

CERTEZAS E INCERTIDUMBRES SOBRE LA HIPÓTESIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO POR EFECTO INVERNADERO Y SUS POSIBLES CONSECUENCIAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Manuel Toharia Cortés
Jorge Olcina Cantos
Antonio M. Rico Amorós

«Este movimiento de las galaxias, llamado expansión del universo, se ha confirmado hasta en decenas de miles de kilómetros por segundo. Según la teoría de la relatividad general de Einstein, esta expansión implica un enfriamiento progresivo del universo...el universo no es estático, se enfría y enrarece.»

H. Reeves et alii «*La historia más bella del mundo*»

RESUMEN

Los estudios sobre el cambio climático están acaparando las investigaciones de tiempo y clima en los últimos años. A las investigaciones científicas bien fundadas encaminadas a demostrar la veracidad de la actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero y sus efectos en el medio terrestre se han sumado posturas arribistas que están convirtiendo lo que debería ser un debate científico en un vehículo de propaganda de discursos «verdes» carentes, en la mayoría de casos, de base científica. Es necesario hacer revisión de las certezas e incertidumbres que acompañan la hipótesis de cambio climático para ponderar los posibles efectos que, de confirmarse, podría tener este proceso en las tierras ibéricas.

Palabras clave: cambio climático, efecto invernadero, «agujero» de ozono, evolución histórica del clima terrestre, desertización.

ABSTRACT

Studies on climatic change have been dominating the time and climatic research in recent years. Findings of several studies have proven that there are definite links between climatic change and the «greenhouse effect». To these, have been added upstart opinions which lack scientific basis and are being used as a propaganda instrument by environmentalists in campaigns to gain more support. It is necessary to review the certainties and uncertainties which accompany the climatic change hypothesis in order to

consider the possible effects that the Iberian Peninsula could undergo, if the hypothesis is confirmed.

Key words: climatic change, greenhouse effect, ozone «hole», historic evolution of terrestrial climate, desertification.

1. La difusión del cambio climático

a) *Calentamiento y «efecto infernadero»*

En los últimos años los asuntos del tiempo y del clima han despertado un interés inusitado en la comunidad científica y también en la opinión pública. La frecuente aparición de noticias sobre el cambio climático en los medios informativos ha sensibilizado, sobremanera, a la sociedad, haciendo trascender a la esfera pública diversas hipótesis de trabajo cuyo análisis y difusión debería corresponder, en el momento presente, a laboratorios, centros de investigación y departamentos universitarios. Algunos investigadores han encontrado en el «cambio climático» y sus supuestos efectos derivados un campo de investigación con unas posibilidades científicas y económicas impensables hace unos años. Lo primero, es decir, la comprobación de hipótesis de trabajo es loable; lo segundo, el interés crematístico, quizá pudiera cuestionar el rigor de las investigaciones. Lo cierto es que los resultados son patentes: la producción literaria de este tema es, hoy día, enorme; una simple ojeada a los escaparates de las librerías permite darse cuenta de los abundantísimos libros editados, con título tan sugerente como «Cambio global», «Planetas amenazados», «Atmósferas en peligro», etc.

Cualquier episodio meteorológico de rango extraordinario parece ser ahora efecto exclusivo del cambio climático y del agujero de ozono, aspectos a los que se ha unido, entre el verano de 1997 y abril de 1998, el fenómeno «El Niño» del Pacífico meridional, que se tiene incluso como un resultado más del cambio climático. Por mencionar ejemplos recientes, las graves inundaciones de Somalia y Kenia a mediados de noviembre y comienzos de diciembre de 1997 fueron justificadas por no pocos medios de comunicación como consecuencia del cambio climático. El huracán «Paulina» en octubre y las nevadas de diciembre de dicho año en México se explicaron como efecto directo de «El Niño». Los desprendimientos de icebergs en los inlandsis árticos y antárticos, aunque se produzcan de forma natural en el verano del hemisferio correspondiente, se explican también como producto de agujero de ozono y del calentamiento global...

En tierras ibéricas, la normalidad climática, es decir, la sucesión de situaciones atmosféricas características de las distintas estaciones del año salpicadas, en ocasiones, por la génesis de algún episodio atmosférico excepcional (heladas, olas de calor, lluvias torrenciales, temporales de viento), se ha vuelto también anormalidad. Así, si acontece una helada tardía (abril de 1995) es por el cambio climático; idéntica filiación se establece si se producen unos días de calor intenso en verano (julio y agosto de 1994); la sucesión de días de tormenta de los meses de julio y agosto de 1997 son indicio obvio de dicho proceso; las inundaciones en Alicante y Badajoz del otoño de 1997 se explican también por el susodicho cambio. La aguda sequía que padeció España entre 1993 y 1995 fue, según se nos decía, otro prueba del cambio climático, y el otoño muy lluvioso de 1997 se justificó asimismo por el mencionado proceso. En este final de milenio todo parece apuntar, según

algunos, a que estamos ya insertos en un proceso sin retorno que sirve para justificar cualquier episodio atmosférico de rango extraordinario. El progresivo incremento térmico y sus consecuencias asociadas (en la Península Ibérica se habla de menor pluviosidad y de creciente «desertización») parecen ser el sino de nuestro planeta en los próximos decenios. El hombre habría transformado el efecto invernadero natural, que hace posible la vida en la Tierra, en un efecto «infernadero» con temperaturas en constante aumento debido a la continua emisión de determinados gases a la troposfera.

Igualmente reprochable resultan, por tanto, actitudes de defensa del «aquí no pasa nada» animadas por compañías petrolíferas y a las que se han prestado investigadores y divulgadores, que encuentra supuesto soporte científico en el llamado «manifiesto de Leipzig».

Cualquier postura racional en el estudio del medio debe considerar, obviamente, la reducción de los gases emitidos a la atmósfera por el hombre como una actitud de comportamiento irrenunciable, como exigencia social a los gobiernos. Schneider (1996) señala, —afirmación que compartimos—, que la «política preventiva» (reducción) en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero no puede esperar a que pasen los 20-30 años necesarios para resolver los aspectos científicos y técnicos que impiden un consenso científico sobre las proyecciones regionales del clima¹. Pero junto a ello es necesario no caer en actitudes dogmáticas y poner de manifiesto las relaciones reales entre contaminación atmosférica (emisión de gases) y cambio climático que, hoy en día, se difunde como realidad estrechamente solidaria en un debate escaso de racionalidad.

Un problema esencial al que se enfrenta la sociedad de nuestro tiempo, como acabamos de ver, es la necesaria reducción de gases invernadero originados por el consumo de combustibles fósiles, que son recursos naturales no renovables; por otro lado, resulta esencial la apuesta por otro tipo de energías menos contaminantes. No obstante, el debate social sobre este dilema se ha conducido por la vía del calentamiento global y, en cambio, es escasa o nula la información que reciben los ciudadanos sobre la situación en que se encuentra la explotación de hidrocarburos y los fuertes intereses económicos que gravitan sobre estos recursos.

A este estado de opinión han contribuido diversos colectivos. En lugar destacado, numerosos científicos de disciplinas ajenas a la meteorología y la climatología (economistas, juristas, sociólogos), quienes se han permitido adoctrinar sobre el cambio climático. En los últimos meses las librerías se han visto asaltadas por libros que, dedicados a analizar la legislación medioambiental, las bases de la economía sostenible o las sociedades del cambio global, incluyen juicios de valor sobre el cambio climático en el que, según sus autores, estaríamos ya inmersos, siguiendo las consignas de organismos internacionales o laboratorios de investigación que defienden la realidad de esta hipótesis.

Pero con ser grave esta intromisión de los no especialistas en una cuestión de investigación que desconocen de raíz, los más activos manipuladores de la difusión pública del cambio climático son ciertos ecologistas; de ecologismo mal entendido que, en este tema concreto, han devenido en un fundamentalismo donde el cambio climático es banderín de enganche para actualizar sus discursos y proporcionarles nuevos ingresos con la afiliación de ciudadanos mal informados de la realidad geográfica. Hay que ensalzar la labor de estos grupos ecologistas en otros campos de la defensa ambiental, pero en el caso concreto del cambio climático, sin unos mínimos conocimientos de circulación atmosférica general y de

1 SCHNEIDER, S.H. (1996) «La ciencia del modelamiento de climas y una perspectiva del debate sobre el calentamiento global», en *El calentamiento del planeta: informe de Greenpeace*, (Jeremy Leggett, dir.), edición española, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 53-75.

distribución de climas en el planeta, han apostado por el relato indiscriminado de todo tipo de catástrofes a las que la humanidad no escapará en un futuro próximo. Y lo peor es que este fundamentalismo ha conseguido, con los métodos del telepredicador a la americana, cautivar las conciencias de buena legión de personas sensibles a las cuestiones ambientales. El último «avance» en sus métodos de propaganda consiste en el amedrentamiento social bajo la amenaza de propagación de enfermedades tropicales hacia latitudes medias.

Asimismo, un buen número de periodistas, amantes del rótulo llamativo y fácil y seguidores de la consigna «*no dejes que la realidad estropee una buena noticia*», han bombardeado de forma sistemática a la sociedad, desde sus medios de comunicación, con informaciones de escasa base científica. Y, lo que es peor, han alzaprimado lo espectacular de sus informaciones sobre la necesidad deontológica de ofrecer noticias veraces y bien fundadas de cuestiones que desconocen.

Por último, la Administración «*medioambiental*» se ha entregado también a los mensajes sugerentes del cambio climático, privilegiando su estudio sobre otras cuestiones meteorológicas o climáticas de mayor repercusión inmediata para nuestra sociedad, como el propio conocimiento de la realidad climática de nuestras tierras y, en particular, los riesgos climáticos. Incluso estos últimos se justifican como consecuencia de aquél, ocultando intencionadamente la ausencia de medidas de ordenación territorial que mitiguen las acciones incorrectas llevadas a cabo por el hombre con olvido de la realidad de su espacio geográfico.

b) El «cambio climático» en el debate científico y su difusión social

En este estado de cosas parece oportuno conocer los hitos básicos de la difusión de las ideas sobre cambio climático, desde el precedente primero de los trabajos de Svante August Arrhenius a finales del siglo XIX. Este científico sueco en su trabajo *On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground* (1896), llamó la atención sobre el papel que la combustión masiva de combustibles fósiles tenía en el incremento de dióxido de carbono atmosférico. Según Arrhenius, este hecho incrementaría el «*efecto invernadero*» natural del sistema climático terrestre y, en definitiva, alteraría el equilibrio radiativo que, mediatizado por la química atmosférica, mantiene el planeta dentro de temperaturas de habitabilidad. Arrhenius calculó el coeficiente de absorción del CO₂ y del vapor de agua, así como el calor total que absorbería la atmósfera terrestre para diferentes concentraciones de dichos gases y los cambios correspondientes de temperatura. El científico sueco estimó un incremento térmico de 5° a 6°C para una concentración doble de CO₂ en la troposfera. No obstante, Arrhenius no otorgaba a la quema de combustibles fósiles la responsabilidad principal del aumento de CO₂ sino que, en su opinión, podría serlo el aumento de las erupciones volcánicas; por su parte, los efectos causados por el hombre no se notarían, según Arrhenius, hasta dentro de 3.000 años.

Pese a éste y a otros trabajos publicados por aquellas fechas, no sería hasta 1957-58 cuando la Organización Meteorológica Mundial, en el marco del Año Geofísico Internacional, empezó a coordinar medidas sistemáticas de la cambiante composición química de la atmósfera. Se hizo especial hincapié en las medidas del ozono estratosférico, no porque preocupase su disminución sino debido a que podía emplearse como trazador en la determinación de movimientos en la estratosfera. Asimismo, dieron comienzo las medidas de la concentración del dióxido de carbono en el observatorio de Mauna Loa, en el archipiélago de las Hawaii. Todo ello fue el embrión de la serie de programas de vigilancia atmosférica que se pondrían en marcha en el decenio de los setenta y, sobre todo, en los años ochenta.

En 1964 el gobierno norteamericano creó una comisión especial con objeto de estudiar el ciclo del carbono. La «*Task Force*», dirigida por Roger Revelle, presentó su informe un año después, destacándose en él la creciente interferencia del hombre en dicho ciclo. En la misma línea, G. Woodwell, en 1970, llamó la atención sobre la incidencia de los seres vivos en los sistemas climáticos.

A finales de los años sesenta, tras un decenio de mediciones en Mauna Loa, que confirmaban la tendencia al incremento del CO₂ en la troposfera, la Organización Meteorológica Mundial y la comunidad científica comenzaron a expresar su preocupación por los efectos que dicho aumento podría tener en el sistema climático.

No obstante este estado de cosas, a mediados del decenio de los setenta, en pleno desarrollo del Programa de Investigación Global de la Atmósfera de la OMM, la Unesco edita un interesante librito de divulgación sobre los avances y proyectos de futuro en las ciencias del tiempo y clima, donde el climatólogo británico Hubert H. Lamb (1974) señalaba que el estudio de series térmicas desde 1945, y de forma especialmente sensible, desde 1960, mostraba que la Tierra se estaba enfriando «*pese al aumento de la producción de anhídrido carbónico*». Lamb esbozaba las fluctuaciones experimentadas por el clima terrestre desde el final de la «pequeña Edad del Hielo»: entre 1880 y 1945, calentamiento en una proporción de 0,5°C para este intervalo, y entre 1945 y 1970, enfriamiento «*con aumento de la extensión de la zona de mayores perturbaciones ciclónicas en el interior del Ártico*». Este descenso térmico se explicaría, según Lamb, por la disminución gradual de la intensidad de los rayos solares comprobada desde 1945. El prestigioso climatólogo indicaba además los «cambios del clima» más importantes experimentados desde 1960: a) aumento del hielo de los mares árticos, lo que había creado dificultades en las rutas marítimas septentrionales; b) subida considerable del nivel de los Grandes Lagos de África oriental y América del Norte, por aumento de las precipitaciones en la región tropical y en latitudes medias-altas; y c) temperatura invernal extremada en varias partes del hemisferio norte. Lamb señalaba que el estudio histórico del clima «*indica que el calentamiento anterior tiene una muy larga historia...se inició antes de la revolución industrial y no cabe, por lo tanto, imputarlo a la actividad del hombre*».

Siguiendo estas ideas, la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia alertó, por esos años, a los poderes públicos sobre un posible tránsito rápido a una nueva glaciación.

En 1974, y como respuesta a la creciente demanda de explicación, por parte de los servicios meteorológicos nacionales, de ciertos episodios atmosféricos considerados inusuales (sequía devastadora en el Sahel, y episodio ENSO 1972-73 con precipitación monzónica inferior a lo normal en la India, entre otros), la OMM creó un Grupo de Expertos en Cambio Climático, dependiente directamente del Comité Ejecutivo.

