

Efecto de invernadero y cambio climático

El efecto de invernadero, anterior al hombre, hace la Tierra más habitable. Preocupa que su incremento como consecuencia de la actividad humana pueda producir consecuencias climáticas catastróficas. Aunque ello parece sumamente improbable, sería razonable adoptar medidas que sean beneficiosas tanto si hay cambio climático como si no lo hay.

Manuel Puigcerver *

El clima

EL esnobismo aliado con la ignorancia han impuesto la moda de decir *clima* cuando se debería decir *tiempo* («el espantoso clima» en los Dolomitas, en la Vuelta a Italia; «las condiciones climatológicas» que deslucieron un partido de fútbol, etc.). Pero el clima es otra cosa: nada más y nada menos que la respuesta del sistema

* Doctor en Ciencias Físicas, antiguo catedrático de Física de la Atmósfera de la Universidad de Barcelona. Miembro de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.

Tierra-atmósfera al estímulo de la radiación solar y a la manera como ésta es aprovechada por cada elemento de dicho sistema. Se manifiesta como el estado medio de la atmósfera en un lugar dado, caracterizado por las propiedades estadísticas (valores medios, extremos y desviaciones típicas, frecuencia de fluctuaciones entre límites preestablecidos y frecuencia de situaciones meterológicas junto con los valores ligados a ellas) de las variables meterológicas —presión, temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, nubosidad, insolación, etc.— durante un intervalo de tiempo suficientemente largo, de treinta a cuarenta años.

Pero tan erróneo como hablar de clima para referirse a variaciones de algunas horas de duración sería pensar que el clima es rigurosamente invariable. No lo es ni lo ha sido nunca, si bien en el pasado las variaciones habían sido lentas. La fig. 1 muestra esquemáticamente la variación de la temperatura media global durante los pasados 900.000 años. Se pueden apreciar diversas glaciaciones de duraciones varias, en las cuales la temperatura media disminuía de 5 a 10° C respecto a las medias del último milenio. Intercaladas entre ellas hubo épocas templadas con temperaturas de dos a tres grados por encima de la actual. La máxima intensidad de la última glaciación se dio probablemente entre 25.000 y 18.000 años atrás, con un enfriamiento de 10 a 11° C; el nivel del mar pudo descender unos 100 metros. Ocho mil años atrás se había prácticamente

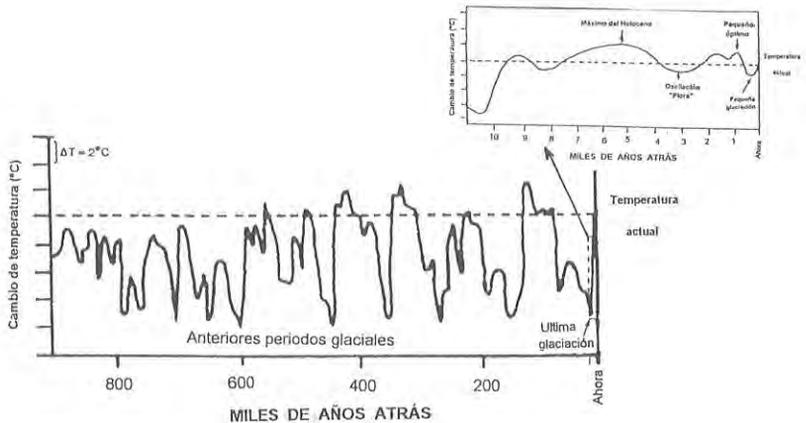


FIGURA 1

acabado la última glaciación, de la que quedan como recuerdos los casquetes de hielo de Groelandia y la Antártida.

Se inicia después el calentamiento típico del actual Holoceno, dentro del cual, sin embargo, se pueden hallar pequeñas glaciaciones intercaladas con períodos templados: así, durante el «óptimo climático», entre 7.000 y 4.000 años a. C., la temperatura media global oscilaba entre 17 y 18° C, pero durante la llamada «oscilación Piora», entre 1.500 y 1.300 años a. C., bajó hasta 12-13° C. Aníbal pudo atravesar los Pirineos y los Alpes con elefantes, indicación de que en el Sur de Europa, entre 400 y 500 años a. C., debían crecer las altas hierbas, propias de clima tropical, de las que se alimentan. Entre los siglos XI y XIII de la era cristiana tuvo lugar el «pequeño óptimo climático», nuevo período excepcionalmente templado (en el que los vikingos establecieron colonias en Groenlandia y en el Canadá), mientras que la «pequeña edad glacial», con inviernos extremadamente duros comparados con los actuales, afectó al hemisferio Norte entre los siglos XV y XVIII o XIX, según la latitud.

