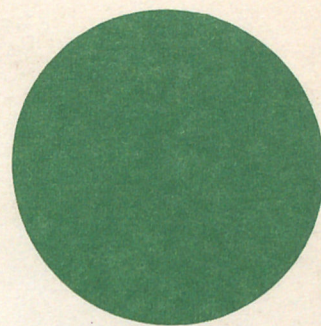


MINISTERIO DE TRANSPORTES, TURISMO
Y COMUNICACIONES

INM INSTITUTO
NACIONAL
DE METEOROLOGÍA



A - 108

Acción del hombre en el clima y contaminación

Alberto Linés Escardo

INM

A 108

MADRID-1985

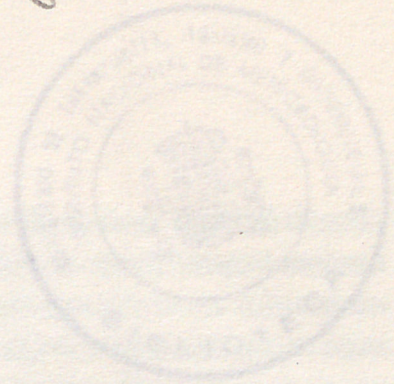
AEMET-BIBLIOTECA



1020301

RO 884/F
CB-1020301

Sig 110.42 = 60



CLIMA Y CONTAMINACION

La contaminación y deterioro del medio ambiente es un tema de extraordinaria actualidad y que a todos nos afecta, y no solamente como sujetos pasivos. También como activos agentes de dicho proceso.

En la atmósfera hay gran cantidad de sustancias que anteriormente no existían: humos, gases, partículas que provienen de los centros industriales, aerosoles, sustancias químicas procedentes de las combustiones y de los fertilizantes. Por último, hay que añadir que, prácticamente todas las frecuencias del espectro de las ondas hercianas están continuamente excitadas —cosa que no sucedía hace un siglo— sin que se sepa a ciencia cierta si tal hecho puede tener influencia en el clima o en los seres vivos. Pero este tema vamos a dejarlo también un lado, por ahora.

Además, se liberan cada día enormes cantidades de energía; se modifican las superficies terrestres, con lo cual se altera profundamente el al-

Acción del hombre en el clima y contaminación

Alberto Linés Escardo

... y ha extendido, una profunda acción del hombre en el clima. Recordamos que la Climatología, según Janáček, tiene por objeto estudiar el régimen normal de intercambio entre el suelo y la atmósfera. Si cambia el suelo, se altera el clima. Las modificaciones que se producen en la atmósfera, las que por lo regular adquieren una más frecuente actualidad, son quizá las relativas a la contaminación, tal vez porque se trata de una acción que, cuando se alcanza ciertos límites, sus efectos son inmediatos. El aerosol supone, en casos graves, cierre de escuelas, retención en los domicilios de personas de edad avanzada, una palabra, la necesidad de adoptar un cuadro de medidas de emergencia sanitaria. No debe extenderse, por tanto, las referencias a la contaminación, llevadas de una u otra manera, a veces, el agente contaminante es conocido por su nombre y apellido. Otras veces, las más, tal vez, el agente es una colectividad urbana o industrial, tal vez, tal vez, la contaminación violenta, levanta la conciencia consumista del

Hay, sin embargo, una contaminación que ni se ve ni se oye, pero que sus efectos inmediatos, si hubiese, serían terribles. Contaminación por radiación, por ejemplo, o por sus consecuencias y por sus efectos.

7. FEB 1986



MADRID-1985

50 884 F
CE 1050301

Acción del hombre en el clima y contaminación

Alberto Linares Escardo

27 FEB 1988



Imprime: Ferreira, S. A.
Marqués de Monteaudo, 17





CLIMA Y CONTAMINACION

La contaminación y deterioro del medio ambiente es un tema de extraordinaria actualidad y que a todos nos afecta, y no sólo como sujetos pasivos. También como activos agentes de dicho proceso.

En la atmósfera hay gran cantidad de sustancias que anteriormente no existían: humos, gases, partículas que provienen de los centros industriales, aerosoles, sustancias químicas procedentes de las combustiones y de los fertilizantes. Por último, hay que añadir que, prácticamente todas las frecuencias del espectro de las ondas hertzianas están continuamente excitadas —cosa que no sucedía hace un siglo— sin que se sepa a ciencia cierta si tal hecho puede tener influencia en el clima o en los seres vivos. Pero este tema vamos a dejarlo también a un lado, por ahora.

Además, se liberan cada día enormes cantidades de energía; se modifican las superficies terrestres, con lo cual se altera profundamente el albedo de las mismas. Se ha modificado el curso de los ríos, se han comunicado por canales grandes masas de agua; han aparecido unos lagos artificiales y otros naturales se han desecado. La superficie terrestre, en una palabra, está sujeta a un proceso de modificación artificial, de índole antropogénica. No pueden admitirse, por tanto, dudas razonables en el sentido de que existe, y ha existido, una profunda acción del hombre en el clima. Recordemos que la Climatología, según Jansá, tiene por objeto estudiar el régimen normal de intercambio entre el suelo y la atmósfera. Si cambia el suelo, se altera el clima. Las modificaciones que se producen en la atmósfera, las que por lo regular adquieren una más frecuente actualidad, son quizá las relativas a la contaminación, tal vez porque se trata de una acción que, cuando se alcanza ciertos límites, sus efectos son inmediatos. El «smog» supone, en casos graves, cierre de escuelas, retención en los domicilios de personas de salud delicada, y en una palabra, la necesidad de adoptar un cuadro de medidas que calificáramos de emergencia sanitaria. No debe extrañar, por tanto, que los temas relativos a la contaminación, levanten de una u otra forma, violentos comentarios. A veces, el agente contaminante es conocido, diríamos que por su nombre y apellidos. Otras veces, las más, tal cosa no es posible, y el sujeto agente es una colectividad urbana o industrial. La contaminación violenta, levanta la condena contundente del ciudadano.

Hay, sin embargo, otra contaminación que ni se ve, ni se denota por sus efectos inmediatos, ni huele mal. Contaminación invisible, más grave a veces que la visible, por sus consecuencias y porque a menudo es más

catastrófica y universal que otras, perseguidas y sancionadas con terribles cargas impositivas, como en el caso discriminatorio del ruido de las aeronaves. La contaminación invisible no se persigue, quizá porque todos somos culpables y porque arrastraría a tomar decisiones impopulares.

Algunas sustancias contaminantes son percibidas fácilmente por el hombre. El humo es, por supuesto, visible; es perceptible la presencia de óxido de nitrógeno, de los óxidos de azufre, que fácilmente originan el «smog» que se detecta por el ensuciamiento del aire y por la irritación de los ojos, nariz y garganta.

No debe sorprender que la OMM tenga en marcha un importante programa de observación de la contaminación ambiental (EPMP), apoyado en una red específica de estaciones de observación.

IMPORTANCIA DEL DIOXIDO DE CARBONO

Entre los contaminantes que no se ven, está en primer lugar el anhídrido carbónico. Dicho gas es incoloro, no tiene olor ni sabor, no es tóxico. Es inerte. Continuamente lo respiramos mezclado con el aire: actualmente hay una proporción, en peso, de unas 340 unidades por millón.