La preocupación mundial por los temas medioambientales había quedado patente, dos años antes, con la celebración en Estocolmo de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, y la puesta en marcha del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Entonces las cuestiones relativas al cambio climático se centraron en el reconocimiento de que una industrialización creciente y basada en la explotación masiva de combustibles fósiles incrementaría claramente las concentraciones de dióxido de carbono en la troposfera, afectando igualmente a otros aspectos del medio ambiente como el transporte transfronterizo de la contaminación atmosférica.

En 1974, los científicos Sherwood Rowland y Mario Molina, que recibirían el Premio Nobel en 1995 por sus trabajos sobre el ozono, alertan sobre la posible destrucción del ozono estratosférico. En 1975, la OMM publica su primera declaración sobre Modificación

de la Capa de Ozono debida a actividades humanas. Un año después el satélite *Nimbus 7*, equipado con el radiómetro TOMS construido *ex profeso* para tal fin, detectó el «*agujero de ozono*» sobre la Antártida. En 1978, un nuevo informe de la OMM ponía de manifiesto que el deterioro de la capa de ozono se debía más a productos fabricados por el hombre (CFCs) que a los efectos de los residuos emitidos por los aviones supersónicos, como hasta entonces se había creído. En octubre de dicho año, y en el marco de un coloquio organizado en Niza por el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES), el climatólogo alemán H. Flohn alertó sobre los posibles efectos de la actividad humana sobre el sistema climático con una seria advertencia: «*Atención, el hombre está modificando el clima de un modo probablemente irreversible*».

El año 1978 marca, por lo demás, un hito dentro de las investigaciones de cambio climático puesto que, en el marco de la Conferencia Mundial del Clima, se acuerda crear el Programa Mundial del Clima. Desde la aprobación, en 1963, del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial, el Programa Mundial del Clima era la apuesta más ambiciosa de la Organización Meteorológica Mundial en su empeño de conseguir un mejor conocimiento del sistema climático planetario.

El Programa Mundial sobre Clima tenía como objetivos básicos la mejora de la comprensión de los procesos climáticos con el fin de acelerar la posible predicción meteorológica, la determinación de las causas y la medida de la influencia del hombre en el clima y la elaboración de «*escenarios*» y prospecciones climáticas.

El año 1985 es una fecha fundamental para los intentos de vigilancia del cambio climático y del «*agujero de ozono*». Por orden cronológico, en marzo se firma en Viena el Convenio para la Protección de la Capa de Ozono, por el que las partes se comprometían a tomar medidas adecuadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que pudieran derivarse de actividades humanas que modifican o pudieran modificar la capa de ozono. Referencia indispensable en relación con la vigilancia mundial del cambio climático es también el informe de la Conferencia celebrada en la localidad austríaca de Villach, en 1985. La Conferencia hizo suyo el informe sobre gases de efecto invernadero elaborado por el Instituto Meteorológico Internacional de Estocolmo, donde se indicaba que el efecto de forzamiento radiativo de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ podía compararse cuantitativamente con el efecto de éste. Ello significaba que el equivalente de una duplicación del CO₂ podía darse hacia la mitad del siglo XXI, en lugar de en sus años finales como sucedería de considerarse sólo los efectos del CO₂. En la Conferencia de Villach se convino que, de continuar la presente tendencia, en el año 2030 se duplicaría la presencia de gases de efecto invernadero en la troposfera terrestre, con la consiguiente repercusión en el ascenso de temperaturas (entre 1,5° y 4,5°C) y elevación del nivel del mar (entre 20 y 140 cm.).

Las medidas de vigilancia de la destrucción del ozono estratosférico encontraron su eslabón definitivo con la firma, en septiembre de 1987, del denominado Protocolo de Montreal por el que los países firmantes se comprometían, como objetivo final, a reducir a la mitad, en 1998, el consumo de CFCs y halones existente en 1986. Meses después de que se firmara este Protocolo, nuevas pruebas sobre la persistencia de los CFCs en la atmósfera pusieron de manifiesto la insuficiencia de las medidas acordadas. En junio de 1990, delegados de cien estados se reunieron en Londres (Enmienda de Londres) y acordaron acabar con el consumo y fabricación de CFCs y halones para el período 2000-2005, período que fue ampliado hasta el 2010-2015 para los países del Tercer Mundo. La OMM puso en marcha en 1990 el Sistema Mundial de Observación del Ozono.

Acuerdos tan concluyentes fueron posibles gracias a que la fabricación de CFCs y halones se halla concentrada en un reducido número de países y, sobre todo, porque el proceso de sustitución de los mismos no sólo no afectaba negativamente a la actividad ni a ningún interés estratégico sino que incluso favorecía a la industria concernida.

El cambio climático salta definitivamente a la opinión pública en 1987. En octubre de ese año el prestigioso semanario TIME publica un artículo sobre el calentamiento global y el agujero de ozono, y titula su portada con el expresivo aserto «*The Heat is On*». A partir de entonces una cuestión de investigación —en la práctica, una hipótesis de trabajo— pasa a ser tema recurrente en los medios de comunicación y slogan emblemático de agrupaciones ecologistas.

A comienzos de 1988 un grupo de países, encabezados por Estados Unidos, comenzaron a interesarse por las cuestiones de los gases invernadero y el cambio climático, conscientes de los graves efectos económicos que acarrearían cambios duraderos en las condiciones atmosféricas. Dichos gobiernos estimaron que se trataba de un tema demasiado importante para dejarlo, como hasta dicho momento, en manos de un grupo de científicos no gubernamentales, e instaron a las Naciones Unidas la creación de un organismo científico de evaluación del cambio climático que tuviera participación activa de los gobiernos. Así nació, bajo supervisión de la OMM, el Panel Intergubernamental de Expertos en el Cambio Climático, IPCC, que celebró su primera reunión en noviembre de 1988, en Ginebra, fijando un plazo de dos años para su primera evaluación del tema del cambio climático, en el marco de la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima.

Declaraciones oficiales y estudios científicos, generalmente norteamericanos, proliferaron durante los meses previos a la celebración de dicha Conferencia Mundial del Clima, celebrada en Ginebra, en octubre-noviembre de 1990. En ella se presentó el informe del IPCC conocido como el Primer Informe de Evaluación del Cambio Climático. La predicción básica del Grupo de Trabajo I del IPCC fue que, de continuar las condiciones actuales de emisión de gases de efecto invernadero, se podría esperar durante el siglo próximo una tasa de aumento de temperatura media mundial de 0,3°C por decenio, con un margen de incertidumbre de 0,2° a 0,5°C por decenio, es decir, «*mayor que la ocurrida durante los últimos 10.000 años*». Ciertamente, como señala Leggett², que el propio informe del IPCC dejaba la puerta abierta a que el calentamiento experimentado por el clima terrestre desde finales de los años setenta pudiese estar motivado tanto por las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero como por la «*variabilidad natural del clima*».

Las preocupantes proyecciones climáticas contenidas en este informe del IPCC, las protestas de grupos ecologistas y el llamamiento de algunos líderes políticos a la apertura de negociaciones para la firma de un convenio mundial sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático motivaron la convocatoria de un Comité Internacional de Negociación, bajo supervisión de las Naciones Unidas. Las reuniones de científicos y políticos culminaron en el llamado Convenio Marco del Cambio Climático, que fue firmado por más de 150 países en la segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, veinte años después de la primera de Estocolmo. El artículo 2 del Convenio señala que «*el objetivo último es conseguir estabilizar las concentraciones de gases de efectos invernadero en la atmósfera a un nivel que prevenga una peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático*». Ocioso es des-

² LEGGETT, J. (1996) «Índole de la amenaza de invernadero», en *El calentamiento del planeta: informe de Greenpeace*, (Jeremy Leggett, dir.), edición española, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 19-52.

tacar que, como ocurre en estos tratados internacionales, las propuestas contenidas no pasaban de ser una declaración de meras intenciones sin compromisos efectivos para los países firmantes.

Es por ello que en la primera reunión de la Conferencia de las Partes del Tratado sobre Cambios Climáticos, celebrada en Berlín en marzo de 1995, los países industrializados se comprometieron a establecer, en 1997, en Kyoto, un calendario de reducción de emisiones de gases invernadero más allá del año 2000. Frente a las propuestas de los grupos ecologistas, que abogaban por una reducción en las emisiones de dióxido de carbono, en el 2005, del 20% respecto a 1990, implantando además una «*ecotasa*» sobre las emisiones de gases invernadero, se impusieron las tesis de los países más industrializados (Alemania y Reino Unido) que defendían reducciones entre 5 y 10%.

En diciembre de ese mismo año 1995, el segundo informe del IPCC sobre el Cambio Climático, presentado en la reunión de Roma, identificó al hombre como responsable máximo del cambio climático. En la reunión de Roma se instó a los gobiernos de los países industrializados a que tomarán medidas eficaces de reducción de las emisiones de CO₂, puesto que el IPCC considera que es posible incrementar entre un 10 y 30% el rendimiento del consumo energético actual sin coste alguno para las economías nacionales. Entre otras medidas se recomendaba la mejora del rendimiento de equipos de calefacción, la disminución del tamaño de los automóviles y su menor uso. El informe estimaba un incremento medio de 2°C para el año 2100 y un aumento medio de 50 centímetros en el nivel del mar, de mantenerse el actual ritmo de emisiones de gases invernadero. Los expertos del IPCC reconocían que estos valores resultaban un 25% inferiores a los previstos en el primer informe de 1990.

Pese a estas recomendaciones, los países firmantes del Convenio Marco, reunidos en Ginebra en 1996, apenas consiguieron tímidos avances en la decisión de reducir las emisiones de los países industrializados.

Se llega así a la III Conferencia de las partes de la Convención del Clima, celebrada en Kyoto en diciembre de 1997, donde se habían concentrado amplias expectativas sobre la obtención de un gran acuerdo internacional de reducción de emisiones de «*gases invernadero*». Semanas antes de su celebración, el avance del nuevo informe del IPCC causaba alarma social al pronosticar la desaparición de un buen número de playas e islas de todo el mundo por efecto del deshielo de los casquetes polares provocado por el incremento térmico. En España se anunciaba la pérdida de playas en el litoral mediterráneo y la desaparición de los espacios naturales de Doñana, La Albufera y el Delta del Ebro, además de insistir en el peligro de que «*Andalucía se convierta en un desierto*» (sic).

En cambio, poco o nada trascendió a los medios de comunicación del debate científico del encuentro de Kyoto, y sí de las discusiones de los responsables políticos y de los grupos ecologistas en el mercadeo de disminución de emisiones. El resultado, reflejado en el documento final, elaborado *in extremis*, supone la reducción de emisiones de «*gases invernadero*» en una media mundial del 5,2% sobre los niveles de 1990, correspondiendo el mayor esfuerzo a la Unión Europea, Suiza y países del centro y este de Europa, que se comprometían a reducir emisiones un 8% respecto a los niveles de 1990. Quedaba para la cumbre de Buenos Aires de 1999 el debate sobre el comercio de emisiones planteados por los países en desarrollo (G-77) y China.

En Kyoto quedó patente, de nuevo, la cruda realidad: la reticencia de los países industrializados a asumir reducciones en sus emisiones de gases de efecto invernadero, y la falta de adaptación de los planes energéticos nacionales a las intenciones de las sucesivas reu-

niones del Convenio sobre Cambio Climático. En España, por ejemplo, el Plan Energético Nacional en vigor prevé un incremento del 45% en las emisiones del CO₂. También salieron a flote las reclamaciones de los países en vías de desarrollo, que no quieren ver hipotecado su futuro crecimiento económico con la firma de protocolos que únicamente consideran la reducción de emisiones de CO₂, y, en definitiva, el escaso interés de las grandes potencias en modificar sus pautas energéticas actuales como exigiría un cumplimiento eficaz de tratados y convenios.

Muestra de ello son las encontradas opiniones manifestadas por los ministros de medio ambiente de la Unión Europea el pasado mes de junio de 1998, en la reunión para fijar el nivel de emisiones de gases invernadero en cumplimiento de lo acordado en el protocolo de Kioto. El resultado de las discusiones permite, sorprendentemente, a España Portugal, Grecia e Irlanda incrementando sus emisiones.

Entre las políticas internacionales sobre el cambio climático y el «*agujero de ozono*», únicamente estas últimas parecen haber tenido éxito mundial. De hecho, en mayo de 1996 la revista *Science* editaba un estudio de la NOAA estadounidense que señalaba la regeneración apreciada en los niveles de ozono en la estratosfera, como resultado del alto grado de cumplimiento de las medidas acordadas en el Protocolo de Montreal de 1987, que prohibía la fabricación de CFCs a partir de 1996. Sin embargo, hubo científicos que, atribuyendo la anterior disminución del ozono estratosférico a causas naturales, habían pronosticado este aumento de los niveles de ozono en la estratosfera antártica en relación con la menor actividad solar registrada.

Hasta aquí la postura oficial sobre el cambio climático y su calado social. Pero hay numerosas voces discordantes, tanto con el alarmismo con que se está transmitiendo esta cuestión a la sociedad como con la propia hipótesis del cambio climático. Parece necesario presentar todas las opiniones que tienen base científica para comprender en su globalidad este tema.

2. ¿Cambio climático o cambios climáticos? La variabilidad del clima terrestre a través de la historia

Un hecho incontestable es que el clima terrestre ha estado, históricamente, sometido a cambios tanto o más importantes que el que ahora se analiza, en un debate antagónico entre episodios fríos y cálidos. La perspectiva histórica relativiza las visiones apocalípticas que acompañan al calentamiento experimentado por las temperaturas terrestres en los últimos lustros, y lo sitúa en un contexto de evolución constante de las condiciones climáticas del planeta.

En efecto, mucho antes de que el hombre existiese como tal, o incluso en su corta andadura como *Homo sapiens* sobre la faz de la Tierra, el clima planetario siempre ha estado sujeto a fluctuaciones y comportamientos cíclicos, explicables por factores infinitamente más poderosos que el hombre y su tecnología moderna, algunos de los cuales todavía no nos son bien conocidos.

Los factores más decisivos tienen relación con el comportamiento del balance energético terrestre. Las irregularidades que rigen en el comportamiento de la actividad solar, con períodos del orden de decenas de miles de años. La energía solar que, en forma de radiación, alcanza a la atmósfera terrestre, experimenta variaciones debidas a factores astronómicos, aunque el vulcanismo y otros factores geográficos son capaces de influir decisivamente. En efecto, los cambios en la inclinación del eje de rotación terrestre respecto del plano de la eclíptica (23°27'), con ciclos de 41.000 años, señalados por el astró-

nomo serbio Milutin Milankovitch. A más inclinación, los inviernos y veranos se tornan más extremados. Por otra parte, la excentricidad de la órbita terrestre, que oscila cada 100.000 años. Influye en la mayor o menor cercanía del planeta con respecto al Sol. A mayor cercanía, mayor cantidad de radiación global. Asimismo, la precesión o giro en peonza del eje terrestre respecto a la eclíptica o al resto de las estrellas, con un período de 23.000 años. Por ejemplo, el hecho de que el perihelio actual se sitúe el 3 de enero hace que los inviernos del hemisferio norte sean más benignos que los del hemisferio sur.