El efecto de invernadero

AHORA bien, cuando se piensa hoy en cambio climático, la gente suele asociarlo al llamado «efecto invernadero». Para entender qué es este efecto (1), comencemos por examinar el espectro de la radiación que nos llega del Sol, llamada habitualmente «radiación solar». Abarca longitudes de onda entre 0,15 y 5,0 μm , y en él se distinguen diversas zonas: la ultravioleta desde 0,15 hasta 0,4 μm ; la región visible entre 0,4 y 0,74 μm (el máximo de la curva de radiación solar se halla a 0,5 μm , en el verde, donde la sensibilidad del ojo humano es máxima); y el infrarrojo de 0,74 hasta 5 μm . La radiación solar, pues, tiene una proporción sustancial en el infrarrojo próximo.

Ninguno de los gases que componen la atmósfera limpia tiene bandas de absorción apreciables en el dominio de la radiación solar, así que ésta atraviesa la atmósfera prácticamente sin sufrir absorción. Sí hay, en cambio, difusión molecular (de Rayleigh), así como absorción, reflexión y dispersión en las nubes y aerosoles y también hay reflexión en la superfi-

(1) El efecto de invernadero se expone de forma razonablemente rigurosa en J. T. Houghton: *The Physics of Atmospheres*, Cambridge U.P., 1977.

cie de la Tierra. En resumen, aproximadamente el 46 por 100 de la radiación solar incidente sobre la hipotética cima de la atmósfera llega al suelo y es absorbida por éste.

Importa ahora puntualizar el proceso siguiente, que muchos confunden erróneamente con una reflexión. Ésta es un cambio de la dirección de propagación de un haz radiante cuando incide sobre una superficie lisa, sin variación de la longitud de onda. Pero en nuestro caso ocurre que, al absorber la radiación solar, el suelo se calienta y, de acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann, emite energía radiante proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Como la temperatura media global de la Tierra es de unos 15° C (en contraste con los aproximadamente 6.000 del Sol), la emisión tiene lugar en la banda llamada de radiación terrestre, infrarroja o nocturna (longitudes de onda entre unos 4 μm —en el límite superior de la radiación solar— y unos 80 μm). La curva de radiación terrestre es esencialmente una curva de emisión de Planck y conforme a la ley de Wien (2), tiene un máximo hacia los 10 μm (fig. 2).

El punto crucial de la cuestión es que, mientras en el dominio de la radiación solar ningún gas atmosférico absorbía, en el infrarrojo sí hay gases que lo hacen: el ozono (O_3), el vapor de agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2). Prescindiremos del primero porque su concentración máxima, bajísima, se da en la atmósfera y apenas contribuye al efecto de invernadero.

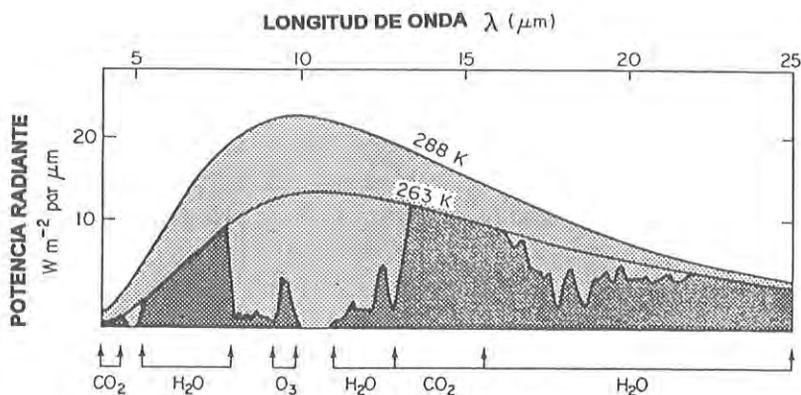


FIGURA 2

(2) La ley de Wien establece que la longitud de onda del máximo de emisión, λ_m , es inversamente proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo emisor.