El gas carbónico diríase que acompaña a todos los ciclos biológicos. Por la respiración de animales y vegetales, se produce continuamente, y por la función clorofílica, por proceso de fotosíntesis, el gas carbónico se descompone, se libera el oxígeno y queda retenido el carbono. Otros procesos generadores de gas carbónico, de la máxima importancia, son las combustiones que aparecen en gran número de actividades industriales y aun mediante hechos no deseados, tales como incendios. Todo ello da lugar a la liberación de enormes cantidades de anhídrido carbónico, que va continuamente a la atmósfera. Otros mecanismos son al menos aparentemente, de menor importancia: emisiones volcánicas entre cuyos gases casi siempre figura el carbónico, determinadas reacciones naturales, emisiones muy localizadas del subsuelo y otras. Por último, hay otros fenómenos insuficientemente evaluados y que son las oxidaciones de los humus, posibles generadores de importantes masas de carbónico.

En la eliminación del anhídrido carbónico, podríamos señalar como primera forma la fotosíntesis. Otra, mucho más lenta, es la producción de carbonatos en la superficie terrestre. Y otra de excepcional importancia, aunque difícil de evaluar, está precisamente en el mar. El océa-

no disuelve lentamente anhídrido carbónico atmosférico y, aparte de determinados procesos de fotosíntesis, ese carbónico irá sedimentándose en forma de carbonatos insolubles o en los caparazones principalmente de crustáceos y moluscos. Tiempo atrás se pensaba, erróneamente, que el mar podía absorber indefinidamente todo excedente de gas carbónico atmosférico. Hoy se piensa de otra manera, y se cree que los océanos, por sí solos, pueden únicamente resolver en parte el problema de las enormes masas de gas carbónico que continuamente se producen en el mundo.

Recordemos brevemente el papel que juega en la atmósfera el anhídrido carbónico. De la radiación solar incidente, una parte la absorbe el terreno y la emite en onda larga, capaz de caldear la atmósfera; esa misma atmósfera, radia a su vez, con lo cual, se tiende a crear un equilibrio para que la Tierra ni se enfríe continuamente, ni tampoco se caldee indefinidamente, aunque sea en forma lenta.

EFEECTO INVERNADERO

Los mecanismos existentes para eliminar la radiación excedente, son varios. Quizá el más sencillo es el de la simple reflexión, y de ahí la importancia que tienen las variaciones del albedo. Merece comentarse el llamado efecto invernadero. La atmósfera, que es bastante transparente a la radiación solar, resulta opaca para la terrestre sobre todo en determinadas longitudes de onda; en otras, no. La presencia del vapor de agua retiene la radiación terrestre entre las 5 y 8 micras, el CO_2 retiene la radiación entre las 14 y las 17 micras. Queda una zona, entre 8 y 13 micras, transparente a la radiación terrestre, que es la llamada «ventana de la atmósfera».

La presencia del gas carbónico retiene la radiación y caldea la atmósfera; el crecimiento de dicho gas, de hecho puede determinar un aumento de la temperatura del aire. Lo peor del caso es que la proporción del gas carbónico está creciendo en la actualidad de forma alarmante, de manera que, prescindiendo de momento de otros efectos y centrándonos en la presencia creciente de anhídrido carbónico, hemos de señalar a dicho crecimiento como posible causa del caldeamiento de la atmósfera. Llevadas las cosas al extremo, está el caso del planeta Venus, cuya atmósfera está compuesta de anhídrido carbónico y vapor de agua. La temperatura de dicha atmósfera es de unos 800 grados. Naturalmente que estamos muy lejos de tal situación.

Dejando a un lado, de momento, los posibles efectos compensadores del calentamiento debido al anhídrido carbónico, y centrándonos en los

riesgos de su creciente proporción, lo anterior nos lleva enseguida a pensar desde cuándo la proporción del dióxido de carbono aumenta, y en qué cuantía. Dicho gas siempre ha estado presente en la atmósfera terrestre; lo que hace falta es saber cuál es el ritmo de crecimiento y sus consecuencias. El problema preocupa desde hace cerca de un siglo y puede decirse que ha comenzado a agobiar en los últimos decenios. Las evaluaciones que se han hecho hasta la fecha no son completamente concordantes. Más todavía: el tema del crecimiento del anhídrido carbónico en la atmósfera, a veces es tomado con escepticismo por algunos que piensan que el tema se ha exagerado.

EVALUACION DEL IMPACTO DEL INCREMENTO DEL CO₂

Dejando a salvo respetables opiniones, merece la pena reflexionar sobre la opinión de los expertos dedicados al tema, de los órganos solventes y de las organizaciones mundiales. En 1980, en la reunión celebrada en Austria por la OMM, el PNUN y el CIUC, para evaluar los conocimientos sobre el impacto del incremento del CO₂ en el clima, se adoptó una declaración en la que se reconoce que un aumento en la concentración del anhídrido carbónico puede cambiar el balance energético de la atmósfera, y que el aumento de la temperatura podría ser de un grado de aquí a fin de siglo, y aún mayor en latitudes polares con repercusiones importantes sobre los tipos de tiempos y sobre la agricultura.

En línea con estas ideas, se elaboraron una serie de recomendaciones, en orden a investigar, y con la máxima prioridad, dentro del PMIC a los problemas específicos del CO₂ y también el estudio de los sumideros naturales del dióxido de carbono.

Dos años después, la OMM, en el Boletín del PMC ya concretaba algo más; en los últimos 100 años la temperatura global de la superficie de la Tierra ha aumentado en 0,5 grados, y la proporción de CO₂ en un 25 %.

En estos dos últimos años ha habido valiosas comunicaciones relativas al problema del incremento del gas carbónico en la atmósfera y a sus efectos en la modificación del clima. Hoy día se considera prematuro un plan de gestión para el control de los niveles del CO₂ en la atmósfera; sin embargo, es muy significativo que alusiones a controles sobre las combustiones, aparezcan por primera vez. En el IX Congreso de la OMM se fijó el año 1985 para que, en una conferencia científica internacional, se efectúe una evaluación general del problema del CO₂. Así figura en el punto 3.2.3.5 de las resoluciones de dicho Congreso. Debe quedar claro, por tanto, que en los máximos organismos mundiales existe una enorme preocupación por el problema.

Las opiniones de los primeros tratadistas mundiales en materia de clima, son casi unánimes en cuanto al impacto del CO₂ en cambios climáticos a plazos no largos. Es extraordinariamente instructiva la obra «The Earth's Climate; Past and Future», de Budyko, del Observatorio Geofísico de Leningrado. Para dicho autor, la cosa está muy clara: el CO₂ ha jugado un papel decisivo en la evolución del clima, y cree que el incremento actual nos lleva a un acusado cambio. Apoya la teoría del incremento de medio grado en los próximos 20 años e incluso la posibilidad de que para el año 2020 el incremento en altas latitudes sea de unos 2,5 grados. El sueco Wallen hace algunas matizaciones en estas cifras, en el sentido de que en 1980, fecha de la publicación original de la obra de Budyko, el crecimiento del CO₂ se suponía más acelerado que en la actualidad, algo frenado por la reducción de demanda de energía.