Como señala TRIGO I RODRÍGUEZ (1998) las variaciones en la radiación solar incidente son capaces de provocar alteraciones notables en la biosfera terrestre. Y ello porque una modificación de sólo un 2% de la intensidad de la radiación solar podría causar un enfriamiento muy acusado en todo el planeta o, en su caso, la fusión total o parcial del hielo acumulado en los casquetes glaciares. Hay que recordar que los ciclos de manchas solares (11 años) sólo suponen variaciones de intensidad de la radiación solar del 1 por mil y se reequilibran constantemente.

Estos factores astronómicos combinados entre si explican el comportamiento del clima terrestre, al menos desde el pleistoceno superior, como una sucesión de períodos fríos y períodos cálidos.

Conviene indagar en el comportamiento del clima durante el holoceno para ponderar la naturaleza de los cambios experimentados por el clima terrestre. En un apretado balance, destacan los siguientes ciclos climáticos (vid. cuadro nº 1):

Hace 20.000 años se produce el último gran cambio climático, durante el máximo glacial, en el cual un vasto manto de hielo de más de 4 millones de kilómetros cuadrados cubría la Europa Nórdica y Central, con imponentes glaciares que cubrían Pirineos, Macizo Central y Alpes. Las temperaturas se situarían entre 6 y 8°C por debajo de las actuales y el nivel del mar estaría, según los trabajos manejados, unos 100 metros por debajo del actual, mientras que la línea de costa habría ganado unos 50 km. dentro del mar debido a la gran cantidad de agua inmovilizada por los glaciares.

El final de esta etapa se suele ubicar en el 10.000 BP, de forma que en el 8.000 BP existen pruebas de que Inglaterra e Irlanda ya se hallaban definitivamente separadas; el Mar Negro, incomunicado hasta entonces, ya estaría conectado con el Mediterráneo; y el casquete glacial ártico habría desaparecido ya de gran parte de la Península Escandinava, en parte porque la corriente del Golfo ya afectaba a su fachada atlántica.

A partir de entonces, y a grandes rasgos, todo el Holoceno se ha caracterizado por un calentamiento global, muy desigual en sus efectos regionales, pero que en una etapa inicial llamada Bölling/Allerod, alrededor de 13.000 BP, pudo propiciar que la temperatura del océano Atlántico frente a la península Ibérica fuese 10°C superior a la actual. La fase culminante de este calentamiento con aumento de la humedad se sitúa entre 8.000 y 6.000 BP, en el llamado período Atlántico, que permitió el afianzamiento de una vegetación mediterránea con fuerte presencia de quercíneas en toda Europa Occidental. Repercusiones ecológicas de primer orden tuvo también la configuración del Sahara, al acentuarse la aridez como consecuencia de la implantación del anticiclón dinámico de las Azores y de una reorganización de la circulación atmosférica general. Incluso existen teorías que relacionan este proceso natural con la aparición de la cultura clásica egipcia y con la puesta en cultivo mediante regadíos de gran parte del valle del Nilo, como respuesta a la reducción de los cultivos de secano (LAMB, H.H. 1979).

Pero las fluctuaciones del clima eran continuas, si no en períodos seculares si en los milenarios, aunque tampoco faltan cambios en el comportamiento de lluvias y temperatu-

Cuadro n° 1
FLUCTUACIONES NATURALES DEL CLIMA TERRESTRE

DENOMINACIÓN	CRONOLOGÍA	REPERCUSIONES MÁS NOTABLES
ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAR	Apogeo hace 20.000 años. Concluyó hace 8.000 años	—Un inlandsis de 4 millones de km ² cubría Europa nórdica y central —Glaciares en cadenas alpinas y macizos antiguos. —Temperaturas entre 6 y 8°C inferiores a las actuales. —Nivel del mar 100 metros por debajo del actual
ETAPAS INICIALES DEL HOLOCENO	Período Atlántico (6.000-4000 a.C.)	—Calentamiento y aumento de la humedad —Expansión de vegetación mediterránea hacia centroeuropa —Se estabiliza el Sahara con sus rasgos actuales
PULSACIONES FRÍAS INTRAHOLOCENAS	Entre el 900 y el 350 a.C	—Enfriamiento. —Se revitalizan los glaciares alpinos. —Decrecen los glaciares en el siglo III a.C.
SE RECOBRA LA NORMALIDAD HOLOCENA	Pequeño Óptimo Climático (700 y 1200 d.C.)	—El clima vuelve a ser cálido y húmedo. —Desplazamiento hacia el norte del casquete glacial ártico (descubrimientos de los marinos nórdicos) —Expansión hacia el norte de los viñedos.
PEQUEÑA EDAD DEL HIELO	Mediados del s. XVI a mediados del s. XIX	—Descensos térmicos entre 1,5 y 2°C. —Aumento de la niviosidad. —Veranos más cortos y húmedos. —En la Península Ibérica persisten episodios meteorológicos extremos (sequías e inundaciones). —Auge del comercio de la nieve.
CICLO CLIMÁTICO ACTUAL	Mediados del s. XIX a la actualidad	—Se inicia la etapa estadística en el manejo de datos analíticos. —El análisis de registros térmicos permite distinguir tres etapas: 1.—calentamiento en el período 1880-1950 con elevación media entre 0,4°C y 0,6 °C. 2.—enfriamiento entre 1950 y 1970. 3.—calentamiento a partir de 1970.

Fuente: MONTÓN CHIVA, E. y QUEREDA SALA, J. (1997); GARCÍA CODRÓN, J. C. (1986); LAMB, H.H. (1979).

ras con períodos de apenas dos o tres siglos. Así los textos clásicos señalan cómo los glaciares alpinos del norte de Italia muestran una extensión máxima entre el 900 y el 350 a.C., para decrecer en el siglo III a.C., hecho que permitiría a Anibal adentrarse en Italia camino de Roma.

Desde entonces, y durante el primer milenio de nuestra era, todos los datos apuntan a que el clima debió ser cálido y húmedo en toda la cuenca del mediterráneo, y mucho menos irregular que hoy. Por ejemplo, Ptolomeo, refiriéndose a Alejandría en el año 120 D.C., afirmaba que la ciudad registraba precipitaciones durante 11 meses al año, con temperaturas máximas en julio y agosto.

A finales del primer milenio, entre los años 700 y 880, y entre el 900 y el 1.000, se sitúa el llamado pequeño óptimo climático, que acabaría en el año 1200. El casquete glacial

ártico sufrió un desplazamiento hacia el norte, facilitando así los descubrimientos de los marinos nórdicos. Los viñedos europeos se expandieron de tres a cinco grados hacia el norte respecto de su posición actual, y minas de oro como las del Höhe Tauern, situadas a gran altitud en los Alpes, pudieron ser explotadas durante este período para ser luego abandonadas en el siglo XIII ante el avance de los glaciares.

Este descenso de las temperaturas, con recrudecimiento de los inviernos, provocó que todos los países de Europa Septentrional sufrieran hambrunas, calamidades y desórdenes sociales. Tampoco faltan documentos históricos que reflejan manadas de lobos hambrientos cruzando el Báltico helado desde Noruega a Dinamarca, o la congelación invernal del Támesis o el Ródano, interrumpiendo la navegación.

Esta situación, salpicada de algunas fluctuaciones, se recrudeció desde mediados del siglo XVI hasta mediados del XIX dando nombre a lo que se ha conocido como *«Pequeña Edad del Hielo»*, coincidiendo con el máximo crecimiento en época histórica de los glaciares alpinos. La mayoría de autores manejan descensos térmicos que oscilan de 1,5 a 2°C en invierno, mientras que la sucesión de veranos frescos y húmedos con primaveras nevadas favoreció la acumulación de nieve en las montañas, a altitudes muy inferiores a las actuales. En los Alpes se tuvieron que abandonar granjas y pastos de montaña, y las vías transalpinas tuvieron que dejar de emplearse. Cuando los habitantes de los valles alpinos no podían detener el avance de los glaciares por métodos materiales, acudían a la iglesia y promovían procesiones y rogativas para detener el avance de *«las diabólicas serpientes de hielo»*.

En España, las informaciones históricas y los datos recientes aportados por la dendrocronología no siempre arrojan situaciones coincidentes, aunque confirman que las circulaciones meridianas norte-sur aumentaron su frecuencia, dándose inviernos muy fríos y secos debido a la persistencia de anticiclones de bloqueo, con veranos cálidos pero más cortos que los actuales; durante la primavera y el otoño se producían las mayores precipitaciones, en forma nevada unas veces y en otras ocasiones de carácter torrencial, que se saldaban con frecuentes inundaciones y avenidas fluviales salpicadas, no obstante, de secuencias de indigencia pluviométrica. Así, por ejemplo, 1617 es conocido en Cataluña como *«el año del diluvio»* y el Ebro llegó a congelarse al menos durante ocho ocasiones; en 1624 la ciudad de Alicante amaneció con más de un palmo de nieve en sus calles; y 1626 ha sido denominado por algunos autores como *«el año de las riadas»*.

La mayor innivación favoreció que a partir del siglo XVI se difundiese la costumbre de refrescar las bebidas y conservar los alimentos mediante la nieve recogida en ventisqueras y almacenada en pozos construidos para tal fin, algunos de los cuales fueron encargados a los mejores arquitectos de la época, como Juan de Herrera, a quien se atribuye un pozo de nieve existente cerca de El Escorial.

De este período climático, y en particular del s. XVIII, datan asimismo las construcciones para almacenar nieve ubicadas en tierras valencianas, un territorio poco caracterizado en la actualidad por la presencia de este hidrometeoro. CRUZ Y SEGURA (1996) han inventariado 298 depósitos (*«neveras»*, *«cavas»* y *«ventisqueros»*), situadas, en su mayor parte, entre 600 y 1.400 m. En estas construcciones se almacenaba la nieve durante los períodos de innivación para su posterior comercialización o transformación en helados o bebidas frías; una actividad tradicional que ha perdurado con el paso del tiempo en las localidades de Ibi o Jijona, afamadas por la calidad de sus helados.

Dentro de esta fluctuación, el decenio 1810-1819 fue el más frío de la época contemporánea, al que no escaparon las tropas napoleónicas durante la campaña rusa. De ese decenio destaca sobremanera 1816, llamado *«el año sin verano»*, con temperaturas medias

inferiores a la media en tres grados, por efecto de la formación de un velo de polvo y cenizas volcánicas inyectadas a la alta troposfera por el Tambora, lo que ocasionó una reducción de la radiación solar incidente.

A partir de 1840 se inicia un ciclo, que perdura hasta la actualidad, marcado por una recuperación de las temperaturas, esto es, por un calentamiento que encuentra verificación estadística en los datos aportados por la red terrestre de observatorios meteorológicos, implantada desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad. La escasa cobertura espacial, su mayor concentración en el hemisferio boreal, o la incorporación a grandes ciudades e islas de calor urbanas de los observatorios que disponen de las series más largas de temperatura no constituye sin embargo óbice para que se hayan procesado los datos de más de 3.000 observatorios cuyo resultado destaca la sucesión de tres fases en la evolución reciente del clima terrestre:

1ª.—Un intenso calentamiento del clima en el período 1880-1950 con elevación media entre 0,4 y 0,6°C.

2ª.—La reactivación de la actividad volcánica es esgrimida por varios autores para explicar el proceso de enfriamiento producido entre 1950 y 1970.

Estos dos períodos de comportamiento térmico diverso habrían sido detectados por diversos investigadores bastantes decenios antes. (vid. supra. LAMB, 1974).

3ª.—Junto a ellos, y desde mediados de los años setenta, se asiste a una nueva elevación de las temperaturas que perduraría hasta la actualidad. Montón Chiva y Querada Sala (1997) han calculado que la temperatura media de los observatorios mediterráneos españoles habría crecido desde mediados de los setenta hasta la actualidad en 0,34 °C, aunque advierten que este incremento debe ser valorado con muchas reservas ya que es precisamente en esos decenios cuando muchos de los observatorios manejados acaban por ser incorporados a la trama urbana de las ciudades. En Estados Unidos, algunos investigadores han constatado un enfriamiento de 0,06°C durante los cuatro últimos decenios. Por su parte, desde mediados de los años setenta hasta la actualidad se habrían enfriado Europa Occidental, regiones del noroeste y este de Canadá, y suroeste de Groenlandia; por ejemplo en la península escandinava se verifican descensos térmicos medios de 0,6°C.

Ayala Carcedo (1995) ha resumido la evolución cuaternaria del clima terrestre como una sucesión de ciclos climáticos cada 110.000 años, que estaría compuesto por períodos fríos (80.000 años) y cálidos (30.000 años). Durante el Holoceno (últimos 10.000 años) habrían datos suficientes para afirmar la existencia de, al menos, tres períodos cálidos (3.000 antes de Cristo, 100-400 de nuestra era y Baja Edad Media, 1.200-1.400 de nuestra era) y tres Pequeñas Edades Glaciares (hacia 6.000 antes de Cristo, 1.000 antes de Cristo, y 1.400-1.850). La oscilación de la temperatura media global, en estos eventos, puede situarse en algo menos de 1°C respecto a la de 1900.

3. La hipótesis actual de cambio climático por efecto invernadero y sus aspectos vinculados

a) El «producto» cambio climático

Como se ha señalado, la actual hipótesis del cambio climático por efecto invernadero se ha convertido en un «producto» del mercado científico y social que encierra múltiples intereses económicos. El cambio climático es una variable más de la nueva economía

«verde», ecológica o sostenible que tantos partidarios encontró «de iure», que no «de facto», en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992 y en las sucesivas Conferencias del Clima celebradas hasta el momento presente. La hipótesis del cambio climático ha generado asimismo una nueva conciencia social. Sus defensores plantean la necesidad de una nueva sociedad que abandone los postulados del crecimiento económico «insostenible» actual, basado en el empleo masivo de combustibles fósiles y en una explotación progresiva de los recursos naturales; en los países del Tercer Mundo ajenos a los rigores de la maquinaria económica mundial sería necesario aplicar un modelo de desarrollo sostenible que permitiera la cohabitación de la actividad económica y la defensa del medio ambiente. Frente a esta postura están los que opinan que el organismo vivo planetario es capaz de soportar las alteraciones introducidas por el hombre adaptándose a ellas; es el bando de las compañías petrolíferas e industrias anejas y, por qué no reconocerlo, el de la inmensa mayoría de los habitantes del mundo desarrollado, poco proclives a modificar sus hábitos de vida basados en el consumo, y a menudo desperdicio, de combustibles fósiles y productos elaborados a partir de ellos.

