1988), *How to solve the CO<sub>2</sub> Problem Without Tears*, 7th World Hydrogen Conference, Moscú, septiembre.
- (7) Marchetti, C. (1977), «On Geoengineering and the CO<sub>2</sub> Problem», *Climatic Change*, 1, 59-68.
- (8) Marchetti, C. (1979), «Genetic Engineering and the Energy System: How to Make Ends Meet», *Technological Forecasting and Social Change*, 15, 79-86.
- (9) Hoyle, F. (1981), *Ice*, New English Library.