El vapor de agua tiene tres bandas de absorción, todas de cierta anchura, de las cuales la más importante está centrada hacia los $25 \mu\text{m}$. El dióxido de carbono tiene también tres bandas de las que la más importante, llamada «de $15 \mu\text{m}$ », va desde $13,5 \mu\text{m}$ hasta más de $18 \mu\text{m}$. Ambos son componentes naturales de la atmósfera, si bien sus concentraciones son muy bajas frente a las del N_2 y O_2 : la del CO_2 es en la actualidad del orden de 0,035 por 100, es decir, 350 partes por millón (3). La concentración del vapor de agua es variable pero siempre pequeña: aproximadamente el 3,8 por 100 correspondería a atmósfera saturada, lo que sólo ocurre localmente y durante cortos períodos de tiempo.

La fig. 2 ilustra el efecto de la absorción de radiación infrarroja por estos gases. La curva superior es la de emisión del planeta Tierra, considerado como cuerpo negro a su temperatura media de 288 K (15° C). El área comprendida entre esta curva y el eje de abscisas representa la energía emitida por el planeta, que se perdería en el espacio si no tuviera atmósfera. La curva inferior es la emisión de la atmósfera a una temperatura media de 263 K (-10° C), que a efectos de balance radiactivo es muy próxima a la real. Gran parte de la energía radiante emitida por la Tierra es absorbida por los gases atmosféricos antes mencionados (señalados en la fig. 2), los cuales reemiten en el infrarrojo y la parte que va hacia abajo es absorbida por la Tierra, reemitida hacia arriba, nuevamente absorbida y por los gases y reemitida, y así sucesivamente; se llega a establecer un equilibrio de radiación en virtud del cual la energía correspondiente al sombreado más oscuro queda aprisionada entre la atmósfera y la Tierra en lugar de perderse en el espacio. Esto es semejante (aunque no idéntico) a lo que hacen los invernaderos y de ahí el nombre del efecto. Observemos, no obstante, que en la región entre $8,5$ y $11 \mu\text{m}$ (llamada *ventana del infrarrojo*), prácticamente toda la energía emitida se pierde en el espacio.

El efecto de invernadero no es, pues, sino la retención parcial de la radiación infrarroja emitida por la Tierra y la atmósfera a causa de la presencia en ésta de ciertos gases, lo que hace el planeta más cálido de lo que sería si aquellos no existiesen (4). Estableciendo el balance entre la energía ra-

(3) Las concentraciones de los gases traza no se expresan en tanto por ciento en volumen, lo que daría cifras tan incómodas como, por ejemplo, 0,0001%; para evitarlo, se multiplica el tanto por cien en volumen por 10^4 , con lo que queda automáticamente expresada en cm^3 de gas por m^3 de aire, es decir, partes por millón o, abreviadamente, ppm.

(4) Cosa ya observada en 1896 por el químico sueco A.S. Arrhenius, probablemente conocido del lector por ser el autor de la teoría de la disociación electrolítica.

diante procedente del sol que es absorbida por el planeta y la infrarroja emitida por éste en ausencia de atmósfera, se puede mostrar que la temperatura media del planeta debería ser de unos -18°C . En realidad es de $+15^{\circ}\text{C}$: el efecto de invernadero, pues, importa 33 K y hace agradable el clima terrestre.

Hay que señalar —y casi nunca se hace con la debida claridad— que la principal contribución al efecto, estimada en un 80 por 100, es la del vapor de agua. Pero su concentración en la atmósfera no aumenta y por eso casi ni se menciona.

Un problema moderno: la acumulación de gases de invernadero

HASTA ahora nada nuevo se ha dicho. El efecto de invernadero se conoce razonablemente bien desde comienzos de siglo; es completamente natural, es debido a gases que ya formaban parte de la composición de la atmósfera limpia y ha estado actuando durante millones de años. ¿Por qué, entonces, la actual preocupación, a veces casi histórica, en torno a él?

La respuesta es que hay una confusión. Es evidente que no hay motivo para asustarse ante un efecto que, además de ser más antiguo que el hombre, nos ha proporcionado un planeta de clima comfortable. Pero se ha confundido el efecto de invernadero con su posible incremento artificial; y para sospechar éste hay buenas razones. La primera es que el contenido atmosférico de algunos gases de invernadero (CO_2 , CH_4 y otros; no el vapor de agua, sin embargo) está aumentando. La segunda es que lo hace por culpa del hombre; y entre esos «otros» gases los hay que ya no son naturales, sino también consecuencia de la actividad humana.