La idea de que las latitudes polares sufrirán más impacto que las ecuatoriales, es casi general en los tratadistas, así como también la relativamente menor incidencia del incremento de la proporción del gas carbónico en la franja ecuatorial terrestre. Ello se relaciona con la mayor estabilidad de las capas de aire en las zonas árticas, que podría concentrar el efecto de caldeoamiento en los estratos más bajos del aire.

Es conocido el pesimista informe de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. Según el mismo, si el bióxido de carbono continúa aumentando en la atmósfera, se producirán alteraciones en el clima. No hay razón, añade, para no admitir que van a ser significativas, y que sobre todo, van a incidir en un aumento de la temperatura en la baja troposfera, debido a la retención en la misma de la radiación infrarroja emitida por la Tierra.

La EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente) de Estados Unidos, se ha hecho eco muy recientemente de la postura de la Academia Nacional de Ciencias y han iniciado un programa de mentalización pública acerca del problema. En línea con el mismo, aparecieron documentales, reportajes y otras formas de información tales como el documental: «Warming, warning», que fue emitido por TVE el 28 de septiembre de 1983.

Las consecuencias del incremento del CO₂ no son de sencilla deducción y no puede asegurarse que, al crecimiento de la proporción del CO₂ vaya a seguir, pura y simplemente, un caldeoamiento de la atmósfera, puesto que existen otras causas que pueden originar enfriamientos compensatorios. Una puede ser el deterioro de la capa de ozono, y otras la presencia de determinadas sustancias contaminantes de la alta atmósfera que, por mecanismo de difusión, puedan reducir la radiación solar incidente en el suelo. Entre ellas podrían citarse las nubes de ceniza volcánica,

capaces de reducir durante largos períodos la radiación solar incidente en la superficie terrestre. Téngase en cuenta que cualquier variación de la constante solar tendría enormes repercusiones en un sentido o en otro. Budyko ha presentado trabajos concluyentes en cuanto a las consecuencias de un cambio en la constante solar. A estos posibles procesos compensatorios del caldeoamiento originado por el gas carbónico nos referimos más adelante.

Así las cosas, se plantea el problema de, en un análisis de las causas que pueden alterar el balance de radiación, separar el efecto del CO_2 de las restantes. En el análisis de las variaciones globales a escala planetaria, de las temperaturas, se trata de desglosar el efecto del CO_2 . La identificación en los cambios atmosféricos, del papel jugado por el CO_2 , es el clásico problema matemático de identificar la llamada «señal» del ruido, o de separar la influencia del factor dominante, de los restantes. Este tema está siendo tratado en profundidad por Kellogg, aparte de otros autores. Según Kellogg, nunca se podrá decir con absoluta certeza que un calentamiento mundial ostensible es totalmente debido a la influencia del anhídrido carbónico, por lo cual, el resultado final podrá ser una formulación del grado de confianza con el cual la llamada «señal» del CO_2 pueda ser distinguida del ruido. Por tanto, puede haber un cierto grado de incertidumbre debido al inadecuado conocimiento acerca de interacciones dentro del sistema climático. Pese a todas estas salvedades y cautelas de Kellogg, este autor ya adelanta que nos encontramos ante un problema científico sin precedentes: un cambio climático que probablemente será evidente para la mayoría de las personas que viven hoy día. Y por supuesto, entre las causas de este cambio, destaca por su abultada significación, el continuo aumento del anhídrido carbónico en la atmósfera, sin que con ello restemos importancia a la presencia de agentes y ciertos gases que muy posiblemente no estuvieron anteriormente presentes en la atmósfera.

APLICACION DE MODELOS MATEMATICOS

Otra metodología, muy en boga, es la simulación de modelos matemáticos, que ha pasado a ser, de un ejercicio más o menos teórico, a una herramienta de trabajo cotidiana. En esencia, se trata de encontrar una formulación del clima en función de sus componentes, para introducir modificaciones en los mismos, tales como variaciones en la constante solar, composición de la atmósfera y otros. Así es posible estudiar los presumibles efectos de esas modificaciones en los balances de radiación, ciclos hidrológicos y otros. En los últimos quince años, han sido numero-

Los modelos empleados. Hasta el presente, no se ha encontrado un modelo plenamente satisfactorio, que permita explicar todas las consecuencias a que puede dar lugar el actual incremento en la proporción del gas carbónico, y otras variaciones de los diferentes agentes atmosféricos, tales como la proporción del ozono. Manabe, Smagorinsky, Holloway y Stone en 1970 presentaron un importante trabajo: «Simulated Climatology of a General Circulation Model with a Hydrological Cycle». El mismo Manabe, cinco años después publicaba su trabajo, fundamental en este tema, elaborado juntamente con Wetherald: «The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model». Se planteaba que un cambio en la proporción del CO₂ alteraría la circulación general atmosférica; no podría decirse a priori si lloverá, globalmente más o menos, pero no cabe duda de que el esquema de la circulación general se modificará. En este trabajo ya se aborda el problema en forma tridimensional y no unidimensional, como en otros anteriores.

Aun cuando los modelos matemáticos no son perfectos y no se ha resuelto por completo el problema, las ideas que pueden adelantarse son poco confortantes. En caso de que se duplicara la concentración del dióxido de carbono, por efecto de invernadero, se produciría probablemente un caldeoamiento en la troposfera, de promedio, de unos 3 °C. Los más fuertes incrementos de temperatura se producirían en las zonas polares. Esta afirmación acerca de dichas zonas polares es una constante de todos los modelos y de todas las hipótesis utilizadas.

Este caldeoamiento transformaría profundamente la circulación atmosférica. Por otra parte, cabría esperar una masiva fusión de hielos polares, de modo que, en el siglo próximo, podrían subir los niveles de los océanos en 5 metros. Algunas previsiones más pesimistas hablan de 8 metros para los comienzos de la segunda mitad del siglo próximo.

Una subida del nivel de los océanos en 8 metros, sumergiría el 1 % de la superficie de España, haría desaparecer prácticamente todas las playas, todos los puertos, unos diez aeropuertos y lo que es peor una incalculable riqueza urbana e industrial. Repetimos que esto último sólo es aplicable a las hipótesis más pesimistas, tales como las vertidas en el informe «Warning warming». Según las mismas hipótesis, las principales zonas cerealistas del mundo se aridificarían en forma muy sensible, de modo que su rendimiento se comprometería decisivamente.

La mayoría de los tratadistas de esta materia coinciden en una serie de puntos. La primera, que serán las zonas polares las más afectadas por el caldeoamiento de la troposfera, y las ecuatoriales las menos. Como consecuencia, los intercambios de calor sensible serán menores en las zonas templadas, lo cual puede suponer una debilitación del frente polar y una menor actividad en los fenómenos de inestabilidad baroclínica y posible-

mente, menor actividad de las gotas frías. Ello podría llevar a una menor precipitación en las zonas templadas, y sobre todo en las áreas más continentales. En cambio, pudiera intensificarse la precipitación en las áreas tropicales y ecuatoriales. Hoy por hoy, el único camino para vislumbrar este futuro está en ver cómo se modificarán los esquemas de circulación atmosférica. De ahí la importancia de los trabajos de Manabe, Wetherald, Smagorinsky, Holloway, Bryan, Stone, Spelman y otros. En cualquier caso, habrían de tenerse en cuenta, en una formulación global, todos los agentes que pueden incidir en la circulación general.