Como se ha indicado, asistimos en la actualidad a la veneración entre cierta comunidad científica del siguiente axioma como acto de fe:

Efecto invernadero → «agujero» de ozono en la estratosfera → CAMBIO CLIMÁTICO

axioma que para las tierras de la Península Ibérica se completa del siguiente modo:

→ CAMBIO CLIMÁTICO → Episodios atmosféricos extremos → Desertización

Para matizar este axioma son necesarias algunas precisiones que permitan abordar el tema del cambio climático con sensatez:

En primer lugar, está la propia definición de cambio climático. El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (Nueva York, mayo de 1992) definió «*cambio climático*» como un «*cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial*». Desde la geografía de los climas, un «*cambio climático*» sería un cambio en las zonas climáticas del planeta, lo cual implicaría un cambio en el modelo planetario de circulación atmosférica vigente, aspecto éste sobre el que hoy día no hay indicio verosímil alguno. Aún más la propia expresión «*cambio climático*» no es del todo correcta; habría que hablar, con mayor justeza, de **cambio** o modificación **en el Balance Energético Planetario**, porque la hipótesis de trabajo se basa, precisamente en la mutación que éste sufriría por incremento —antrópico— del efecto invernadero, es decir, el incremento del calor por aumento de radiación de onda larga devuelta a la troposfera terrestre por los «*gases de efecto invernadero*». Sería esta la expresión más ajustada puesto que climas hay muchos en el planeta y la expresión cambio climático, aunque genérica, no responde a la realidad geográfica de la distribución mundial de climas; además las variaciones en los diversos climas terrestres no sería del mismo grado en todos ellos.

Dos realidades sustentan la actual hipótesis de cambio climático: el incremento de temperaturas desde 1975 y el ritmo creciente de emisiones de CO₂, cuya proporción actual en la troposfera se cifra en 355 ppmv, valor que la actividad humana contribuiría a aumentar en 700 gigatoneladas (petagramos) al año. Se estima pues que la presencia, cada vez mayor,

de dióxido de carbono —como máximo exponente de los llamados «*gases invernadero*»— en la troposfera es capaz de alterar el comportamiento de las temperaturas del globo y, con ello, del conjunto de sus condiciones climáticas. Como se ha señalado, desde los postulados iniciales de Arrhenius en el siglo XIX y con mayor vigor desde los años sesenta del siglo XX, numerosas han sido las voces que han hablado de la relación entre incremento térmico y aumento de la presencia del dióxido de carbono en la troposfera, que tiene en el hombre a su más activo agente propagador (emisiones industriales, vehículos de combustión). De ser cierta esta hipótesis, que aún está por comprobar en todos sus extremos, la solución parece evidente y, al tiempo, como se visto, compleja: la reducción de las emisiones antrópicas de CO₂ a la atmósfera.

Y es que la evolución de las emisiones de CO₂ ha seguido un crecimiento exponencial en los últimos cuatro decenios: de 315 ppmv en 1958, cuando se inician las mediciones sistemáticas en MAUNA LOA (vid. supra) a 355 ppmv en la actualidad. Además, el análisis de las burbujas de aire contenidas en los hielos de Groenlandia y la Antártida ha permitido retrotraer estos análisis hasta la penúltima glaciación (150.000 años). Según estos datos, a comienzos de la era industrial la concentración de dióxido de carbono era de 280 ppmv; luego, durante el último máximo glacial este contenido cayó hasta 170 ppmv. Parece existir por tanto una relación entre presencia de CO₂ en la atmósfera e incremento de temperaturas. Ahora bien hay que señalar que el CO₂ de origen antrópico apenas representa el 0,0355% del total del aire. La aportación anual de carbono de origen antrópico evaluada por el IPCC resulta ser tan sólo el 2,5% del total de emisiones a la troposfera, mientras que el 97,5% restante corresponde a las emisiones bióticas marinas y terrestres.

También se ha vinculado al aumento de la proporción de CO₂ en la troposfera, como aspecto derivado, la existencia de un adelgazamiento estacional de los niveles de ozono estratosférico observados, básicamente, sobre la Antártida; el famoso «*agujero*» de ozono. Y en el espacio geográfico de la península Ibérica, a ello se le ha unido la posible reducción de precipitaciones estimada por los modelos de cambio climático, con sus efectos de aridez progresiva y desertización. Es necesario, pues, indagar en la realidad de estos tres elementos integrantes de la actual hipótesis de cambio climático.

b) El efecto invernadero: ¿Problema apocalíptico o bendición de la naturaleza?

El efecto invernadero, lejos de constituirse como un problema, constituye uno de los fenómenos naturales que permite la vida sobre la superficie terrestre al incidir directamente sobre el sistema climático del planeta mediante la capacidad que tienen determinados gases para almacenar radiación de onda larga en forma de calor.

La mayoría de esos gases son anteriores a los orígenes del hombre destacando el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y el ozono. Los únicos gases que son producto de la mano del hombre pertenecen a la familia de los clorofluorocarbonados (CFCs). Se estima que la temperatura media del planeta sería de -18°C si no existiesen estos gases, a cuya presencia en la troposfera terrestre debemos que la temperatura media planetaria sea de unos 15°C. Con ello contribuyen a la actual estabilización del balance energético planetario donde se equilibran, por procesos diversos, entradas y salidas de radiación.

La contribución de los gases «*invernadero*» en la reducción de esa amplitud térmica queda reflejada en el cuadro nº 2.

Cuadro n° 2
*CONTRIBUCIÓN DE LOS GASES AL EFECTO INVERNADERO NATURAL DEL
 SISTEMA CLIMÁTICO TERRESTRE*

Gas	Concentración Actual	Contribución en °C	Contribución en %
Vapor de Agua H ₂ O	Entre 0 y 4%	20,6	62,4
Dióxido de Carbono CO ₂	355 ppm	7,2	21,8
Ozono Troposférico O ₃	0,03 ppm	2,4	7,2
Óxido de Nitrógeno N ₂ O	0,3 ppm	1,4	4,2
Metano CH ₄	1,7 ppm	0,8	2,4
Otros (CFC)	aprox. 2 ppm	0,6	1,8
AUMENTO DE Tª 33°C			

Fuente: TAPIA Y TOHARIA, 1997.

La cuestión clave consiste en valorar cómo las actividades humanas pueden incidir en el sistema climático planetario al forzar un cambio en la proporción y concentración que ocupan dichos gases, sobre todo como resultado de la contaminación atmosférica por oxidación de combustibles fósiles, iniciada a partir de la primera revolución industrial. Hay que tener en cuenta que a principios del siglo XX se consumían 21 exajulios (trillones de julios) de energía, mientras que a principios de la década de los años noventa esa cifra se eleva a más de 340 exajulios. La aportación adicional de CO₂ que el hombre realiza anualmente, motivada por las emisiones industriales, se cifra en 6 petagramos (1 petagramo = 1 gigatonelada = 1 billón de kilos).

Semejantes cifras, astronómicas por la cantidad de dígitos que las componen, podrían hacer pensar que el hombre está perturbando profundamente la composición gaseosa de la atmósfera y forzando realmente un cambio global del sistema climático planetario. ¿Pero esto es realmente así?

La cantidad total de dióxido de carbono existente en la atmósfera asciende a 700 petagramos, con lo cual los 6 petagramos emitidas a la atmósfera hacen aumentar la proporción de este gas en un 0,85% cada año, cifra que habla de la necesidad de reducir las emisiones antropogénicas a la troposfera por propia salubridad del planeta.

No obstante son muchos los interrogantes que cabe plantear. Veamos algunos de ellos.

La cantidad que el hombre arroja a la atmósfera resulta insignificante si se compara con la cantidad que encierran las masas oceánicas, que se cifra en 37.000 petagramos, casi 10.000 veces más que la cantidad que el hombre vierte anualmente a la atmósfera.

Los 700 petagramos de CO₂ tan sólo contribuyen al efecto invernadero natural del planeta con un 21%, es decir, con 7,2°C, con lo cual, un 0,5% de incremento en esa proporción equivaldría a un incremento anual de 0,036°C al año, cifra muy alejada de las visiones apocalípticas que adornan esta cuestión.

Los datos analíticos disponibles sobre la evolución en la concentración de dióxido de carbono atmosférico indican que a principios de siglo existían 309 ppmv, 316 ppmv en 1959 y 356 ppmv en la actualidad, lo que supone aproximadamente un incremento medio de 1,12 ppm/año. Hay que recordar que los datos oficiales manejan las mediciones del observatorio

de Mauna Loa en el archipiélago volcánico de las Hawaii, en la proximidad, además, del bosque tropical y de campos de caña de azúcar que desvirtúan los valores obtenidos.

En España los datos obtenidos en la Estación de Climatología Aplicada de la Universidad de Castellón y recopilados por Quereda y Montón (1996 y 1997) ofrecen unas proporciones de CO₂ superiores a las de Mauna Loa, con valores de 369 ppmv en 1987 y 374 ppmv en 1991. Si bien hay que advertir que el laboratorio está emplazado al oeste de la ciudad de Castellón, muy cerca de un gran complejo petroquímico, de las industrias cerámicas y de los regadíos intensivos de la Plana. QUEREDA y MONTÓN han señalado que el estudio del CO₂ no debe limitarse al análisis de su concentración en la atmósfera, sino que es necesario evaluar los regímenes diario y estacional, «*máxime en cuanto que a través de ellos se puede alcanzar una mejor aproximación al funcionamiento del sistema biosférico como ciclo clave del equilibrio del CO₂ en la atmósfera*». Estos autores destacan el papel fundamental que desempeña la radiación solar como elemento de control de la concentración atmosférica de dióxido de carbono a través de los procesos de fotosíntesis y respiración del ecosistema terrestre, y la regulación que ejercen otros elementos del clima, como las precipitaciones, que actúan como poderoso reductor del carbono atmosférico, y como los vientos, que contribuyen a su difusión regional.

Se alude a la deforestación como factor de primer orden en el aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico, al reducirse la actividad fotosintética. Pero no existen cálculos sobre su incidencia, ni tampoco sobre el impacto que tiene sobre la asimilación de CO₂ la propagación de cultivos intensivos de regadío. Se estima que el bosque, a través de su función clorofílica, es capaz de eliminar hasta un 60% del dióxido de carbono atmosférico. El carbono viene a representar un 50% de la materia vegetal seca, incorporándolo a través de la fotosíntesis y devolviendo una pequeña parte de CO₂ durante la noche. Sin duda esta incertidumbre debería abrir una línea de trabajo más seria sobre el balance de intercambio que se produce.

Otro interrogante a dilucidar, es el papel de los océanos como sumideros de absorción de CO₂ para la formación de carbonato cálcico. Parece demostrado que los mares fríos tienen bajos índices de saturación de CO₂, hecho que ha llevado a pensar que tienen una alta capacidad para fijar carbono atmosférico. Por otro lado, resulta muy complejo llegar a precisar con detalle el estado real de ese balance a escala planetaria, máxime cuando un volcán como el Etna, en un período de actividad, es capaz de inyectar a la atmósfera más de 10.000 Tm de Carbono cada día. Y aún resulta más importante el desconocimiento preciso de la circulación atmosférica general, que nos impide conocer cómo se distribuye este gas a escala planetaria y cómo es asimilado por el sistema climático.

c) *El agujero de Ozono, ¿realidad de origen antrópico?*

Además del vapor de agua y del CO₂, otro de los gases naturales que ejerce una acción bonificadora sobre el clima terrestre es el ozono (O₃), que actúa sobre todo en los niveles estratosféricos absorbiendo la radiación ultravioleta y eliminando todo el espectro solar que queda por debajo de 0,3 micrómetros, es decir, el más energético, el de mayor poder ionizante y más nocivo para la vida terrestre; de ahí que una disminución en el ozono estratosférico o un aumento en el troposférico hagan aumentar la temperatura superficial.

Un primer aspecto es la validez de la expresión «*capa de ozono*», puesto que, en realidad, este gas se halla contenido en proporciones muy variables, según la época del año y la región terrestre de que se trate, con una densidad máxima, aunque siempre reducida, en la

estratosfera, a una altitud de entre veinte y cincuenta kilómetros. Alcanza sus mayores concentraciones durante el período estival, con máximos en las horas centrales del día, si bien hay que advertir que si todo el ozono estratosférico se concentrara en la superficie del planeta tan sólo llegaría a constituir una lámina gaseosa de 3 mm de espesor (lo que equivale a unas 300 unidades Dobson, que es el valor medio que se le otorga al ozono en la estratosfera).

A partir de 1982, gracias a los trabajos de investigador japonés Sigeru Chubachi, supimos que en los meses de septiembre y octubre, en la primavera antártica, los valores de ozono descendieron de 300 unidades Dobson a menos de 230, para recuperarse a finales de octubre los valores medios; ese «*agujero de ozono*» antártico pasó muy pronto a ser cuestión de investigación prioritaria en los programas de vigilancia mundial del clima, al recordar las predicciones realizadas, un decenio antes, por ROWLAND y MOLINA (vid. supra).

Una primera cuestión sobre el «*agujero de ozono*» atañe a su propia denominación. Resulta impropio denominar «*agujero*» a un adelgazamiento, estacional y en una región concreta del planeta, de la concentración de este gas en la estratosfera. La expresión «*disminución estacional*» parece más adecuada, aunque menos periodística.

Por otra parte es interesante no desconocer algunas cuestiones en relación con el comportamiento del ozono. La primera es que el contenido de este gas se incrementa con la actividad solar; de ahí que los valores mínimos se produzcan entre finales de invierno y comienzos de la primavera, cuando los valores de radiación solar incidente son los más bajos del año. Un dato que refuerza esta idea es que la disminución medida en la segunda mitad de la década de los ochenta deba ponerse, como señala Uriarte (1995), más en relación con un aumento de la actividad solar que a una merma debida al incremento de la concentración de cloro.

Una incógnita consiste en conocer cómo estos gases más pesados que el aire pueden ascender hasta la estratosfera. Entre las hipótesis que se manejan se indica que es a través de movimientos verticales que afectan a toda la troposfera, sobre todo a través de las corrientes en chorro. Según Cariolle, una molécula de CFC liberada en la superficie y en latitudes medias del hemisferio norte tarda unos cuatro años en ser transportada a la estratosfera inferior; y para alcanzar altitudes de 30-40 Km se requieren unos diez años. Pero hay que hacer inmediatamente la reserva de que sólo una parte, muy probablemente reducida, de las moléculas de CFC emitidas junto al suelo lograrían semejante hazaña trepadora, porque parece imposible pensar que todas encuentren las adecuadas condiciones ascendentes en unos pocos años.

Otra incógnita es el papel desempeñado por las nubes estratosféricas polares en la destrucción del ozono estratosférico. Para Uriarte, los procesos de activación del cloro y de desnitrificación que se producen en las nubes estratosféricas polares explicarían, más que el simple aumento del cloro estratosférico, los agujeros de ozono polares.