En efecto, desde que, durante el Año Geofísico Internacional (junio 1957-diciembre 1958), se inició la vigilancia del contenido de gases traza en la atmósfera (se instaló un equipo en Manua Loa, islas Hawai, y otro en la estación Amundsen-Scott, en el Polo Sur), la concentración media de CO_2 (fig. 3) ha pasado de 315 ppm en 1958 a 352 ppm ahora, aparte de los dientes de sierra consecuencia de las variaciones estacionales de la fotosíntesis. Ha subido, pues, 37 partes por millón (un 10,5 por 100) en tres decenios y medio. Pero, además, analizando las burbujas de aire aprisionadas en testigos de hielo extraídos del casquete de Groenlandia, de

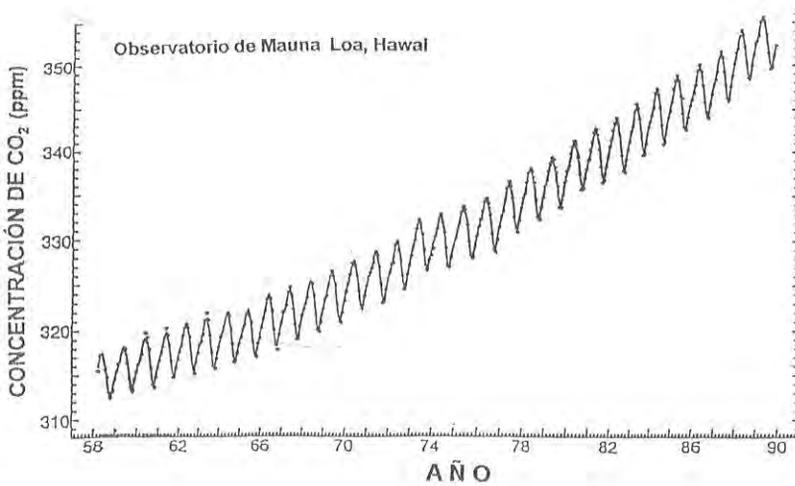


FIGURA 3

Siberia, de la Antártida y de otros lugares, se ha estimado el contenido de CO₂ al comienzo de la revolución industrial, hacia 1850-60, en unas 280 partes por millón. Por tanto, ha aumentado desde entonces en un 25 por 100.

Estimas del aumento de temperatura: incertidumbres

PUESTO que el dióxido de carbono contribuye al efecto de invernadero, si su concentración aumenta, se podría esperar una intensificación de dicho efecto con el consiguiente aumento de la temperatura media del planeta. Si, como todo indica, lo mismo ocurre con otros gases de invernadero, el incremento de aquélla debe ser aún más patente (5).

Para estimar la cuantía de este aumento, casi el único instrumento a nuestro alcance es la simulación mediante modelos teóricos del comportamiento de la atmósfera, que permiten calcular la temperatura de equilibrio del planeta bajo ciertas hipótesis: generalmente, que la concen-

(5) Este razonamiento había sido ya anticipado en 1938 por el Prof. H. L. Callendar, de Cambridge.

tración de vapor de agua permanece constante, pero se duplica la de CO_2 , lo que podría suceder entre el año 2030 y el 2070. Los primeros modelos, sencillos y toscos, daban aumentos de temperatura tan discrepantes como $0,5^\circ\text{C}$ y $9,5^\circ\text{C}$. Poco a poco se fueron refinando; ahora hay algunos muy complicados y bastante fiables. Sus respuestas no son del todo concordes, pero el margen de desacuerdo es menor: los pronósticos del aumento de temperatura media global varían de $1,5$ hasta 5°C . Las mejores estimas se cree son de $2,5^\circ\text{C}$ para doble contenido de CO_2 y 3°C hacia el año 2086. No parece alarmante; pero entre el último período glacial y el presente, la temperatura media global ha aumentado sólo en 5 a 7K : una variación de 2 a 4°C no es pues despreciable. Y conste que sólo hemos contado el CO_2 , prescindiendo del resto de los gases de invernadero.