OTRAS POSIBLES CAUSAS MODIFICADORAS DEL CLIMA

Además de la presencia del dióxido de carbono, son muchas las causas que pueden modificar el esquema de la circulación general, y por tanto, el clima. Entre las causas naturales es preciso hacer especial referencia a las nubes formadas por cenizas volcánicas, sobre todo cuando alcanzan las capas estratosféricas, donde pueden permanecer largo tiempo, e incluso, han sido observadas durante meses. La incidencia en el clima de tales nubes depende de muchos factores, y entre ellos cabe destacar la naturaleza de la emisión volcánica y la altura alcanzada por las nubes de cenizas. En el tiempo inmediato a la emisión, hay reacciones químicas, en las cuales las oxidaciones juegan un papel importante. La persistencia de las nubes volcánicas tiene como consecuencia en la mayoría de los casos, una reducción de la radiación solar incidente en la superficie terrestre, o sea, un enfriamiento de la misma, que no se compensa con el calor aportado al suelo por la lava y a la atmósfera por los gases. Conviene tener en cuenta que en los últimos años ha habido gran actividad volcánica. La erupción de «El Chichón», en México, en la primavera de 1982, ha sido considerada la más importante del siglo, y las capas de ceniza alcanzaron 33 Km. de altura. También las nubes de polvo levantadas por el viento en las áreas desérticas son causa capaz de reducir apreciablemente la radiación incidente en la superficie terrestre. Las fotografías captadas por los satélites han puesto de manifiesto la extensión de este fenómeno.

Estas y otras causas que pudieran citarse como las relacionadas con las corrientes marinas, las tendríamos que calificar en un primer análisis, de causas naturales. Quedan las artificiales o antropogénicas cuya persistencia no es preciso describir. El simple enturbiamiento de la atmósfera por la contaminación industrial o urbana, es la primera causa capaz de reducir la radiación solar que llega al suelo. A veces, se presentan situaciones extremadas como en el caso de las nieblas industriales, o bien, formación del «smog». No entramos en los complejísimos fenómenos físico-quími-

cos a que dan lugar los diferentes contaminantes atmosféricos, y su incidencia en el clima. Vamos a fijarnos únicamente en aquellos que afectan directamente a la ozonósfera, tema al que la OMM ha prestado gran atención.

En efecto: el 28 de enero de 1982, el Secretario General de dicha Organización difundía la tercera declaración de la OMM sobre «Modificación de la capa de ozono debida a las actividades del hombre y algunas posibles consecuencias geofísicas». Esta tercera declaración reemplazó a la segunda, publicada el 20 de octubre de 1978 y a la primera, aparecida el 26 de noviembre de 1975. Al menos en España, estas declaraciones apenas tuvieron eco en la opinión y carecieron de trascendencia al público.

La declaración de la OMM expresa su alarma por los efectos de las alteraciones en la capa de ozono motivado principalmente por la presencia de los óxidos de nitrógeno y los clorofluorometanos.

En cuanto a los componentes nitrosos debido al vuelo de aeronaves en la estratosfera y en la troposfera superior, la declaración indica que:

«Las grandes flotas de aeronaves, ya sean supersónicas o subsónicas, que operan en la estratosfera inferior o por encima de ella (15 Km. o más en altitudes medias y polares) reducirán significativamente la capa de ozono, de acuerdo con los cálculos actuales. Los mismos cálculos también muestran que las flotas que operan a altitudes inferiores producirán cierto aumento del ozono. Por lo tanto, los cambios de ozono atribuibles únicamente a las flotas de aeronaves existentes o proyectadas dependerán del tamaño de las flotas y de sus altitudes de vuelo y quizás no sean forzosamente insignificantes.»

En cuanto al problema de la producción de óxido nítrico en la superficie, relacionado con la utilización de fertilizante, la OMM establece que:

«Los actuales conocimientos de este problema indican que existen pocas probabilidades de que se produzca un cambio significativo en la capa de ozono en este siglo como consecuencia de modificaciones de las prácticas agrícolas, pero esta cuestión requiere un constante estudio debido a los posibles efectos a más largo plazo.»

Los clorofluorometanos son sustancias muy empleadas en la industria del frío y sobre todo, como agente esparcidor, en los vulgarmente llamados «spray», de uso tan común en la pintura, limpieza, cosmética, etc. Ofrecen la ventaja de no ser tóxicos, ni combustibles y tener un bajísimo punto de ebullición. Sin embargo, su acción sobre la ozonósfera es preocupante. La repetida declaración de la OMM dice:

«Independientemente de otros factores de modificación, si la emisión de estas sustancias prosiguiera de manera continua y con la misma intensidad mundial que en 1977, el efecto permanente y a largo plazo que se produciría sería una disminución media del ozono comprendido entre un 5 y un 10 %, aunque la gama completa de incertidumbre total podría ser mayor. Todo ello suponiendo que no haya otros sumideros importantes para los clorofluorometanos.»

Las consecuencias del deterioro de la capa de ozono son de índole biológica (incremento de la radiación UV-B, susceptible de causar eritema), y de índole climática. Referente a estas últimas, señala la OMM en los puntos 19, 20 y 21 de su declaración:

«19. Como la radiación solar ultravioleta es fuertemente absorbida por el ozono, la temperatura de la estratosfera se mantiene en gran medida gracias a un equilibrio entre la absorción de la radiación solar por el ozono y la emisión de radiación infrarroja atmosférica por el ozono, anhídrido carbónico y vapor de agua. Los cálculos efectuados con los modelos actuales indican que, en correspondencia con la citada reducción permanente del 5 al 10 % en la columna de ozono total, pueden producirse disminuciones locales del ozono de hasta el 35 % a niveles de aproximadamente 40 Km. Esta disminución del ozono local podría traducirse en un descenso de la temperatura local de aproximadamente 10 °C, pero tendría un efecto despreciable (una fracción de un grado) en la temperatura de la superficie de la Tierra. Sin embargo, se ha sugerido que pequeños cambios en las concentraciones de ozono en la troposfera podrían causar un aumento directo en la temperatura de la superficie comparable al producido por el efecto del CO₂.

20. Los clorofluorometanos y otros compuestos halógenos tienen fuertes bandas de absorción en la parte infrarroja del espectro donde los otros gases raros son bastante transparentes y, por consiguiente, un aumento de la cantidad de estos compuestos en la troposfera causaría un calentamiento por su efecto adicional de «invernadero». Se ha estimado que una emisión continua de clorofluorometanos con la misma intensidad que en 1977, sin tener en cuenta otros factores, podría de esta forma producir un aumento medio de la temperatura en la superficie de 0,5 °C en el próximo siglo. Dicho cambio en la temperatura media mundial podría tener consecuencias importantes.

21. Los estudios realizados con modelos dinámicos atmosféricos han sugerido que los cambios importantes de la temperatura estratosférica podrían traducirse en un cambio estructural de las ondas troposféricas a escala planetaria y, por tanto, traducirse en cambios del clima regional. Dada la complejidad de las interacciones estratosfera-troposfera, no es posible en estos momentos llegar a ninguna conclusión segura con respecto a todas las consecuencias que estos cambios podrían tener en el clima de la Tierra, por lo que, en consecuencia, es necesario realizar estudios más intensos a este respecto.»