Y el principal enigma a resolver: ¿es el hombre el único, o al menos el principal, responsable de ese deterioro? Lo que sí resulta incuestionable es que las fuentes naturales de cloro superan con creces a las humanas (vid. cuadro nº 3).

Tan sólo el cloro procedente de la sal marina al evaporarse el agua superficial de los océanos se estima en más de 600 millones de toneladas, que recibe la troposfera anualmente. Una pequeña parte podría inyectarse en sus niveles más altos mediante los mismos procesos convectivos y de inestabilidad atmosférica citados anteriormente para los CFC.

El caso de los volcanes es todavía más notorio, ya que una erupción vigorosa puede inyectar el cloro directamente en la estratosfera sin necesidad de que intervengan otros

Cuadro nº 3
FUENTES DE CLORO ATMOSFÉRICO
(en millones de Tm/año)

Agua del mar	600
Volcanes	36
Combustión de biomasa e incendios forestales	8,4
Organismos oceánicos	5
CFC	0,7

Fuente: TAPIA, F. y TOHARIA, M. 1995.

mecanismos difusores. En la Antártida se han medido elevadas concentraciones de cloro propiciadas por una fuente muy enérgica: el volcán Erebus. Este activo volcán, por sí sólo, «es capaz de inyectar a la estratosfera 365.000 toneladas de cloro al año, la mitad de todo el cloro procedente de CFCs en todo el mundo» (H. TAZIEFF).

La disminución de casquetes glaciales en los polos y de glaciares de alta montaña se ha vinculado con la disminución del ozono estratosférico y el aumento térmico sufrido en los últimos años. Ciertamente es que desde la última glaciación y, más aun, desde la última pulsación fría (pequeña edad glacial) a ningún estudioso se le escapa que se ha producido una reducción en la superficie ocupada por los glaciares en los relieves alpinos de todo el mundo. Cuestión distinta es la reducción actual de los hielos en los casquetes polares. Los científicos del Marine Science Institute de la Universidad de California en Santa Barbara, culminaron en septiembre de 1994 una investigación sobre la estabilidad de los hielos antárticos cuyo resultado era rotundo: los hielos de la Antártida son estables y no están disminuyendo; si acaso aumentan levemente. Por lo demás, pensemos que si en el peor de los casos la temperatura del planeta aumentara 3°-4°C a lo largo del siglo XXI, incluso más en las regiones polares como indican algunos modelos matemáticos, ¿que supondría eso para los hielos polares, cuya temperatura media es de -25°C (Little América) e incluso -55°C (Vostok)?

Sin olvidar los mensajes catastrofistas del efecto que esa licuación de los hielos polares tendría en el aumento del nivel del mar, con la consiguiente pérdida de zonas costeras por inundación marina. Al respecto hay que señalar que, en el caso de la península Ibérica, no hay mediciones fiables de mareógrafos ni series históricas suficientes como para poder confirmar un posible incremento del nivel del mar ni en el litoral Atlántico ni menos aún en el Mediterráneo Occidental. Por otra parte, determinados movimientos orogénicos pueden suponer, por ejemplo en la Costa del Sol, elevaciones tectónicas del mismo orden de magnitud, si no superiores, que los supuestos aumentos del nivel medio del mar (medio metro en un siglo).

La preocupación por la disminución del ozono estratosférico radica en el posible efecto que ello podría tener en el aumento de la radiación ultravioleta —muy perjudicial para el hombre— que alcanza la superficie terrestre. Uriarte (1995) señala que este aumento no ha sido verificado, e incluso teóricamente es más factible que dicha radiación haya disminuido

globalmente, debido al aumento del ozono troposférico y de la turbidez atmosférica. Por otro lado, nada se sabe de los niveles históricos del ozono estratosférico. Las mediciones sistemáticas —recordemos— sólo se remontan en el suelo a 1957, y con datos de satélite a noviembre de 1987. Uriarte indica que es probable que en episodios pasados subsiguientes a erupciones volcánicas cataclísmicas su cota haya estado temporalmente mucho más baja.

Para finalizar este apartado, un último dato; en julio de 1997, el Nobel Mario Molina señalaba que la capa de ozono iniciaría su recuperación en los próximos cinco o diez años como efecto de la disminución en las concentraciones de metocloroformo y la estabilización de CFCs, sólo un decenio después de los acuerdos tomados en el Protocolo de Montreal³.

Recientemente la OMM ha reiterado esta previsión señalando que, de cumplirse las cláusulas del Protocolo de Montreal por todos los países firmantes, la recuperación de la capa de ozono se produciría a mediados del siglo entrante. No obstante, se avisaba que debido al retraso de varios años entre la expulsión a la atmósfera de los CFCs y su acción destructiva frente al ozono, la ozonósfera antártica seguirá debilitándose durante la primavera antártica los próximos años.

d) *La desertización. No es tan fiero el león como lo pintan.*

La desertización es otra de las plagas apocalípticas que ha venido a adornar la retahíla de efectos asociados al denominado cambio global. La península Ibérica parece ser presa apetecible de este fiero león. El problema se hizo patente en la Conferencia Mundial sobre Desertización celebrada en Nairobi en 1979, pero desde entonces predominan la confusión conceptual, la falta de argumentos científicos y la primacía de intereses políticos y de grupos ecologistas a la hora de definir esta hipotética secuela del cambio climático.

Resulta conveniente una matización conceptual, para comprobar como la semántica del lenguaje puede también ponerse al servicio de intereses alejados de la ciencia.

La desertización es un proceso natural por el cual un territorio se convierte en desierto, es decir en un espacio deshabitado por sus condiciones ecológicas, tal y como sucedió con el Sáhara a principios del holoceno, y que desde hace unos pocos milenios parece haber llegado a una situación de estabilidad.

El nuevo concepto de desertización (en español, algunos autores lo denominan con el neologismo «*desertificación*», tomado del inglés, idioma que en cambio mantiene el mismo sustantivo, en dicho idioma «*desertification*», tanto para los desiertos naturales como para los alterados por la mano del hombre) fue adoptado por primera vez en 1949 por Aubreville, haciendo referencia al proceso de sabanización o destrucción del bosque tropical como consecuencia de las quemadas para la práctica de una agricultura itinerante en África. En 1959, Dregne y Le Houerou también emplean esa acepción para referirse al mismo fenómeno en la sabana africana; un avance hacia el desierto, pero con un sentido de deterioro por acción del hombre.

A partir de la mencionada Conferencia de Nairobi, celebrada bajo los auspicios de la ONU, se iba a difundir la idea de que el hombre podía convertirse en un nuevo «*hacedor de desiertos*». En el concepto de desertización se incluían ya no sólo los procesos naturales sino toda una gama de procesos muy diferentes en sus causas y en sus efectos: la deforestación, la erosión por arroyamiento, la erosión eólica, la salinización, la contaminación

3 Vid. diario *El País*, 7 de julio de 1997.

de las aguas... En definitiva, la nueva desertización era el equivalente de una acusada degradación del complejo ecológico por efecto del hombre.

Las conclusiones de la Conferencia de Nairobi resultaron aterradoras: a escala planetaria, más de 4.000 millones de hectáreas estaban afectadas por graves problemas de desertización; cada año se desertizaban 27 millones de hectáreas y «a tal ritmo en 200 años no quedaría una sola hectárea productiva sobre la faz de la tierra» (García Fernández, 1995).

Con semejantes cifras, esta nueva desertización de origen humano adquiriría rango de catástrofe apocalíptica, justificándose entonces que organismos internacionales como la ONU y la Unión Europea destinaran miles de millones de dólares a financiar estudios sobre esta cuestión. Numerosos investigadores de variada formación cultivan el «negocio» de la desertización y, claro está, se cuidan de que los resultados permitan mantener el ritmo de investigación, «desertizando» literalmente, permítasenos la broma, las arcas públicas.

¿Es tan grave el problema? En 1989 Le Houerou, uno de los difusores de la nueva acepción de desertización, se vio obligado a rectificar en sus afirmaciones de 30 años atrás. Con más experiencia, verificó que con precipitaciones inferiores a 100 mm en el sur de Túnez la cobertura vegetal podía recuperarse en pocos años si contaba con los suelos adecuados. Dregne y Tucker, a partir del análisis de imágenes del satélite NOAA, han evaluado la evolución espacial del Sahara durante el período 1980-1990. Sus resultados demuestran que los límites del desierto varían anualmente según se produzcan lluvias o no. Más todavía, en sectores donde hacía años que no llovía, estos investigadores quedaron impresionados porque unas ligerísimas precipitaciones bastaron para que las semillas en letargo germinasen, floreciesen y fructificasen.

Estudios más recientes, como el programa GLASOD, han estimado que la superficie en desertización asciende a unos 1.000 millones de hectáreas, es decir, la cuarta parte de la cifra aportada en la Conferencia de Nairobi. De esos mil millones, a Europa se le asignan unos 100 millones de hectáreas, la mayor parte de ellas en España y, en especial, en la depresión del Ebro, Castilla y León, y región climática del sureste. Se da por sentado que el desierto, cruzando el Estrecho de Gibraltar, amenaza ya con invadir nuestro país: queda poco para la túnica y el camello.

Pero en estos temas sería deseable que los portavoces de estas teorías catastrofistas tuvieran un mayor y mejor conocimiento geográfico de los territorios a los que aluden, con trabajos de campo y una buena cartografía de detalle que exprese la dimensión espacial y la magnitud de los procesos estudiados. Claro que todo ello exige el duro sacrificio de abandonar la comodidad de los despachos y los gabinetes técnicos, y la popularidad de los medios de comunicación, siempre dispuestos a recibir malas noticias de este calibre.

Resulta indudable que en España hay procesos de erosión, de mayor o menor entidad, debidos a condiciones climáticas, geomorfológicas y litológicas propias de nuestro entorno geográfico, pero que están muy distantes de los procesos ecológicos que operan en los desiertos. Deberían apoyarse con mayor énfasis los estudios sobre erosión orientados a promover medidas para contrarrestar los efectos de este proceso (abancalamiento, reforestación con especies autóctonas, capacidad de carga ganadera, prevención de incendios), así como los dirigidos a valorar, con cartografía adecuada, la dimensión espacial, la naturaleza y la magnitud de los procesos erosivos. En cambio, no parece tan serio potenciar investigaciones basadas en la construcción de modelos matemáticos, casi siempre ideados en el ámbito anglosajón, a partir de datos obtenidos en parcelas experimentales y en laboratorios que reproducen condiciones artificiosas que no reflejan la verdadera dinámica del territorio. Los defensores de la teoría del «desierto» deberían repasar los resultados del II Inven-

tario Forestal de España, elaborado por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza, en el que se pone de manifiesto el incremento de la superficie forestal nacional en más de 400.000 hectáreas durante los últimos 20 años, incluso en los territorios que se tenían como «*avanzadilla del desierto*» (Almería +40.000 ha.; Alicante +19.000 ha.; Murcia +150.000 ha.; Granada +106.000 ha.). Y a este respecto conviene recordar que España es el país de Europa con mayor superficie forestal, un 45% de la superficie total, cifra que con toda seguridad se incrementará en los próximos años por el abandono de tierras de cultivo que se producirá a causa de la Política Agraria Comunitaria y la propia atonía que afecta a la agricultura tradicional. MARCO MOLINA et alii (1996) han comprobado que el abandono de tierras agrícolas en Alicante, incluso en áreas marginales con litologías margosas, arenosas o con elevado grado de salinidad —en antiguas plantaciones de tomate—, no se salda con la desprotección vegetal, o sea la colonización del «*desierto*»; por el contrario, en un intervalo de 5 a 10 años el matorral mediterráneo, en estrato arbustivo, ocupa el terreno inculto y en 25-30 años, si no acontecen incendios forestales y acciones humanas negativas (sobrepastoreo), se restaura el estrato arbóreo (*pinus halepensis*, *quercus ilex* ssp. *rotundifolia*) en sus fases iniciales.

Cuestión distinta es el problema de los incendios forestales, contra los cuales hay que actuar de modo enérgico, que propician, al darse episodios de lluvia torrencial, la erosión de un suelo desnudado por el fuego.

Por otro lado, una cuestión trascendental sobre la que no se ha reflexionado todavía es la consideración de la enorme riqueza ecológica del matorral mediterráneo y la necesaria erradicación del «*mito del bosque de coníferas*», importado de ámbitos copartícipes de condiciones climáticas distintas (templado-frías). Así, por ejemplo, en el Parque Natural del Cabo de Gata, ubicado en la franja costero almeriense, una de las zonas más áridas de la Península Ibérica, se ha configurado unos de los ecosistemas subáridos más interesantes de Europa, con mayor número de endemismos y diversidad botánica que cualquier bosque de caducifolias o de coníferas que se presenta frecuentemente como la imagen estética de «*lo verde*», contrapunto de los medios subáridos. A este respecto no cabe sino recordar la ardorosa defensa que en los últimos años de su vida hizo el prestigioso ecólogo Fernando González Bernáldez de la vegetación esteparia en Castilla.

4. Incógnitas y líneas de investigación recientes sobre el cambio climático por efecto invernadero de origen antrópico

A la vista de lo expuesto está claro que la actual hipótesis de cambio climático por incremento del efecto invernadero y sus aspectos asociados está lejos de ser una teoría plenamente aceptada por la totalidad de la comunidad científica. Cuestión aparte es la necesaria unidad de acción en la exigencia de un mundo menos contaminado, demandando un cambio en los parámetros de consumo energético —con, al menos, reducción y optimización de dicho consumo— y la apuesta por el empleo de energías limpias y renovables que no alteren la composición química de la troposfera. Pero parece igualmente necesario reclamar de los científicos interesados en el estudio del tiempo y del clima la adopción de actitudes abiertas a la comprobación de indicios y a la resolución de incógnitas que les alejen de esas posturas dogmáticas y radicalizadas que, aunque rápidamente populares, culminan en un entorpecimiento cierto del avance de la ciencia.

En el momento actual de la investigación en torno a la cuestión, no se puede afirmar de modo concluyente que la humanidad esté ya inmersa en un proceso de cambio climático,

ni muchos menos aportar argumentos tan catastrofistas como faltos de rigor para asegurar el hondo calado social de este aserto. Quedan bastantes incógnitas por resolver, y a ello debe dedicar esfuerzos la comunidad científica antes de pronunciarse *ex cathedra*, o antes de permitir, por pasiva, que otros lo hagan en su lugar.

En el *interim* necesario para llevar a cabo estos estudios nadie duda de la necesidad de adoptar medidas para reducir los niveles de emisión de gases a la atmósfera, como medida preventiva. Pero de ahí a la aceptación, como realidad incontestable, de la existencia de un cambio climático catastrófico responsable de todo lo que nos pasa queda mucho por recorrer; no vaya a ser que al final no se confirme la hipótesis y la naturaleza nos sorprende con una respuesta imprevista.