En efecto, además del vapor de agua, hay otros que hacen el mismo papel y que, fuera del metano CH_4 (del que siempre ha habido una pequeña proporción, pero está aumentando muy rápidamente sin que se sepa bien por qué), son artificiales, es decir, no existían originariamente en la atmósfera. Entre éstos merecen mención los halocarburos (frecuentemente llamados, traduciendo mal del inglés, *clorofluorcarbonos* o *clorofluorcarbonados*). Descubiertos hacia los años 50, son químicamente inertes, inocuos, incombustibles y no explosivos, y por tanto ideales para muchas aplicaciones industriales. Pero su falta de reactividad que tan útiles los hacía, los convierte ahora en villanos, porque se acumulan en la atmósfera, y al cabo de tal vez 20 ó 25 años llegan a la estratosfera y la circulación los dispersa hacia las regiones polares donde producen empobrecimiento de ozono estratosférico en la primavera austral: el expresivo pero incorrectamente llamado agujero de ozono (6). Pero ésta es otra cuestión. Lo que interesa aquí es que las concentraciones del metano, de los halocarburos y de los óxidos de nitrógeno están aumentando y todos ellos tienen bandas de absorción pequeñas pero situadas en la ventana del infrarrojo (fig. 2). Cualquier gas que absorba aquí contribuye apreciablemente al calentamiento.

Prescindiendo de momento de ellos y limitándonos al CO_2 , volvamos a los resultados de los modelos. Prácticamente todos coinciden en que el aumento de temperatura será mayor en latitudes altas (en algunos

(6) Este tema está muy bien tratado en castellano en J. Cacho y M.ª J. Sainz de Aja: *Antártida: El agujero de ozono*. Tabapress, Madrid 1989.

modelos, tres veces el aumento medio) mientras que en los trópicos el calentamiento sería mínimo o nulo. Discrepan, sin embargo, en la distribución de las variaciones de temperatura y humedad medias regionales, continentales, marítimas, de un continente a otro, etc., y también en la redistribución de las lluvias consecuencia de aquéllas.

Ahora bien, tanto los modelos como los resultados presentan algunos puntos débiles:

1) Los océanos, cuyo papel es sin duda sustancial en el balance de energía del sistema tierra-atmósfera, están toscamente representados en los modelos: en alguno, mediante un estanque de 50 metros de profundidad, sin circulación. Otros más modernos usan versiones sencillas de circulación e intercambio de calor entre mares, tierra y aire, pero éste es claramente un punto pendiente.

2) Otro defecto es el supuesto de que la concentración de CO_2 se duplica de repente: en la atmósfera hay una acumulación gradual y por tanto es de esperar que la temperatura vaya subiendo lenta y continuamente. La respuesta transitoria de los modelos (que corresponde al aumento continuado del CO_2 antes de alcanzar la temperatura de equilibrio), poco estudiada aún, es no obstante crucial.

3) Como se quiere obtener el clima, que es el tiempo a largo plazo, se ha de hacer correr el modelo para simular unos 50 a 100 años, lo que supone meses de cálculo en un superordenador. Pocos grupos de investigación en el mundo (no más de diez) tienen los medios para realizar tales experimentos. La modesta concordancia reseñada es, por tanto, poco significativa: si hubiese 25 ó 30 grupos y se mantuviera el acuerdo, quedaríamos mucho más tranquilos.

El margen de aumento de temperatura está, pues, precariamente delimitado.

Comparación con los datos

AHORA bien, si el invernadero intensificado comenzó mediado el siglo pasado, ha estado actuando ya casi siglo y medio; sus efectos deberían ser observables. Para dilucidarlo, la Unidad de Investigación Climática (UIC) de la Universidad de Anglia Oriental, Reino Unido, emprendió una investigación que ha durado 10 años en la cual se ha hecho una criba de todas las observaciones disponi-

bles y fidedignas de temperatura en el planeta desde 1861. Los resultados (7) indican que de 1861 a 1984, el aumento de la temperatura media global a duras penas alcanza 0,5° C. Para comparar este resultado con los de los modelos teóricos, se hace correr el modelo con un contenido de CO₂ de 280 partes por millón (la de mediados del siglo pasado), se repite después con la concentración actual (352 ppm) y se obtiene la diferencia entre ambas temperaturas. Usando varios modelos, resulta que el planeta se debería haber calentado entre 0,5 y 1,3° C. La concordancia con el resultado de la UIC es sólo marginal y por tanto insatisfactoria.