EVOLUCION DE LA PROPORCION DEL ANHIDRICO CARBONICO EN LA ATMOSFERA

Es conveniente presentar algunos datos concretos acerca de cuál es la proporción actual del CO_2 en la atmósfera, y cómo ha evolucionado últimamente. Como es sabido, hay en la atmósfera dos gases mayoritarios: el nitrógeno y el oxígeno; entre ambos completan más del 99 % de la atmósfera. El CO_2 se mide no en tanto por ciento, sino en tanto por millón. Medidas de la concentración media de la totalidad de la atmósfera del CO_2 , confiables, no se ha dispuesto hasta 1958, en que, con ocasión del Decenio Geofísico Internacional, se instaló en Mauna Loa, en Hawai, una estación de medida, lugar óptimo por su representatividad de la totalidad de la atmósfera.

En 1958 el tanto por millón medio anual rondaba las 315 unidades y este valor ha ido aumentando más o menos a razón de un punto por año, de modo que ahora nos encontramos por encima de 340 partes por millón. El contenido del CO_2 experimenta oscilaciones en el curso del año, de forma que hay un crecimiento acusado, a finales de invierno y un descenso ligero en verano; ello es lógico según los mínimos y máximos períodos de fotosíntesis vegetal unido a la mayor combustión en invierno. Aparte de las medidas de Mauna Loa, hay otras en el mundo y todas son concordantes en las tendencias al crecimiento del CO_2 y también en cuanto a las oscilaciones dentro del año, que son muy variables de unas áreas a otras. Incluso en vecindades de zonas muy pobladas, como Long Island, puede llegar a 15 partes por millón la diferencia entre el máximo y el mínimo. Para dicha variabilidad los estudios a escala planetaria suelen hacer referencia a Mauna Loa, situado hacia el centro de la más vasta área oceánica.

A escala local, o mejor aún, a microescala, las proporciones de CO_2 son mucho mayores. En la plataforma de estacionamiento de un aeropuerto, las medidas de CO_2 oscilan entre las 500 y 600 unidades. En un estacionamiento subterráneo, se puede exceder de 1.000 y aún más. Pero estos datos puntuales no significan mucho para el problema a escala planetaria.

Acerca de estas cifras, se nos plantean una serie de interrogantes del mayor interés. Las primeras preguntas que podemos hacernos son acerca de lo que ha podido aumentar el CO_2 debido a las acciones antropogénicas, y de si podría hablarse de una proporción más o menos estable del CO_2 antes de que estas acciones antropogénicas se hicieran patentes. No cabe duda de que CO_2 ha habido siempre, y al menos en los tiempos históricos, en proporción que hubiera permitido holgadamente la fotosíntesis en los vegetales. Otras preguntas podrían ser cuánto puede crecer

el CO_2 y qué consecuencias podrá acarrear a plazos cortos, medios y largos.

Si nos detenemos en la primera cuestión, podríamos preguntarnos, por ejemplo, cuál era la proporción de CO_2 hace 80 ó 100 años. Son muchos los autores que establecen una proporción de 290 ppm para 1900. Kellogg da el valor 280/290 para hace un siglo, lo que supondría un 20 % de aumento en 100 años; Woodwell cree ha sido de un 25 % de aumento en 125 años, y sitúa en el año 1850 en proporción de algo menos de 290 partes, poco más que en la hipótesis de Kellogg. Todas las medidas y estimaciones realizadas apuntan a un crecimiento vertiginoso en los últimos 25 años, quizá algo decelerado en los años más recientes.

El seguimiento del ciclo del carbono, es esencial a la hora de hacer cualquier tipo de consideración. No pretendemos extendernos mucho en el tema, acerca del que hay abundante bibliografía. Básicamente podemos suponer que el carbono se encuentra: 1.º en la atmósfera en forma de CO_2 ; 2.º en la biosfera, formando parte de los seres vivos, o bien en las capas orgánicas superficiales del terreno; 3.º en el subsuelo, en forma de compuestos carbonatados o bien en forma de carbón, más o menos puro, o hidrocarburos fósiles. Y en cuarto lugar hay que contabilizar el sumidero o fuente más difícil de evaluar: el océano. El agua del mar tiene gran capacidad para disolver CO_2 , que poco a poco se sedimenta en diversas formas.

Cuando se habla de balances de carbono se utiliza como unidad el «gig tons» (gigante tonelada), que son mil millones de toneladas, o bien 10^{15} gramos. Anualmente se consumen unos 2.500 millones de toneladas de hidrocarburos fósiles, y aproximadamente, una cifra del mismo orden de magnitud de carbón, gas natural y otros combustibles, principalmente madera.

Para seguimiento del CO_2 o de los ciclos de carbono podemos hacer la evaluación en dióxido de carbono o bien podemos hablar de carbono; es quizá más cómodo esto último. Para el paso de uno a otro sistema de evaluación hay que multiplicar el dato de carbono por 23/7 para obtener el CO_2 . Según las evaluaciones actuales, hay en la atmósfera unos 700 «gig tons» de carbono, en forma de CO_2 .

La reducción de las zonas forestales, en los siglos pasados, ha podido determinar incrementos del CO_2 atmosférico y cambios climáticos. Resulta difícil encontrar algún tipo de evaluación cuantitativa, y trataremos de dar alguna idea relativa al orden de magnitud de tal variación.

La continua deforestación a lo largo de los últimos siglos permite aventurar que el crecimiento de la concentración del gas carbónico no es exclusiva de la segunda mitad del siglo XX. Es cierto que ahora se ha

disparado, pero posiblemente ha habido un lento crecimiento a lo largo de los siglos pretéritos y que ha contribuido a un deterioro del clima en las zonas templadas.

Si nos referimos a la descripción de los antiguos historiadores de la Península Ibérica, nos la presenta como un inmenso bosque, donde una ardilla podría pasar del Pirineo a Gibraltar sin tocar el suelo. La desertización del Norte de Africa es bien reciente; Ramusio, en 1582 comenta que en Mauritania los olivos eran tan gigantes, que la aceituna se recolectaba por métodos distintos del clásico vareo de Europa (se refería a la entonces Mauritania del Norte de Africa). Desde luego, en los comienzos del presente milenio, el Mediterráneo acusa un decaimiento forestal. Hacia el siglo XIII el poder naval de Siria se resiente, quizá porque los bosques no proporcionan la madera en cantidad y calidad necesaria. En el siglo XV, cuando el tránsito naval crece espectacularmente en el Mediterráneo, se precisan grandes mástiles para los complejos velámenes, más complicados que las antiguas velas latinas, para poder navegar con viento del E y del W. No siempre los bosques mediterráneos pudieron proporcionar estos palos. Las escuadras turcas y las venecianas prefirieron las galeras, menos exigentes en calidades de madera, y cuando en el siglo XVI se plantea la navegación en el océano, los astilleros mediterráneos tendrán que importar largos troncos del Báltico, con lo cual florece la industria en el Norte de Europa, en los siglos XVII y XVIII, y decae la mediterránea.