Entre las incógnitas por resolver en la actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero se pueden destacar las siguientes:

1ª.— La primera se refiere a la realidad que se tiene por incuestionable dentro de esta hipótesis: desde el final de la pequeña edad glacial, ¿se ha calentado o se ha enfriado la Tierra? La respuesta mayoritaria parece apuntar a un calentamiento de la superficie terrestre desde 1870. Las series térmicas manejadas por organismos oficiales señalan un aumento cifrado en 0,6-0,8°C para el conjunto del planeta en los últimos 120 años. Pero no faltan voces contrarias. Estudios realizados en el National Center for Atmospheric Research de Boulder (Colorado) y en la Universidad de Seattle (Washington) señalan que se habría producido un enfriamiento de 0,6°C en la temperatura media global en el hemisferio norte desde 1900, a consecuencia del aumento de la nubosidad (del 48 al 60%). El National Climatic Data Center de Carolina del Norte afirma, en un análisis publicado a finales de 1994, que el clima en Estados Unidos se habría ido enfriando en el presente siglo, sobre todo a partir del decenio de los cuarenta, y de una manera muy notable en las regiones más industrializadas. Estos científicos relacionan el fenómeno con el aumento de los compuestos sulfurados. Chapman y Walsh han demostrado un enfriamiento de 1°C entre 1961 y 1990 en Groenlandia central. Recientemente, Garnett, Ineson y Adamson, en un trabajo publicado en *Weather* (noviembre 1997), han demostrado que la serie de temperaturas de Moor House (1931-95)—observatorio situado a 560 m. en la cadena de los Peninos, en el norte de Inglaterra, no sometido, por tanto, a efecto urbano—, no refleja el incremento térmico de otras estaciones meteorológicas situadas a menor altitud y que son las consideradas en los sucesivos informes del IPC⁴.

En la península Ibérica, RASO NADAL (1997) ha estudiado la evolución reciente de las temperaturas medias anuales en España (1870-1990) y ha comprobado que la mayoría de los observatorios reflejan la evolución térmica del conjunto planetario desde la finalización de la pequeña edad del hielo: calentamiento a partir de 1870 y hasta 1950; estabilización o enfriamiento desde 1950 hasta 1975, y calentamiento posterior hasta el año final de la serie considerada, 1990. Señala este autor la importancia que tienen los cambios en la ubicación de los observatorios o de las condiciones de medida en la evolución secular de

4 Un ejemplo del desconcierto actual por el reciente comportamiento térmico del planeta quedaba plasmado en la difusión de noticias sobre un supuesto enfriamiento al que estaría sometida la tierra tras las nevadas registradas en el norte de Méjico y Estados Unidos o los temporales de nieve en Europa y la Península Ibérica del pasado diciembre de 1997 o el temporal de hielo y nieve de enero de 1998 en los estados del noreste de Estados Unidos y suroeste de Canadá. (vid. diario El Mundo de 21 de diciembre de 1997, «Los efectos del frío que está dejando helado nuestro planeta»).

las temperaturas, aspecto que prevalecería sobre los auténticos cambios en la evolución de las temperaturas.

Similares consideraciones sobre la importancia de considerar los cambios de ubicación de los observatorios a la hora de ponderar en su justa medida la evolución que manifiestan los registros de temperatura media ha sido puesta de manifiesto por Montón y Quereda (1997) en su exhaustivo análisis sobre la evolución climática en la cuenca del Mediterráneo Occidental desde el siglo XIX. En su análisis destacan además algunos aspectos dignos de mención:

a) la falta de series climáticas largas en el espacio geográfico de análisis que permitan su empleo en los modelos de cambio climático;

b) la comprobación empírica del incremento térmico registrado desde 1870 en el conjunto de observatorios de la cuenca occidental del Mediterráneo (+0,7°C), aunque con diferencias regionales notables: por ejemplo, esta subida habría sido de sólo +0,29°C/siglo en el conjunto de los tres observatorios de referencia valencianos —Valencia, Alicante y Castellón—; +0,18°C/siglo en Palma de Mallorca; +0,87°C/siglo en Barcelona; +0,17°C/siglo en Toulouse; +0,11°C/siglo en Milán; +0,22°C/siglo en Roma o +0,57°C/siglo en Argel, por mencionar los casos más significativos. Sorprende además el dato del descenso térmico comprobado en el observatorio de Orán —¡tan próximo al Sahara!— entre 1878 y 1993: una tendencia de -0,004°C/año, es decir, -0,4°C por siglo;

c) la referida alteración de las series meteorológicas —sobre todo las térmicas— por el «efecto urbano» de los observatorios, que los autores han evaluado para el conjunto de observatorios de la fachada mediterránea española en +0,3°C, entre 1941 y 1994;

d) la relación estrecha entre grandes erupciones volcánicas y fases de enfriamiento térmico en las temperaturas planetarias.

Todo ello confirma de la necesidad de manejar los datos de temperatura con la prudencia científica necesaria, lo que supone conocer, con detalle, los avatares del observatorio de referencia a fin de evaluar la incidencia del calentamiento por efecto urbano. A la evaluación de esta influencia urbana en las series térmicas de los observatorios peninsulares dedica su esfuerzo la investigación, en curso, sobre «*dimensión espacial y temporal del cambio del clima en España*», en el marco del Programa Nacional de I+D sobre el Clima (1997-99). Para ello se han escogido series térmicas de estaciones meteorológicas «urbanas» y «no urbanas» que, tras el proceso necesario de homogeneización de series, intenta ponderar en su justa medida la importancia del calentamiento global en el conjunto del territorio peninsular. Los primeros resultados demuestran que el efecto de calor urbano es evidente en los registros térmicos (sobre todo en las temperaturas mínimas) de los observatorios de Castellón, Tortosa o Murcia, que han experimentado cambios de ubicación (traslado a las afueras de las ciudades) en los últimos años.

Sobre la influencia urbana en los observatorios y las mediciones realizadas Brunet India (1998) señala que resulta evidente afirmar que las estaciones meteorológicas localizadas en áreas urbanas o integradas progresivamente en ellas presentarán una tendencia añadida al calentamiento que no corresponderá a factores de forzamiento climático global y añade que «*las más rigurosas, citadas y utilizadas bases de datos compiladas a escala hemisférica y global...han utilizado información correspondiente a estaciones meteorológicas emplazadas en distintos entornos ambientales (urbanos y no urbanos) con la consiguiente incorporación de series potencialmente contaminadas por efectos urbanos*». El sesgo urbano incorporado a las series térmicas reconocido por distintos autores, según recoge Brunet, oscila entre 0,01°C y 0,02°C al año. Por su parte, Moreno García (1998) ha indicado que

el efecto urbano en la temperatura comienza a ser patente en el caso de las ciudades españolas a partir de una población de 2.000 hab.

Sea como fuere, si la humanidad no hace todo lo necesario por evitar el calentamiento por efecto invernadero y la temperatura del planeta experimenta un incremento entre 2° y 4°C los próximos cien años, ¿sería ello tan catastrófico para la Tierra como nos transmiten las soflamas augurales de los colectivos ecologistas? ¿Es inconcebible la hipótesis de una adaptación tranquila y no necesariamente catastrófica a las nuevas condiciones climáticas?...

Le Bras (1997) señala que «*el cambio del clima se añadirá a cambios más importantes todavía de la educación, de las producciones, del consumo, de los modos de vida, de la organización social y del reparto interno de cada población nacional*». Y añade con acierto que «*el cambio climático no será el más grande ni el más rápido de los «cambios patas arriba» actuales y futuros*».

2ª.— No está plenamente aceptada por la comunidad científica en su conjunto la relación directa entre aumento de gases de efecto invernadero y aumento térmico del planeta. Si esta relación fuera tan inmediata no se explicaría el comportamiento de las temperaturas en fases cálidas de la evolución histórica del clima terrestre o, dentro de la actual fase cálida que se inicia tras la pequeña edad glacial, no se entendería el intervalo de atenuación o descenso térmico que se extiende entre 1945 y 1975 y que provocó, como se ha señalado (vid. supra apartado 1), gran interés entre la comunidad científica como posible preludio de una nueva fase fría en el clima mundial. Este tipo de afirmaciones es objeto de crítica por parte de Schneider (1996⁵, quien señala que «*la naturaleza fluctúa. Tendencias de varias décadas de calentamiento y enfriamiento de un grado Celsius a lo largo de los decenios son parte del registro natural, y de hecho son normales... Estas tendencias no son predecibles hasta donde uno puede decir, pues parece que están causadas por la redistribución interna de energía y productos químicos entre los principales depósitos: atmósfera, océanos, hielo, superficies terrestres y la vida*»; y añade (sic) «*...las fluctuaciones naturales podrían ser una explicación parcial de este agudo calentamiento en los años treinta, del enfriamiento de 1975 y, posiblemente, incluso del recalentamiento espectacularmente rápido ocurrido desde finales de los setenta a los ochenta*».

MONTÓN y QUEREDA (1997) han señalado la falta de correlación entre la quema de combustibles fósiles y el aumento en la concentración atmosférica de CO₂. Según estos autores la disminución en el consumo de combustibles fósiles que se experimentó a nivel planetario tras la crisis del petróleo de 1973 no se plasma en los valores de concentración de dióxido de carbono en la troposfera, que mantienen su ritmo creciente. Y señalan que «*en el estado actual de conocimientos la única explicación posible es que la quema de combustibles fósiles tan sólo supone una ínfima fracción de la aportación de CO₂ a la atmósfera (2,5%)... el restante corresponde a las emisiones bióticas marinas y terrestre. De ahí que adquiriera mucha mayor trascendencia la tala y destrucción forestal, no por su aportación de carbono a la atmósfera sino por su eliminación como sumidero de CO₂*». El propio Keeling, padre de las mediciones de CO₂ desde la estación de Mauna Loa, ha señalado también esta falta de relación entre la reducción de consumo de combustibles fósiles registrada tras las crisis del petróleo de los años setenta y la concentración de dióxido de

5 SCHNEIDER, S.H. op., cit. pp. 70-72.

carbono en la troposfera. En junio de 1995 Keeling descubrió que en el período transcurrido entre 1979 y 1988 los cambios naturales de la temperatura del aire fueron mayores que el aumento térmico causado por el incremento de las emisiones antrópicas⁶. Ante la evidencia del hallazgo dudó en publicar los resultados de este estudio por las posibles implicaciones que pudiera tener como base para la justificación, por parte de sectores económicos interesados, de las emisiones de gases invernadero. Sea como fuere, el hecho demuestra la falta de unanimidad entre la comunidad científica a la hora de encontrar un mecanismo responsable del actual aumento de temperaturas.

Ello ha llevado a algunos investigadores a buscar la causa de las fluctuaciones en las series térmicas recientes en otros procesos, como las alteraciones en la radiación solar generadas por modificaciones en la propia actividad del Sol. La cuestión no es nueva. Se ha señalado la importancia de los parámetros orbitales de la Tierra, en su movimiento alrededor del Sol, como mecanismos causantes de diferencias en la radiación solar recibida por el planeta y su relación con la génesis de épocas climáticas más o menos frías.

Recientemente algunos trabajos han destacado la relación entre actividad solar y variaciones en el ritmo de temperaturas de la Tierra. Los norteamericanos Brian Tinsley y Sallie H. Baliunas, a partir del análisis de variables solares (brillo total, fáculas, rayos ultravioleta y viento solar), han señalado la estrecha relación entre los procesos físicos que acontecen en el Sol y las fluctuaciones experimentadas en algunos elementos climáticos. Así, por ejemplo, se sabe que cuanto mayor es el brillo solar (mayor número de fáculas) más radiación de onda corta alcanza a la Tierra y por tanto mayor es el calentamiento planetario. Por su parte, a mayor brillo solar mayor producción de radiación ultravioleta, lo que favorece la producción de ozono en la atmósfera superior. Años antes, en 1990, el danés Laseen había apuntado la estrecha conexión entre la duración de los ciclos de manchas solares y las temperaturas terrestres, señalando el ejemplo de la escasa actividad solar durante la llamada pequeña edad glacial que, según este autor, alcanzó su máxima expresión en 1816, en el que apenas se observaron manchas solares. En nuestro siglo, el Sol fue menos activo en la década de los años cincuenta y sesenta, coincidiendo con un hiato o incluso enfriamiento en el proceso de calentamiento terrestre. En un trabajo publicado en la primavera de 1997⁷, Friss-Christensen y Svensmark afirman que «*La actividad magnética del Sol es suficiente para explicar el incremento de temperaturas experimentado en la Tierra a lo largo de la última centuria*». Según estos autores, la radiación cósmica procedente de explosiones estelares influye en la formación de nubes. Durante un ciclo de manchas solares, la radiación cósmica que alcanza la Tierra varía alrededor de un 20% debido a variaciones en el campo magnético terrestre, que actúan como un tipo de escudo protector, desviando la radiación cósmica. El campo magnético terrestre está influido, a su vez, por el magnetismo solar. En el ápice de un ciclo de manchas solares, la Tierra tiene un campo magnético muy fuerte y, por tanto, penetra menor radiación cósmica en su atmósfera. Ello supone una menor nubosidad. Friss-Christensen y Svensmark señalan que el magnetismo solar ha aumentado con fuerza a lo largo de la última centuria, favoreciendo una reducción en la cobertura nubosa de la Tierra.

Estas consideraciones han sido reafirmadas, recientemente, en el trabajo publicado, el 23 de mayo de 1998, por estos dos autores en colaboración con Knud Lassen investigador asimismo del Instituto de Meteorología danés en la revista *Journal of Atmospheric and*

⁶ Vid. diario *El País*, 3 de diciembre de 1997: Ehsan Masood «*La ciencia que hay detrás de Kioto*».

⁷ Vid. *Change*, nº 39, nov. dec. 1997.

Solar-Terrestrial Physics. En él se señala que el pico del ciclo de actividad solar registrado a principios de los años noventa es uno de los más importantes desde hace dos siglos, aspecto a considerar a la hora de valorar, en todas sus componentes, el incremento térmico registrado en la superficie terrestre durante dicho período. El aumento de la radiación solar incidente ha sido, por su parte, cuantificado por R.C. Wilson a partir de los datos suministrados por los satélites *Nimbus*, *Solar Maximum Mission* y *ERBS*; según el climatólogo estadounidense, entre 1986 y 1996, la radiación solar habría aumentado un 0,036%. De seguir el ritmo de este incremento la temperatura terrestre podría sufrir una elevación de 0,4°C en la próxima centuria, sólo a causa de la actividad solar. Cuestión distinta es evaluar la validez de estos datos, tanto por la calibración de los radiómetros como de la parquedad serie de años manejada. Para evaluar la intensidad del flujo solar incidente Grant Raisbeck ha señalado la relación inversa existente entre la actividad solar y la formación de berilio 10 en los hielos polares. La presencia de este elemento sería abundante durante el llamado «mínimo de Maunder» que, entre 1650 y 1700, dio lugar a una fase fría del clima en Europa.