Además, el incremento del efecto de invernadero sugiere un aumento gradual, lento y continuo de la temperatura; lo hallado por la UIC es que el calentamiento fue rápido entre 1920 y 1940, hubo un pequeño enfriamiento entre 1940 y 1970 y nuevo calentamiento ahora. Por otra parte, J. C. Rogers ha hecho lo mismo para el Ártico (Canadá, Groelandia, Escandinavia y Norte de la antigua URSS) desde el comienzo del siglo. Halla que en lugar de calentarse, como correspondería según todos los modelos, se ha enfriado del orden de 0,3° C en los últimos 30 años. Tampoco aquí concuerdan datos y teoría.

Un último punto: en el hemisferio Sur, cuya proporción de océanos y mares es mucho mayor que la del hemisferio Norte, el calentamiento debería de ser más lento debido a la inercia térmica marina. Contrariamente, se halla que el hemisferio Sur se está calentando más rápidamente que el Norte.

No obstante, la comparación de las predicciones de los modelos con el aumento de temperatura observado es hasta cierto punto engañosa, porque los cálculos se hacen como si el aumento de temperatura se debiera sólo al incremento de concentración del CO₂ y ésta se duplicase de golpe. Pero en la realidad, la variación de temperatura observada es el resultado de múltiples procesos simultáneos que en algunos casos se compensan: ha habido aumento del contenido del CO₂ y de otros gases de

(7) He aquí la lista de las principales publicaciones:

Jones, P. D., S. C. B. Raper, R. S. Bradley, H. F. Diaz, P. M. Kelly y T. M. L. Wigley, 1986a: «Northern Hemisphere surface air temperature variations, 1851-1984». *J. Climate Appl. Meteorol.* 25, 161-179.

Jones, P. D., S. C. B. Raper y T. M. L. Wigley, 1986b: «Southern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984». *J. Climate Appl. Meteorol.*, 25, 1213-1230.

Jones, P. D., T. M. L. Wigley y P. B. Wright, 1988: «Global temperature variations between 1861 and 1984». *Nature*, 322, 430-434.

Jones, P. D., 1988: «Hemispheric surface air temperature variations: Recent trends and an update to 1987». *J. Climate*, 1, 654-660.

invernadero, pero también ha habido erupciones volcánicas (emisiones de gases y cenizas) e incremento del aerosol antropogénico, particularmente de sulfatos, que actúan en sentido contrario al efecto de invernadero.

La incertidumbre, pues, subsiste hasta el punto de que algunos investigadores prestigiosos (8) han puesto en duda si el aumento de concentración de un gas traza como el CO₂ puede realmente producir efectos discernibles.

Posibles consecuencias y medidas a adoptar

LA situación es, pues, sobremanera incómoda. Si se tratase sólo de una cuestión académica, sería prudente esperar un par de decenios para dilucidarla. Pero no es así y es preciso establecer una hipótesis de trabajo. Parece razonable esperar un calentamiento lento, aunque no conocemos su cuantía ni cuándo comenzará ni siquiera si ha comenzado ya.

Estas incertidumbres han dado lugar a versiones catastrofistas de las consecuencias, desde la asfixia por exceso de CO₂ hasta inundaciones generalizadas que sumergirían un tercio de las tierras habitables. De la primera no vale la pena hablar.

La segunda tiene más sentido. En efecto, un calentamiento global de 5° C conduciría a una subida del nivel del mar de un 1,5 m sólo por efecto de la dilatación. Se habla también de la fusión de los hielos, que sí merece atención, pues gran parte de las tierras bajas podrían quedar inundadas.

El riesgo, no obstante, no es inmediato. Por una parte, debido a la gran inercia térmica del mar, el efecto de la dilatación tardaría unos diez años en observarse. En cuanto a los hielos, todos los importantes del hemisferio norte, excepto el casquete de Groenlandia, son marinos, y su fusión no comportaría aumento del nivel del mar (contrariamente, una ligera disminución). Además, los hielos marinos se fundirían gradualmente y tardarían quizá entre algunos decenios y un siglo en hacerlo. La

(8) Ellsaesser, H. W., 1984: «The climatic effect of CO₂: A different view». *Atmospheric Environ.*, 18, 431-434.

Lindzen, R. S., 1990: «Some coolness concerning global warming». *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71, 3, 288-299.

fusión de las enormes capas de hielo groenlandesa y antártica, si se llegase a producir, podría tardar de dos a varios siglos. Pero todo ello debe tenerse en cuenta.