Se ha especulado acerca de si la deforestación en el Sur de Europa fue originada por las construcciones navales, y en particular por la Gran Armada, denominada en épocas recientes la «Invencible». No puede justificarse la tala de inmensas zonas de bosque para la construcción de 130 navíos, máxime si se tiene en cuenta que la mayoría fueron requisados o arrendados. La deforestación se debió a múltiples causas, casi todas antropogénicas: la roturación de tierras para el cultivo, el uso de la madera para la construcción y como combustible y la insaciabilidad de los grandes poderes ganaderos. En el siglo XVI hay una serie de hambres, epidemias y malas cosechas, tal vez debido a una aridificación del clima. En el siglo XVII algo mejoran las cosas, pero no hay que olvidar que se ensayan y se cultivan extensamente especies venidas de América. La implantación a lo largo del siglo XVII de la patata y el maíz casi acaban con las hambres y epidemias en Galicia tan frecuentes sobre todo entre los siglos XIV al XVI.

Si nos propusiéramos hacer una evaluación muy elemental del incremento de la proporción del CO₂ entre el año 1000 y el año 1850, podríamos partir de los datos disponibles acerca de la deforestación de Europa. Se calcula que la reducción de los bosques ha sido fantástica, y que en estos 850 años, han pasado a cubrir del 90 % a sólo el 20 % en la actua-

lidad. Han sido unos 7 millones de Km² de bosques desaparecidos. Atribuyéndoles características de bosque templado (laurel, haya), la densidad de carbono por m² podría establecerse entre 13,5 y 16 Kg, o quizá algo menos. Aplicando un promedio de 15 a los 7 millones de Km² nos resultaría 105 «gig tons» de carbono, que han desaparecido de la biosfera.

Podría suponerse una desertización paralela en el Norte de Africa y Oriente Medio. Cabría pensar, hace un milenio, una vegetación de bosque claro, de hoja caduca, que daría una densidad de carbono de 3 a 13 kg/m². Una media de 5, aplicada a unos 5 millones de Km², nos proporcionaría 25 «gig tons», que unidos a los anteriores serían 130 «gig tons» lanzados a la atmósfera. De ellos podemos suponer que la mitad han podido ser disueltos en el océano, según diversas hipótesis de las que se hace eco Woodwell. Resultarían unos 60 «gig tons» que han podido ser añadidos a la atmósfera.

Podríamos suponer en una tosca aproximación que el ciclo del carbono no ha variado esencialmente, y que, una mayor proporción del CO₂ no ha motivado un incremento de fotosíntesis en la vegetación residual.

En la actualidad, cada 2,3 «gig tons» que pasan a la atmósfera, crece un punto la proporción del CO₂. Ello nos daría que los 60 «gig tons» retenidos en la atmósfera por la destrucción de los bosques han supuesto un aumento de unos 26 puntos en la proporción del CO₂. A ello habría que sumar una cantidad adicional, muy difícil de evaluar, debida a la lenta oxidación de los humus que sigue a la desaparición de los bosques, que Woodwell supone cercana, en orden de magnitud, al efecto de la deforestación.

Para completar el esquema, habría que considerar la deforestación en otras partes del mundo. En nuestra opinión, no guarda semejanza con lo ocurrido en el escenario de las viejas culturas. Actualmente hay en el mundo unos 30 millones de Km² de estepa y 17 de desierto. Es impensable que fueran de bosques hace 1.000 años. En caso de que fueran de matorral y monte bajo, no podrían serles atribuidos más de 1 Kg/m², lo que supondría, en el caso extremo, unos 47 «gig tons», y si la mitad se supudiera disuelta en el mar, habría que añadir, a las 26 unidades anteriores, otras 10.

Todos estos cálculos no son siquiera aproximados, pero nos sirven para entender en qué orden de magnitud nos movemos. En caso alguno podría justificarse fácilmente una proporción de CO₂ hace 1.000 años de sólo 200 unidades, y parece en cambio razonable pensar, partiendo de las 290 unidades en 1850, quedarnos entre las 240 y las 270 en el año 1000.

CAMBIOS CLIMATICOS

Estos datos son relativamente coherentes con los cambios climáticos que se han producido y no nos llevan a admitir cambios esenciales en las temperaturas, que seguramente no se han originado, aunque sí importantes cambios climáticos. No es probable que en los últimos cuatro siglos, por ejemplo, las temperaturas en España hayan aumentado 3 °C. Si es verosímil se hayan producido cambios notables en la circulación y se han modificado los esquemas de precipitación. De esto hay evidencia por varios caminos. Citaremos algunos:

- a) La toponimia de España, llena de alusiones a paisajes pletóricos de verdor, donde hoy hay auténticos secarrales.
- b) Por los testimonios históricos y culturales. Citaremos uno: en «El Quijote» se citan cinco especies de árboles, entre ellas el haya, y no se habla del pino. El haya ha desaparecido en La Mancha y nadie imaginaría en los paisajes de La Mancha un hayedo, que precisa 800 mm de precipitación.
- c) El tercer testimonio está en los datos de la evolución de población. A mediados del siglo XVI se calcula había en España unos 7,4 millones de habitantes; 6,2 millones correspondían a Castilla y tan sólo 1,2 millones al resto, de ellos 200.000 a Aragón. Es decir, el 84 % de la población se concentraba en el interior, lo cual hoy no resulta fácilmente imaginable. A partir del XVII hay un incesante éxodo hacia la periferia, que pudo haber coincidido con la desecación del interior.

Hay un hecho sintomático que merece nuestra atención: la mayoría de los autores actuales dan, como una consecuencia del incremento futuro del CO₂, cambios climáticos tales como mayor sequedad en las zonas continentales y mayor intensificación de las precipitaciones en las zonas húmedas, sobre todo periféricas. Y efectivamente, esto ocurre en forma acusadísima en España en los últimos cuatro siglos, según reconocen casi unánimemente los historiadores: la población española se dispersa hacia la periferia y se inicia la despoblación del interior. La sequía de las regiones del interior ha podido ser un motor de esa emigración.

Hay que señalar, no obstante, que hay una serie de puntos oscuros en todo el tema del CO₂ y que no pretendemos queden completamente aclarados. Uno de ellos, quizá el más importante, es el conjunto de períodos fríos que se han intercalado en fases de crecimiento del CO₂; uno muy significativo tuvo lugar entre 1940 y 1960, en que la temperatura media en el hemisferio norte descendió unas dos décimas de grado, para ser recuperadas con exceso en los años siguientes. Muchas han podido

ser las causas, que no vamos a analizar aquí; para dicho análisis sería preciso contar previamente con los resultados de la metodología de Kellogg. Añadiremos por nuestra parte que en dichos años se dieron en España las mayores oscilaciones térmicas del siglo; máximo en 1949 y mínimo en 1956.

También resulta algo extraño el comportamiento térmico del siglo XIX, bastante frío, si bien hay que señalar dentro del mismo período enorme actividad volcánica, de efectos muy persistentes.