Los defensores de la relación entre emisiones de gases invernadero e incremento de temperaturas señalan que estas ideas sobre la influencia de la actividad solar en el ritmo térmico terrestre sólo serían un complemento de la hipótesis oficial de cambio climático por efecto invernadero. Opinión defendida por van Ulden, van Dorland, Verjeig y Schoenmaeckers, entre otros (vid. *Change*, nº 39).

MONTÓN y QUEREDA (1997) defienden también la importancia de la actividad solar como responsable último de las fluctuaciones experimentadas por las temperaturas en el último siglo. A partir del análisis de series térmicas de observatorios españoles situados en la fachada mediterránea, y tras evaluar el efecto de calentamiento urbano experimentado por las estaciones meteorológicas, señalan que si de los 0,6°C de aumento térmico registrado, por término medio, en las series estudiadas —para el período 1941-94— se eliminan 0,3°C que serían consecuencia del «efecto urbano» de los observatorios, los restantes 0,3°C encontrarían explicación en la relación entre actividad solar y actividad volcánica.

3ª.— Los modelos de cambio climático con que se trabaja en la actualidad, a pesar de su mejora merced al uso de medios informáticos de gran capacidad de proceso de datos, no son, ni mucho menos, perfectos. Resultan cuestionables, en primer lugar, por la amplitud de las retículas que manejan, lo que obliga a extrapolaciones estadísticas para cubrir, a partir de registros de un observatorio de referencia con serie analítica suficientemente amplia, espacios geográficos con realidades climáticas a menudo muy diferentes. Estas operaciones matemáticas, científicamente correctas en teoría, imprimen, por contra, gran artificialidad a los estudios climáticos, máxime si se entiende por clima, siguiendo la acertada afirmación del climatólogo francés Pédelaborde, «*lo percibido y vivido por el hombre*». Le Bras apunta que la amplitud de la malla de los modelos de cambio climático actuales descuida detalles tan importantes como la altitud de las cadenas montañosas, la profundidad de las fosas oceánicas, la altura de las nubes o la superficie de contacto de los océanos.

Y junto a ello la propia definición de variables a incluir en los modelos. Los modelos de cambio climático siguen sin tener una idea clara de la cantidad global de carbono presente en la atmósfera, es decir, del balance de fuentes y sumideros de CO₂, así como de otras formas de carbono, como tejidos de plantas y animales. Aún no se puede determinar con exactitud la cantidad de carbono que liberan determinadas fuentes. El IPCC estima que

la combustión de combustibles fósiles es responsable de la emisión de 6 petagramos de carbono al año, mientras que la combustión de biomasa contribuiría con otros 1,6 petagramos. Más compleja aún resulta la determinación de la cantidad de carbono que hay en los sumideros y depósitos naturales. De los tres sumideros de carbono más importantes, atmósfera, mar y tierra, el único cuyo contenido de carbono se conoce con bastante certeza es el primero de ellos. Se estima que el 46% del total de las emisiones de carbono se quedan en la atmósfera. Por tanto queda aún por establecer cómo se distribuye el 54% restante. Manejando como posible el dato aportado por recientes estudios que señalan que el mar absorbería 2 petagramos de carbono cada año, queda todavía sin explicar el destino de otros 2 petagramos. Se suele asumir que esta cantidad sería la que almacenaría el sumidero terrestre y, en concreto, el mundo vegetal en forma de crecimiento continuado.

En este sentido, científicos de la Universidad de Duke, en Carolina del Norte, integrantes del proyecto acerca del «*bosque experimental*» (FACE), han puesto de manifiesto recientemente que las plantas pueden absorber el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera y trasvasarlo, a través del aparato radicular, al agua subterránea, donde permanecería almacenado durante miles de años. De confirmarse esta hipótesis, habría que modificar los actuales modelos de cambio climático, puesto que el aumento de CO₂ atmosférico sería menor de lo que se deduce del ritmo actual de emisiones; y, por tanto, el calentamiento global previsto sería inferior al establecido en los trabajos de diversos grupos científicos y del propio IPCC. En Europa, según los trabajos de Kauppi, Mieliainen y Kuusela, el aumento de la biomasa experimentado entre 1971 y 1990 en el bosque templado habría favorecido un almacenamiento de carbono superior al contemplado en los modelos de cambio climático; entre 85 y 120 teragramos (millones de toneladas) al año, en el período citado. Si esto ocurriese en otros bosques templados del planeta, podría identificarse al menos parte de la cantidad de carbono almacenada en el sumidero terrestre.

No obstante estas mejoras, los modelos de cambio climático adolecen de imperfecciones en el análisis de ciertos aspectos básicos de la circulación atmosférica planetaria. La fuente más importante de incertidumbre es el comportamiento de la nubosidad frente al supuesto cambio climático. Las nubes son piezas básicas en la regulación del balance de radiación energética. El calentamiento global podría afectar a la cantidad de nubosidad, a su localización, a su altitud y a las propiedades reflectantes de los distintos géneros de nubes. Los movimientos del mar son otra incógnita en los modelos climáticos. No cuantifican el movimiento de las corrientes profundas ni la difusión del calor desde la superficie del mar. No se sabe con certeza cuál es la capacidad de los océanos como sumideros del CO₂. Poco conocidas son aún las reacciones y contrarreacciones químicas de gases invernadero tan importantes como el metano y el ozono troposférico. Por ejemplo, el dióxido de nitrógeno y el hidrocarburo no quemado procedente de los tubos de escape se combinan para formar ozono que, a su vez, genera reacciones químicas que destruyen el metano. Y una última incógnita la constituye la reacción de la biosfera misma ante un incremento del efecto invernadero.

En suma, los modelos climáticos más actualizados, tras introducir los últimos descubrimientos sobre enfriamiento de la estratosfera y los efectos de sombra de los aerosoles de sulfatos, hablan de un calentamiento de 2,3°C en la superficie terrestre para una duplicación del nivel actual de CO₂. Lejos quedan intervalos de incremento tan poco precisos como el establecido en 1985 en la Conferencia de Villach (entre 1 y 4,5°C) o los 2,5°C de incremento previstos en la revisión del IPCC realizada en 1995. En efecto, el tratamiento de los aerosoles es básico para el perfeccionamiento de los modelos de cambio climático

dado su poder refrigerante. A su estudio dedican esfuerzos los *experimentos ACE* (Experimento de Caracterización de Aerosoles), del que se han realizado ya dos campañas —verano de 1996 y de 1997—, a fin de poder calibrar mejor los modelos de calentamiento del clima actuales.

4ª.—La dinámica de los océanos sigue siendo una gran desconocida en los estudios del clima, tanto en su papel, ya señalado, de sumidero de dióxido de carbono como en la respuesta de la circulación de corrientes oceánicas ante un posible aumento térmico provocado por la emisiones antrópicas de gases. En este sentido, Jean-Claude Duplessy (1997) ha destacado la importancia del comportamiento oceánico en las variaciones que experimenta a corto y medio plazo el clima terrestre. El ejemplo más significativo de ello son las relaciones entre temperaturas marinas y campos de presión en superficie, conocidas desde comienzos de siglo como «*oscilaciones*», y cuyo máximo exponente sería el fenómeno ENSO del Pacífico, el famoso «*Niño*». Duplessy señala que los estudios paleoclimáticos atestiguan que las características benignas del clima europeo actual dependen, en gran medida, del transporte de calor por las corrientes marinas integrantes de un circuito mundial de intercambio térmico y de salinidad entre las diferentes cuencas oceánicas, denominado cinta transportadora, cuya existencia ha sido comprobada por observación oceanográfica y mediciones geoquímicas. El investigador francés otorga protagonismo de primer orden a las variaciones en la aportación de agua dulce al Atlántico norte como motor de esa cinta transportadora transoceánica. Para Duplessy, la incorporación de la dinámica oceánica en los recientes modelos de circulación atmosférica planetaria, elaborados por el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory de la Universidad de Princeton para indagar la evolución futura del sistema climático terrestre, muestra que una duplicación del contenido de CO₂ en la troposfera provocaría el frenado en la circulación oceánica, motivado por las aportaciones de agua dulce al Atlántico norte por el deshielo debido al progresivo aumento térmico. Según Duplessy, esta desaceleración en la circulación oceánica se saldaría, en un primer momento, con un descenso de temperaturas en Europa Occidental. En relación con ello, pone el ejemplo del episodio de Dryas reciente, acaecido hace 11.000 años, cuando una inyección masiva de hielo desde el océano Glacial Ártico habría desestabilizado el clima del hemisferio norte, originando un período frío intenso. El investigador francés destaca asimismo el ejemplo mucho más reciente del episodio frío en el hemisferio norte entre 1965 y 1976, que supuso un hiato en la tendencia de aumento térmico del siglo actual. Según Duplessy esta «*crisis*» climática habría estado asociada a un aumento de lluvias y nevadas en Norteamérica entre 1964 y 1966, seguido de una producción masiva de hielo en el océano Glacial Ártico. Este hielo, expulsado al mar de Groenlandia, originó una disminución de la salinidad al fundirse en verano; esta variación, denominada «*Gran Anomalía de Salinidad*», afectó al Atlántico norte hasta 1980 y causó una desaceleración en el circuito oceánico, provocando la disminución de temperaturas en el hemisferio septentrional. Similares consideraciones han sido apuntadas por Wallace Broecker, del Observatorio de la Tierra Lamont-Doherty, quien, a partir del análisis de los hielos de Groenlandia, señala que cada período de temperaturas bajas ha estado marcado por la irrupción de grandes armadas de icebergs en el Atlántico Norte y un incremento de polvo en la atmósfera, lo que ocasiona un pronunciado cambio en los patrones característicos de los vientos planetarios. Según Broecker, las tierras húmedas de los trópicos y los glaciares de Chile o Nueva Zelanda expandieron o redujeron su extensión en clara sincronía con los cambios registrados en el Atlántico Norte.

5ª.— ¿Habrían cambiado ya las zonas climáticas del planeta? De ser afirmativa la respuesta sí que se podría hablar de un verdadero cambio climático. Sin embargo, en el nivel actual de conocimientos la comunidad científica no encuentra indicios razonables en este asunto. A comienzos de los años noventa, coincidiendo con una secuencia de sequía aguda en las tierras ibéricas, se especuló con la posibilidad de la probable ganancia de latitud que estaría experimentando la célula de Hadley del hemisferio septentrional, y con ello la mayor presencia futura en nuestras tierras del alta de Azores, terminación septentrional de aquélla en nuestro ámbito. La secuencia lluviosa 1995-97 ha devuelto a la realidad una cuestión falta de análisis con series sinópticas históricas. En este sentido, el estudio de Queda, OLCINA y MONTÓN (1996) sobre el incremento de las llamadas «*lluvias de barro*», observado en los primeros años del decenio de los noventa en observatorios de la fachada mediterránea española, apuntó asimismo a dichos fenómenos como un probable indicio de la ganancia latitudinal de la célula de Hadley septentrional, que confirmaría el aumento de influencias subtropicales en latitudes medias. No obstante, es una cuestión cuya necesaria revisión histórica tropieza con la seria dificultad de la carencia de anotaciones meteorológicas sistemáticas sobre este peculiar hidrometeoro.

6ª.— ¿Cómo pueden verse afectados los climas de la península Ibérica ante un hipotético cambio climático por efecto invernadero? La respuesta no es única ni sencilla, a pesar de los mensajes catastrofistas difundidos en los últimos años. Los primeros modelos de cambio climático hablaban de una reducción importante de precipitaciones en la mitad meridional de la Península Ibérica, vinculada a la hipótesis de progresiva desertización de dicho territorio. No obstante, la precipitación sigue siendo otra incógnita en los modelos de cambio climático. Los efectos del calentamiento por efecto invernadero en las precipitaciones planetarias no han sido evaluados con idéntico detalle a las temperaturas. Esta creencia primera fue pronto desestimada, tras los primeros análisis de series de precipitación de observatorios españoles en los que se ponía de manifiesto la mayor precipitación acumulada en el último período meteorológico internacional (1960-90) respecto a los dos anteriores.

FERNÁNDEZ GARCÍA (1994) ha comprobado este hecho para las estaciones meteorológicas de La Coruña, Burgos, Madrid, Valencia y Sevilla, y señala que los totales anuales han aumentado desde principios de siglo y que los mayores incrementos se han producido entre la primera y tercera treintena del siglo. Olcina y Rico han analizado las precipitaciones registradas en el observatorio de Alicante desde 1900 a 1990, comprobando el aumento significativo apreciado en la segunda mitad de siglo respecto a la primera (de 15.000 mm. acumulados entre 1900 y 1945 se pasa a 17.000 mm. en 1945-90)⁸. Esta apreciación sobre el aumento de precipitaciones que se habría producido con el avance del presente siglo ha sido demostrado, asimismo, por Anthony del Genio, que ha comprobado, en una reciente investigación llevada a cabo en el Instituto de Estudios Espaciales Goddard de la NASA, que las lluvias sobre la superficie terrestre se habrían incrementando un 2% por decenio desde los inicios del siglo XX. Por otra parte, si se produce un aumento significativo de temperaturas, ello iría asociado a la mayor importancia de procesos de evaporación

8 Extracto de resultados presentados en la conferencia «Certezas e incertidumbres sobre la hipótesis del cambio climático por efecto invernadero y sus repercusiones en las tierras valencianas» impartida en el marco de las Jornadas Científicas sobre *Avances Recientes en Climatología: Repercusiones en las tierras valencianas*, organizadas por el Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante (17 a 26 de noviembre de 1997).

y, por ende, a una mayor presencia de vapor de agua en la atmósfera, lo que daría como resultado un aumento de la nubosidad.

El empleo de modelos de Circulación Atmosférica General para la predicción de tendencias climáticas futuras ha demostrado, en el caso de las precipitaciones, unos resultados y, también, los contrarios. Así, el IPCC ha señalado una reducción de precipitaciones en el sur de la Península Ibérica, mientras que GONZÁLEZ-ROUCO et alii. (1998) manejando un modelo estadístico que permite realizar predicciones de alta resolución espacial de la respuesta de las lluvias al forzamiento radiativo por incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles y su relación con la presión a nivel de mar en el Atlántico Norte, llegan a la conclusión de que las precipitaciones en España disminuirían en el tercio norte y aumentarían en el resto del territorio.