Hay, sin embargo, un problema quizá más grave y del que apenas se ha hablado. Con todas las incertidumbres señaladas, varios modelos, entre ellos el muy citado de Manabe y Wetherald, predicen un clima más seco en las grandes llanuras de los EE.UU., y Sur del Canadá, regiones que son el granero del mundo. Una disminución de sólo un 10 por 100 de las cosechas podría acabar con el superávit disponible para los pueblos que ahora viven al borde de la inanición en todo el planeta. Y esto sí que sería una catástrofe de proporciones globales.

Ante esta situación, cabe preguntarse qué se puede y debe hacer. Casi simultánea pero independientemente, White y Schneider (9) han hecho una propuesta llena de sentido común: adoptar inmediatamente medidas que no supongan un dispendio insostenible y sean beneficiosas tanto si hay cambio climático como si no lo hay. Algunas parecen ser impopulares, pero no parece haber opción. En esencia, se trataría de:

1) Acabar con el actual despilfarro energético: mal aislamiento térmico de los edificios, bajo rendimiento de los centros de producción, transformación y transporte de la energía y de las instalaciones industriales, transporte ineficaz, etc. La mejora del rendimiento energético comportaría una reducción de las emisiones de CO₂, de la contaminación atmosférica, de la lluvia ácida y encima mejoraría la balanza de pagos de los países importadores, con o sin cambio climático.

2) Reducir cuanto se pueda las emisiones de gases de invernadero:

i) Habría que proibir por completo los halocarburos: ya hay un acuerdo internacional, aunque tímido y por otra razón; el problema aquí es hallar otros gases que, haciendo el mismo trabajo, no perjudiquen a la atmósfera.

ii) Reducir la emisiones de CO₂ supone quemar menos combustibles y sustituir cada vez más el carbón y el petróleo por el gas natural, que, no obstante, planteará al cabo de algunos años el problema del exceso de óxidos de nitrógeno.

iii) Habría que estimular la investigación y el uso, hasta donde sea

(9) White, R. M., 1990: «El gran debate sobre el clima», *Investigación y Ciencia*, 168, 4-12.

Schneider, S. H., 1990: «The global warming debate heats up: An analysis and perspective», *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71, 9, 1292-1304.

posible, de energías renovables: solar, eólica, geotérmica, etc. Como son energías dispersas, difícilmente podrán suministrar más del 15 por 100 de la demanda energética.

iv) Y un punto tabú en nuestro país que debe mencionarse: es posible que no haya más remedio que reconsiderar el parón nuclear, pues la aversión popular no basta para resolver los problemas. Se debería estimular la investigación en este campo para lograr una energía nuclear aceptable y económicamente factible. Obsérvese, no obstante, que no existe tecnología absolutamente segura y debe aceptarse un porcentaje de riesgo como se hace, por ejemplo, al viajar en autobús o en avión.

3) Detener la deforestación, pese a la dificultad de lograrlo; habría que mejorar los cultivos, empleando las variedades más resistentes a las variaciones de temperatura, a la sequía o al exceso de lluvia; y abordar frontalmente problemas tales como una gestión razonable y realista de las aguas, incluso invirtiendo grandes cantidades en las obras necesarias: aunque no hubiera cambio climático, nada se perdería, pues es seguro que seguirá habiendo años excepcionalmente lluviosos y sequías.

4) Evidentemente, hay que continuar vigilando el curso de la temperatura media global y se ha de proseguir y estimular la investigación sobre modelos climáticos para tratar de eliminar las incertidumbres. Ahora que el efecto de invernadero ha pasado a primera plana, esto parece asegurado; pero en realidad, continúa siendo difícil conseguir los medios económicos y materiales necesarios para llevar a cabo estos trabajos.

Finalmente, es importante no hacerse demasiadas ilusiones. Bueno será poner en marcha estas medidas, pero es prácticamente imposible resolver por completo el problema. La población mundial crece y con ella la demanda energética; es improbable que se pueda siquiera mantener el contenido de CO₂ al nivel actual. Esto parece ahora una tarea a largo plazo, pero la atmósfera nos podría sorprender una vez más demostrando que, por el contrario, es urgente. Por otra parte, la cuestión de las medidas a adoptar ya no es científica, sino política y social, y no hay que esperar demasiada cooperación, porque a nadie satisface prescindir de cosas a las que estamos habituados y vivir peor que ahora. Pese a todo, es obligado tratar de lograr un compromiso entre un descenso modesto del nivel de vida en los países desarrollados y un mayor cuidado en la preservación de las condiciones de habitabilidad del planeta.