En otro orden de ideas, conviene destacar que no todos los autores andan acordes en cuanto al papel que juegan los manantiales y sumideros del dióxido de carbono. O si se quiere decir con otras palabras, el ciclo del carbono no está suficientemente estudiado. En estos años de atrás, se ha pensado sin dejar apenas lugar a dudas que la causa primaria del crecimiento del CO_2 se debe a los 5 «gig tons» que anualmente se queman de combustibles fósiles. En los años más recientes, Woodwell, Whittaker, Likens, Rainiers, Delwiche, Bolin y Adams han puesto de manifiesto el importantísimo papel que juegan las modificaciones en la capa orgánica terrestre, es decir, la biota. También el papel de los océanos como sumidero ofrece interrogantes y es el punto quizá más oscuro, hor por hoy, de todo el seguimiento del ciclo de carbono. El hecho es que, en la situación actual, la combustión del carbón o derivados fósiles y la destrucción o alteración de la capa vegetal debería suponer un crecimiento casi triple del observado en la proporción del gas carbónico en la atmósfera. Dónde va a parar el excedente, es algo que hay que aclarar.

Con todo esto no hemos pretendido más que hacer un esquemático y quizá demasiado simple planteamiento del problema.

Nos referiremos a un asunto que para España tiene la mayor importancia, a nuestro juicio, y del que no hemos podido encontrar hasta ahora referencia a trabajos de envergadura. Se trata del problema del CO_2 a mesoescala, o escala regional y sus efectos a corto plazo. El CO_2 se difunde por toda la atmósfera con facilidad gracias a la turbulencia y la circulación general de los vientos. Esto sucede muy rápidamente en circulaciones activas y en situaciones de inestabilidad, pero el proceso tiene lugar con lentitud en situaciones de baja difusión, en particular, de subsidencia que se da en situaciones anticiclónicas. La acumulación de CO_2 en las capas bajas y alrededor de la inversión de subsidencia pudiera, en casos, reforzar el anticiclón y favorecer su persistencia. Esto podría ser particularmente grave en épocas en que, al final de verano o principio de otoño, a gran escala, baja el contenido del CO_2 en las áreas verdes, pero se mantiene alto en las zonas áridas, o aún es incrementado por los incendios forestales. En el análisis histórico de las sequías padecidas en Es-

paña, se percibe una tendencia hacia las otoñales frente a las de primavera, muy frecuentes en el pasado. Sería interesante que los estudiosos profundizaran en este fenómeno.

No quisiéramos desaprovechar la ocasión de hacer algunos comentarios acerca de la presencia del fenómeno de la absorción de la radiación infrarroja por parte del CO_2 y del consecuente caldeoamiento de la atmósfera. En realidad, la aparición del calor en los procesos físicos es lo más normal, y en todo el problema del CO_2 encontramos como telón de fondo la pesadilla de una implacable ley física: el Segundo Principio de la Termodinámica. Dicho Segundo Principio es una de las leyes físicas más trascendentes y fácilmente recaen en campos tan alejados como la Filosofía, la Estadística o las modernas teorías de la simulación. El Segundo Principio va naturalmente mucho más allá del Primer Principio, o de la Equivalencia, intuido por Joule y enunciado por Helmholtz; la equivalencia no es más que una continuación del más antiguo principio de la conservación de la materia, formulado por Lavoissier.

El Segundo Principio de Termodinámica se presta a muchas formulaciones. La más clásica, de Clausius, es la siguiente: «En toda transformación reversible elemental el cociente $dQ/T = dS$ del calor absorbido dQ , por la temperatura absoluta, es la diferencial exacta de una cierta magnitud de estado S que se llama entropía». Esta expresión no es evidente por sí misma. Caratheodory ofreció la siguiente formulación algo más próxima a nuestra intuición: «Dado un sistema en un estado determinado, existen otros estados tan próximos como se quiera del anterior, que no pueden ser alcanzados por vía adiabática». El postulado de Caratheodory es equivalente a la imposibilidad del llamado móvil perpetuo de segunda especie, entendiendo por tal un artefacto de funcionamiento periódico capaz de producir un trabajo exclusivamente a costa de enfriar un manantial de calor. Fueron Planck y Thomson quienes formularon la Segunda Ley de la Termodinámica como la improbabilidad de tal móvil perpetuo.

Esto ya queda más cerca de nuestra intuición, puesto que si fuera posible dicho móvil perpetuo de segunda especie, o bien si no fuera cierto el Segundo Principio de la Termodinámica, sería posible construir buques que navegaran a costa de enfriar el agua del mar, o aviones que volaran aprovechando el calor contenido en el aire.

Consecuencia del Segundo Principio, y quizá una forma de enunciarlo un tanto inexacta, pero bastante expresiva es ésta: es imposible que, en una masa, una parte se enfríe espontáneamente y la otra se caliente también espontáneamente, manteniendo constante la temperatura media. Es decir: es fácil y simple el que el agua y el hielo en un vaso igualen sus

temperaturas; es difícil y costoso lo inverso, es decir, que en un vaso de agua una parte de la misma se congele y la otra se caliente un poco. Y aun en último extremo podríamos formular el Segundo Principio en una forma que la entendería todo el mundo: una estufa eléctrica vale 1.000 pesetas y una nevera 80.000.

Volvamos a esa función un tanto misteriosa que denominamos entropía.

Si el universo lo consideramos como un sistema aislado, es evidente que su entropía tiende a crecer continuamente. Y una de las penalizaciones de los sistemas físicos, es la aparición, casi siempre inoportuna, de las formas caloríficas; son las pérdidas por disipación de calor, caballo de batalla de los planes de ahorro de energía, las pérdidas por rozamiento, el caldeamiento de los perfiles aerodinámicos.

Si la entropía tiende siempre a crecer y es una penalización universal, en el momento actual pueden tener más actualidad que nunca los procesos economizadores de entropía, empezando por lo más sencillo: el control de las combustiones innecesarias. Antes hemos citado en una velada alusión al control intermuncional del gas carbónico en la atmósfera. Ciertamente que tal cosa hoy por hoy es inviable, pero hay algo de lo que debemos convencernos: ya no quedan bienes libres en la naturaleza y uno de ellos es el fuego; no puede utilizarse a capricho o indiscriminadamente. Hay muchos procesos agrícolas e industriales que se simplifican por combustión, y tal cosa debería ser objeto de limitaciones. La eliminación de residuos industriales y agrícolas y sobre todo basuras, se realiza frecuentísimamente mediante combustión, lo cual contamina y origina, además del CO_2 , grandes cantidades de otros gases contaminantes. Es preferible ir a otros métodos de eliminación de tales residuos. La combustión rápida podríamos decir que es el fracaso de la naturaleza; las combustiones naturales son siempre lentas y se acercan, por tanto, a los procesos reversibles de entropía mínima. La combustión rápida, con el crecimiento explosivo de la entropía, es lo antinatural, y debe limitarse a lo imprescindible.

Otra consecuencia que debemos sacar, quizá de más alcance teórico, es aquella que aprendíamos en las primeras páginas de la Termodinámica: volver a los ciclos de Carnot. Recordemos que tales ciclos son los efectuados mediante dos procesos adiabáticos y dos isotermos y si se realizan con lentitud, el rendimiento es máximo y mínimo el desgaste entrópico. Estos ciclos se inscriben en un entorno de ahorro energético y en un futuro los procesos industriales deberán ajustarse progresivamente a ellos.