Desestimada la idea de una reducción significativa de las precipitaciones, los modelos actuales de cambio climático hablan, para la península Ibérica, de una acentuación de los rasgos climáticos, que se traduciría en sequías mayores y en episodios de lluvias intensas con efectos de inundación. Ante ello hay que preguntarse si la sucesión de sequías y lluvias torrenciales no son sino los rasgos que, mayoritariamente, caracterizan los tiempos y climas de nuestro país, sobre todo en su dominio de clima mediterráneo. Cuestión distinta es que estos episodios tengan, en el futuro inmediato, consecuencias más catastróficas para la sociedad española, a la vista del escaso interés por aplicar las medidas necesarias de ordenación del territorio y de los recursos que eviten o mitiguen, en la medida de lo posible, los efectos de carencia o sobreabundancia de aguas. Cuando se redactan estas líneas, a comienzos del año 1998, las tierras ibéricas atraviesan un período de abundantes lluvias que ha hecho olvidar las terribles consecuencias económicas ocasionadas por la anterior secuencia de indigencia pluviométrica, en 1992-95; se han frenado los planes previstos por la Administración para mejorar las dotaciones de las regiones con escasez (trasvases, embalses, desaladoras) y, lo que es peor, el ansiado Plan Hidrológico Nacional no ve claro su futuro ante las disputas motivadas por la «*patrimonialización*» del agua por parte de las Comunidades Autónomas. Por otro lado, ha sido necesaria la pérdida trágica de vidas humanas ocurrida tras las riadas de septiembre en Alicante, y de noviembre en Badajoz, para que se pusiera de manifiesto el incomprensible incumplimiento legal (Ley de Aguas, Ley del Suelo) en la construcción de edificaciones junto a, e incluso sobre, los cauces habitualmente secos. No, en contra de lo afirmado con ligereza por algunas organizaciones ecologistas, estos episodios no son un síntoma del cambio climático sino un signo claro del desdén del hombre por el conocimiento de los rasgos del medio geográfico en el que se asienta.

Es necesario promover la investigación de los climas del pasado a fin de poder situar los procesos actuales en un contexto adecuado de fluctuaciones experimentadas por el clima terrestre en épocas anteriores. Sirva como ejemplo el exhaustivo estudio de episodios atmosféricos extraordinarios, en época histórica, que está realizando el grupo de climatología de la Universidad de Barcelona a partir de la consulta de fuentes documentales (vid. MARTÍN VIDE, ed., 1997), tarea básica para el conocimiento del clima y sus variaciones temporales.

Reflexión final: cambio climático *versus* riesgos climáticos

Frente a los supuestos de «cambio climático», es decir, frente a lo que nos dicen que habrá, está la realidad de unos episodios atmosféricos que componen el catálogo de «ries-

gos climáticos» del planeta y que vienen causando graves perjuicios económicos y, aún peor, pérdidas humanas. Las consecuencias de estos eventos motivaron la declaración, bajo los auspicios de la O.N.U., del periodo 1990-1999 como Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales. Algo que, sin embargo, no está teniendo la difusión ni el apoyo económico de los que sí goza el «cambio climático». Por el contrario los partidarios de la hipótesis del cambio climático afirman que la génesis de episodios atmosféricos excepcionales (temporales de viento, heladas, inundaciones) son una consecuencia más del cambio climático.

El estudio de series climáticas históricas demuestra que estos eventos siempre se han producido, se están produciendo y se producirán, y no pueden por tanto ser achacados a meras consecuencias del cambio climático (OLCINA CANTOS, 1994 y MARTÍN VIDE, ed. 1997). Así, por ejemplo, la última secuencia seca en las tierras ibéricas (1992-95), lejos de ser la avanzadilla del «*inexorable*» proceso de desertización al que parecerían estar condenadas buena parte de las tierras de la Península Ibérica, tuvo digno antecedente hace apenas un decenio (1981-85); y dicha secuencia, asimismo, tuvo precedente a finales de los años sesenta, por citar sólo ejemplos próximos en el tiempo. Cuestión distinta es la adopción de medidas tendentes a paliar sus efectos más llamativos (falta de agua, campos resecos, etc.), agudizados hoy, incluso con lluvias normales, por el intensivo consumo de agua para la agricultura y para usos domésticos e industriales, muy superiores a los existentes hace unos pocos lustros. Lo que resulta imprescindible es dedicar medios para evitar que se produzcan las funestas consecuencias de las que nos informan los medios de comunicación, debidas, como ya se ha señalado, a actuaciones incorrectas del hombre por no tener en cuenta los caracteres del medio natural que habita. A la investigación de estos fenómenos se deberían estar dedicando más recursos económicos, porque es moneda corriente de los climas del planeta, y quizá no debiera invertirse tanto esfuerzo en intentar confirmar una hipótesis de calentamiento global sobre la que planean excesivas dudas.

De todas maneras, esto no debe significar una actitud pasiva e indiferente. No hay que quedarse de brazos cruzados. La humanidad no puede seguir creciendo económicamente bajo unos principios de depredación rápida de los recursos naturales del planeta. El único aspecto positivo de la difusión exagerada que se ha hecho del cambio climático quizá sea la llamada a la reflexión de los dirigentes mundiales para que se replanteen las bases del desarrollo económico global. En este sentido, el empleo, en un primer momento, de energías más limpias (por ejemplo, gas natural) como alternativa a la actual quema masiva de petróleo, intensificando la apuesta por las energías renovables (eólica, solar), y sin olvidar, a largo plazo, el enorme avance que puede suponer el control de la fusión nuclear, ha de constituirse en un fin necesario para encontrar el siempre difícil equilibrio entre población y recursos. Esta apuesta energética, junto a la implantación de duros castigos por parte de los gobiernos en el control de emisiones de CO₂ —aunque, ¿es realmente posible dicho control?—, la mejora de la eficiencia energética y, de forma destacada, el estudio sosegado pero firme de los procesos atmosféricos del planeta, completan la serie de medidas a tomar para mantener, en el futuro, la habitabilidad de nuestro planeta y conocer mejor sus respuestas ante la acción del hombre.

Reiteramos que una cuestión es el problema de contaminación que padece la atmósfera terrestre, y otra muy distinta el establecimiento de una relación estrecha y directa entre este hecho y el aumento térmico —o cambio climático— que, según algunos, estaríamos ya sufriendo.

El cambio climático «actual» encierra incógnitas que es preciso desvelar para poder avanzar en el estudio del sistema climático terrestre, evitando caer en dogmatismos catastrofistas que obstaculicen la elaboración de investigaciones serias sobre una cuestión de tanta importancia para el futuro de nuestro planeta.

Bibliografía

- AYALA CARCEDO F.J. (1995): «La hipótesis del cambio climático por efecto invernadero, 1995» *Rev. Tecnoambiente*. Madrid, mayo, pp. 4-7.
- BRUCE, J. P. (1995): «La Organización Meteorológica Mundial y el Cambio Climático», *Boletín de la OMM*, vol. 44, nº 1, pp. 18-22.
- BRUNET INDIA, M. (1998): «El debate de la influencia urbana sobre las tendencias térmicas globales» en *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. (Fernández García, F., Galán Gallego, E. y Cañada Torrecilla, R., Coords.) Ed. Parteluz, Madrid, pp. 549-564.
- CRUZ OROZCO, J. y SEGURA i MARTÍ, J. M. (1996): *El comercio de la nieve. La red de pozos de nieve en las tierras valencianas*. Consellería de Cultura, Educació i Ciència. Valencia, 244 pp.+ anexo cartográfico.
- DOROZYNSKI, A. (1998): «El poder de las radiaciones», *Ciencia y Vida*, nº 5, julio, Europe Star Publicaciones, Barcelona, pp. 81-84.
- DUPLESSY, J. C. (1997): «¿Hacia un enfriamiento de Europa?» *Mundo Científico* (La Recherche), nº 178, abril, pp. 331-335.
- DUPLESSY, J. C. y MOREL, P. (1993): *Temporal sobre el planeta*. Acento editorial, Madrid, 312 pp.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1994): «Los cambios climáticos recientes. Tendencias metodológicas y estado de la cuestión en España peninsular», en *Cambios y variaciones climáticas en España*, I Reunión del Grupo de Climatología de la Asociación de Geógrafos Españoles, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. La Rábida, pp. 19-33.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F., GALÁN GALLEGO, E. y CAÑADA TORRECILLA, R. (Coords.) (1998): *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Ed. Parteluz, Madrid, 606 pp.
- GARCÍA CODRÓN, J. C. (1996): *Un clima para la historia... Una historia para el clima*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria. Santander, 95 pp.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (dir.) (1993): *Medio ambiente y ordenación del territorio*. Fundación Duques de Soria, Grupo Endesa y Universidad de Valladolid. Valladolid, 145 pp.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (dir.) (1995): *Medio ambiente y desarrollo rural*. Fundación Duques de Soria, Grupo Endesa y Universidad de Valladolid. Valladolid, 187 pp.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (dir.) (1996): *Medio ambiente y crisis rural*. Fundación Duques de Soria, Grupo Endesa y Universidad de Valladolid. Valladolid, 221 pp.
- GARNETT, M. H., INESON, P. and ADAMSON, J. K. (1997): «A long-term upland temperature record: no evidence for recent warming», *Weather*, vol. 52, nº 11, november, pp. 342-351.
- GIL OLCINA, A. y OLCINA CANTOS, J. (1997): *Climatología General*, Ed. Ariel, Barcelona, 579 pp.
- GONZÁLEZ-ROUCO, J. F., HEYEN, H., ZORITA, E. y VALERO, F. (1998): «Cambio Climático en la precipitación peninsular: predicciones y observaciones» en *Clima y*

- ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas.* (Fernández García, F., Galán Gallego, E. y Cañada Torrecilla, R., Coords.) Ed. Parteluz, Madrid, pp. 565-576.
- HAEBERLI, W. (1995): «Las fluctuaciones de los glaciales y la detección del cambio climático; elementos operativos de una estrategia de vigilancia en todo el mundo», *Boletín de la OMM*, vol. 44, nº 1, pp. 23-31.
- HEIS, B. (1998): «Seud in the Aerosols!...?» in *Change* nº 41, april-may, Bilthoven, p. 3.
- HENARESOS, P. (1998): «Cuando el sol brilla demasiado», en *Ciencia y Vida* nº 5, julio, Europe Star Publicaciones, Barcelona, pp. 76-80.
- LAMB, H.H. (1974): «Desde hace 30 años la Tierra se enfría» en *Predecir y Cambiar el tiempo*. El Correo de la Unesco. Promoción Cultural, S.A., Barcelona, pp. 43-54.
- LAMB, H.H. (1979): *Climate: Present, past and future*. Methuen, London and New York, 2 vols. 613 y 835 pp.
- LE BRAS, H. (1997): *Los límites del planeta. Mitos de la naturaleza y de la población*. Ed. Ariel, Barcelona, 256 pp.
- LEGGETT, J. (1996): *El calentamiento del planeta: informe de Greenpeace*, (edición inglesa, *Global Warming: The Greenpeace Report*, 1990), Fondo de Cultura Económica, México, 523 pp.
- LEMONICK, M. D. et alli. (1987): «The Heat is On», *Rev. TIME*, vol. 130, nº 16, october 19, pp. 46-53.
- LINES ESCARDO, A. (1990): *Cambios en el sistema climático*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 125 pp.
- MAc DONALD, G.M. et alii (1998): «Response of the Central Canadian Treeline to recent climatic changes» in *Annals of the Association of American Geographers*, 88 (2), Blackwell Publishers, Malden and Oxford, pp. 183-208.
- MARCO MOLINA, J. A., OLCINA CANTOS, J., PADILLA BLANCO, A. y RICO AMOROS, A. (1996): «Abandono de terrazas de cultivo: recolonización vegetal y erosión en el sureste peninsular» en *IV Reunión de Geomorfología* (Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J. Eds.). Sociedad Española de Geomorfología. A Castro, pp. 133-146.
- MARTÍN VIDE, J. (ed.) (1997): *Avances en Climatología Histórica en España*. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, 223 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (1998): «Tres ideas-clave sobre el medio ambiente a escala planetaria» en *Territoris*, nº 1, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, pp. 215-222.
- MONTÓN CHIVA, E. y QUEREDA SALA, J. (1997): *¿Hacia un cambio climático? La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Fundación Davalos-Fletcher, Castellón, 520 pp.
- MOPT (1992): *Río 92. Tomo I*. Madrid. 44 pp.
- MORENO GARCÍA, M^a C. (1998): «Las investigaciones sobre el clima urbano de las ciudades españolas» en *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas.* (Fernández García, F., Galán Gallego, E. y Cañada Torrecilla, R., Coords.) Ed. Parteluz, Madrid, pp. 177-196.
- NOVELLI, P.C. et alii (1995): «Cambios recientes en el dióxido de carbono, el monóxido de carbono y el metano y sus implicaciones en el cambio climático mundial», *Boletín de la OMM*, vol. 44, nº 1, pp. 32-38.
- OLCINA CANTOS, J. (1994): *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Ed. Penthalón. Madrid, 417 pp.

- PFISTER, C. (1989): «Fluctuaciones climáticas y clima histórico. El clima en Europa Central desde el siglo XVI y el significado para el desarrollo de la población y la agricultura». *GeoCrítica*, Departamento de Geografía Humana, Universidad de Barcelona, pp. 7-37.
- AUIGCERVER ZANON, M. (1998): «Acerca del "agujero" de ozono en la estratosfera Antártica», en *Territoris* nº 1, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, pp. 215-222.
- QUEREDA SALA, J. J. y MONTÓN CHIVA, E. (1996): «Dióxido de carbono y clima en el litoral mediterráneo», en *Investigaciones Geográficas*, nº 16, Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, pp. 5-20.
- QUEREDA SALA, J.J., OLCINA CANTOS, J. y MONTÓN CHIVA, E. (1996): «Red dust rain within the Spanish mediterranean area», *Climatic Change* (Schneider, S.H, ed.) vol. 32, nº 2, February, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- RASO NADAL, J.M^a (1997): «Evolución reciente de las temperaturas medias anuales en España» en *Avances en climatología histórica en España* (Martín Vide, J. Ed.), Oikos Tau, Barcelona, pp. 91-115.
- SADOURNY, R. (1994) *El Clima de la Tierra*. Edit. Debate, 126 pp.
- TAPIA, F. y TOHARÍA, M. (1995): *Medio ambiente ¿alerta verde?* Acento Editorial, Madrid, 301 pp.
- TOHARÍA, M. (dir.) (1997): *El futuro que viene*. Ediciones Temas de Hoy. Enciclopedias del tercer milenio. Madrid. 678 pp.
- TRIGO i RODRÍGUEZ, J. M. (1998): «El Sol y el clima terrestre» *Mundo Científico* (La Recherche), nº 187, febrero, pp. 54-58.
- URIARTE, A. (1995): *Ozono. La catástrofe que no llega*. Tercera Prensa-Hirugarren prentsa, S.L Donostia, 204 pp.
- VERWEIJ, W. and SCHOENMAECKERS, B. (1997): «Sunspots welcome addition to greenhouse theory», in *Change*, nº 39, november-december, Bilthoven, pp. 1-3.
- VIERS, G. (1981): *Climatología*. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, 309 pp.
- WILLSON, R.C. (1997): «Total Solar Irradiance trend during solar Cycles 21 and 22», in *Science*, 277, 1963-1965, American Association for the Advancement of Science.