CONSECUENCIAS FINALES

La primera, quizá la más importante, es tomar conciencia del problema, y en línea con ello conceder al tema la magnitud que el corresponde, aunque sus efectos no vayan a sentirse con toda su agudeza hasta pasados algunos años.

Es preciso defender a toda costa nuestra capa vegetal. Llegar al convencimiento que el deterioro forestal debido a incendios principalmente, a negligencias, incurias y otros males de parecida índole, es acaso el mayor mal ecológico que hoy nos afecta, muy principalmente en España. Es absolutamente necesario convencerse que la defensa del bosque es hoy la primera y más urgente medida en una política de defensa del medio. Los incendios en los últimos 50 años en España han aumentado en cerca de un punto el CO₂ total de la atmósfera.

Ante un posible intento mundial del control del gas carbónico, no hay que hacerse ilusiones acerca de que otros países u otras economías podrán hacer lo que no hagamos nosotros; los puntos de vista en cuanto a evaluar las consecuencias futuras puede que sean muy dispares. Groenlandia tendrá un problema muy distinto del nuestro. Los países ecuatoriales no sentirán la gravedad del problema como los de la zona templada.

Y como reflexión final, sólo nos queda el invitar a los estudiosos a que profundicen en las anteriores ideas.

Madrid, diciembre 1984

BIBLIOGRAFIA

- BUDYKO, M. I. (1969): «The effect of solar variation on the climate of the earth», *Tellus*, 21.
- BUDYKO, M. I. (1982): *The Earth's Climate: past and future*, Nueva York, London, Academic Press Inc.
- CATALA ALEMANY, J. (1980): «Incapacidad difusora de la atmósfera e índice global de contaminación atmosférica», XVIII Biental Real Soc. Esp. Física y Química, Burgos.
- CATALA ALEMANY, J. (1981): «Ozonosfera y posibles cambios climáticos» (discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales).
- CATALA ALEMANY, J. (1982): *Pasado, presente y futuro de la ozonosfera*, UNED.
- KELLOGG, W. W., and SCHWARTZ, R. S. (1981): *Climate change and Society: Consequences of increasing atmospheric carbon dioxide*, Westview Press, Boulder.
- KELLOGG, W. W. (1983): «Identificación del cambio climático inducido por el aumento de anhídrido carbónico y otros gases en trazas en la atmósfera», *Boletín OMM*.
- LINES ESCARDO, A. (1983): «Contaminación ambiental y transporte aéreo», *Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica*, núm. 248.
- LINES ESCARDO, A. (1984): «Contribution to study of the desertization in the Northwest of Africa during the last 400 years», WMO Regional Scientific Conference on GATE, WAMEX and Tropical Meteorology in Africa.
- MANABE, S.; SMAGORINSKY, J., and STRICKLEV, R. F. (1965): «Simulated climatology of a general circulation model with a hydrological cycle», *Mon. Wea. Rev.*, 93, 769-798.
- MANABE, S.; SMAGORINSKY, J., and STONE, H. N. (1970): «Simulated climatology of a general circulation model with a hydrological cycle. 3 Effects of increased horizontal computational resolution», *Mon. Wea. Rev.*, 98, 175-212.
- MANABE, S., and WETHERALD, R. T. (1975): «The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model», *J. Atmos. Sci.*, 32, 3-15.
- MANABE, S., and HAHN, D. G. (1977): «Simulation of the tropical climate of an ice age», *J. Geophys. Res.*, 82, 3889-3911.
- MANABE, S.; BRYAN, K., and SPELMAN, M. J. (1979): «A global ocean-atmosphere climate model with seasonal variation for future studies of climate sensitivity», *Dynamics Atmos. and Oceans*, 3, 393-426.
- MANABE, S., and WETHERALD, R. T. (1980): «On the distribution of climate change resulting from a increase in CO₂ content of the atmosphere», *J. Atmos. Sci.*, pp. 99-118.

- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (USA) (1982): «Carbon dioxide and climate: A second assessment», *NAS*, Washington, D.C.
- OMM (1982): Declaración sobre «Modificación de la capa del ozono debida a actividades del hombre y algunas posibles consecuencias geofísicas», Sec. Gral. OMM.
- OMM: XXXVI Comité Ejecutivo, Doc. 13, 46, 58 y 59.
- PMC (Programa Mundial del Clima): Informes núms. 10, 12, 14, 26, 29 y 34.
- PEIXOTO, J. P. (1977): *Dinamica do clima*, Acad. das Ciencias, Lisboa.
- PEIXOTO, J. P. (1982): *Interferencia do homem no proceso climatico*, Acad. das Ciencias, Lisboa.
- PEIXOTO, J. P. (1983): *O homem, o clima e o ambiente*, Comun. Soc. Geográfica, Lisboa.
- PEIXOTO, J. P., and OORT, A. H. (1983): «The atmospheric branch of the hydrological cycle and climate», in *Variations of the global water budget*, Reidel, London, England, 5-65.
- PUESCHEL, R. F. (1981): «A scientific assessment of the operational status of BAPMON, WMO», Anex to report of the meeting of experts on BAPMON station operation.
- SMAGORINSKY, J. (1974): *Global atmospheric modeling and the numerical simulation of climate*, in *Weather and Climate Modification*, W. N. Hess, editor, 633-686.
- WMO (1979a): *Proceedings of the World Climate Conference WMO-537*, Geneva.
- WMO (1979b): *Report No. 2 of the WMO Project on Research and Monitoring of CO₂*, Geneva.
- WMO (1980): *Outline plan and basis for the World Climate Programme WMO-540*, Geneva.



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (USA) (1982): «Carbon dioxide and climate: A second assessment». WAS, Washington, D.C.

OMM (1982): Declaración sobre «Modificación de la capa del ozono debido a actividades del hombre y algunas posibles consecuencias geofísicas». Sec. 2.

OMM: XXXVI Comité Ejecutivo. Doc. 13. 46. 58 y 59.

PMO (Programa Mundial del Clima): Informe núm. 10. 12. 14. 28. 29 y 34.

PEIXOTO, J. P. (1982): «Interferencia de hombre en proceso climático». Actas del Simposio Científico sobre el Cambio Climático, Ginebra, 1982.

PEIXOTO, J. P. (1983): «O homem, o clima e o ambiente». Geom. Soc. Geofís. São Paulo, 1983.

PEIXOTO, J. P. (1983): «The emergence of the hydrological cycle and climate in Valuations of the global water budget». *Journal of Climate*, 1983.

RUSSCH, R. T. (1981): «A technical assessment of the operational status of the operational forecasting system for the tropical region». WMO, Geneva.

SMAGORINSKY, J. (1974): «Global atmospheric modeling and the numerical simulation of climate». In: Weather and Climate Prediction, W. H. Press, editor. WMO, Geneva.

WMO (1979): «Proceedings of the World Climate Conference WMO-50». Geneva, 1979.

WMO (1980): «Report of the WMO project on research and monitoring of CO₂». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

WMO (1980): «Global plan and base for the World Climate Programme WMO-50». Geneva.

Dep. Legal: M. 40.550-1985.
ISBN: 84-505-2439-3



SECRETARIA GENERAL TECNICA
SERVICIO DE PUBLICACIONES