Sin entrar en el análisis de un tema tan de actualidad como es el medio ambiente y la cada vez mayor concienciación que existe en todo el mundo sobre el particular, procederemos a esbozar una reflexión sobre los logros y limitaciones que la tecnología moderna ha alcanzado en una materia que, como la referida al clima, tanta influencia ejerce en la tierra y en toda la vida que en la misma se desarrolla. Nos vamos a referir al clima y a sus variaciones, tanto a corto y largo como a más dilatados períodos de tiempo.

Una formulación difícil

EL CLIMA: ¿PODEMOS HACER ALGO?

Por Jaime Fonrodona

EN *pocas ramas del saber* humano se han producido avances tan espectaculares como en el campo de la meteorología. Sin embargo, los resultados evidencian cuánto se desconoce sobre el clima y sus variaciones. La meteorología ha pasado en los últimos años de ser un arte con una gran carga intuitiva y principios elementales, a constituir una ciencia de enorme complejidad. Ya para iniciarse en su estudio, se necesida disponer de largas series de datos fiables y comparables entre sí. Obviamente, *con el desarrollo de las tecnologías* de mediación se dispone de datos más exactos en cuanto a temperatura, humedad, velocidad, dirección del viento, pluviometría, presión atmosférica, etc. Aunque estos datos no sean comparables con otros obtenidos hace mucho tiempo por procedimientos mucho más primitivos y que han de constituir *la base de las ecuaciones inte*ractivas que producen lo mejor posible las peculiaridades de cierto clima. Pero aún hay más: a medida que se ha ido estudiando el tema, aparecen una serie de nuevas variables tales como el contenido de gases en la atmósfera, los datos sobre el comportamiento del sol, aquellos que tratan del movimiento, temperatura y corrientes de los océanos, los de las formas y naturaleza de las nubes y hasta las variaciones de la posición de la tierra en su órbita elíptica, tarea de reproducir en el laboratorio *las características de un* cierto clima puesto que las series históricas de éstos datos presentan dificultades importantes de aplicación. Fue el conocido matemático John von Neumann del Instituto de Estudios Avanzados de Princetown, una de los más importantes y afamados Centros de la Matemática moderna, quien en el año 1950 logró por primera vez *una representación de la atmós*fera en un ordenador digital. El y su colaborador Jule Charney son considerados como los padres de la Meteorología moderna.

NEUMANN y Charney, en un experimento ya histórico realizado en 1951, obtuvieron, la primera previsión del tiempo por un sistema matemático sobre un período de venticuatro horas

Neumann y Charney, en un experimento ya histórico realizado en 1951, obtuvieron, usando un ya entonces anticuado y primitivo ordenador, que pertenecía a la Armada de los Estados Unidos, la primera revisión del tiempo por un sistema matemático sobre un período de venticuatro horas. Von Neumann llamó al proceso digital de predicción del tiempo, aquel que ofrecía «infinitas posibilidades».

Datos a considerar

Seis años después y por uno de los científicos del equipo Neumann, se compuso el primer modelo de determinación del clima a nivel global. Aparte del problema, ya mencionado, de la coherencia de los datos y de la formulación matemática de ecuaciones interactivas basadas en influencias no entera*mente probadas de unos facto*res sobre otros, está el inconveniente del tamaño. En efecto, los datos se toman sobre casquetes de superficie terrestre de unos miles de kilómetros cuadrados en los que se divide la tierra por los GCM (Global Circulation Models). Se consideran los parámetros correspondientes a éstos casquetes y se llevan a resultados en casquetes mucho más grandes (de aproximadamente 20.000 kms. cuadrados); pero es bien sabido que hay fenómenos atmosféricos como formación de nubes, turbulencia, precipitación, etc., que se producen en superficies terrestres mucho menores. Como la extrapolación a nivel global, además de ser muy larga y difícil es muy costosa, se practica lo que los científicos llaman parametrización, que no es otra cosa que relacionar las magnitudes que se producen en el casquete pequeño y que ge-

neralmente no se pueden digitalizar, con otras más o menos equivalentes en casquete grande; así, por ejemplo la nubosidad en un casquete (parámetro prácticamente imposible de digitalizar y consecuentemente introducir como tal en el modelo) se relaciona con ciertos valores de humedad y temperatura del casquete grande que sí son susceptibles de tratamiento informático. Al describir ésta práctica de la parametrización ya se pone de manifiesto la dificultad del problema y las múltiples incertidumbres del mismo. De todas maneras no es aventurado afirmar que el empleo de ordenadores cada vez más potentes y más rápidos, que procesan información disponible desde cada vez más puntos de la superficie terrestre y de satélites metereológicos, ha supuesto un avance en ésta ciencia comparable con el que supuso para la locomoción la máquina de vapor o el motor de combustión interna. La predicción a corto plazo es cada vez más exacta y la anticipación en el conocimiento de ciclones, huracanes o intensas lluvias, han logrado evitar muchas catástrofes en zonas donde éstos fenómenos son corrientes o en otros sectores como puede ser la navegación aérea.

Los cambios climáticos empiezan a ser previstos por la moderna meteorología

LOS ingleses hicieron intentos muy serios de anticipar la llegada de los monzones, en la India, sin que se pueda decir que obtuvieran resultados satisfactorios

Desde tiempo inmemorial se ha invocado a los dioses para pedir las lluvias que habían de mitigar el hambre y la sed y aún hay rogativas a los santos de mayor devoción popular. Los ingleses hicieron intentos muy serios de anticipar la llegada de los monzones, en la India, sin que se pueda decir que obtuvieran resultados satisfactorios. Tampoco los trabajos en los años cuarenta y cincuenta del premio Nobel Irving Langmuir, conducentes a lograr la lluvia artificial por medio de la pulverización en ciertas nubes de yoduro de plata o cristales de hielo seco, dieron, pese a la tenacidad con que se realizaron, resultados positivos prácticos en cuanto a un aumento sensible de la pluviosidad.

El efecto invernadero

En el Campus de la Universidad de Princetown, se estableció un laboratorio de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), que se dedicaba con exclusividad al desarrollo de modelos matemáticos para el estudio del clima. Su Director, Joseph Smagorinsky, había trabajado con Neumann, y entre su equipo se contaban los científicos Syukuro Manabe y Richard Wethwered que fueron los primeros en determinar de una forma científica que una elevación del contenido de anhídrido carbónico en la atmósfera. tenía como consecuencia una elevación de la temperatura de la tierra. Llegaron a la

simple conclusión de que si se multiplicaba por dos el contenido de carbónico, la elevación sería aproximadamente de tres grados centígrados. La teoría es muy conocida; parte de la radicación solar que calienta la tierra, es absorbida por ésta y la otra parte se refleja en el espectro infrarrojo; si ésta radiación reflejada es atrapada por anhídrido carbónico u otros gases clorofluorocarbonados (CFC) el calor de la misma no se disipa y la tierra sube de temperatura. No es solamente el anhídrido carbónico el culpable de éste calentamiento, pues otros gases como el metano y los ya mencionados compuestos CFC son grandes captadores de radiaciones. La elevación del contenido de carbónico en la atmósfera puede tener como causa la industrialización creciente de ciertas zonas, pero también, y de una forma muy especial, en otras la deforestación pues a la disminución de los efectos de fijación del carbónico por la función clorofílica, se une el efecto de los incendios de los bosques o las acciones bactericidas sobre los residuos orgánicos que quedan sobre la superficie terrestre después de la poda de árboles y arbustos.

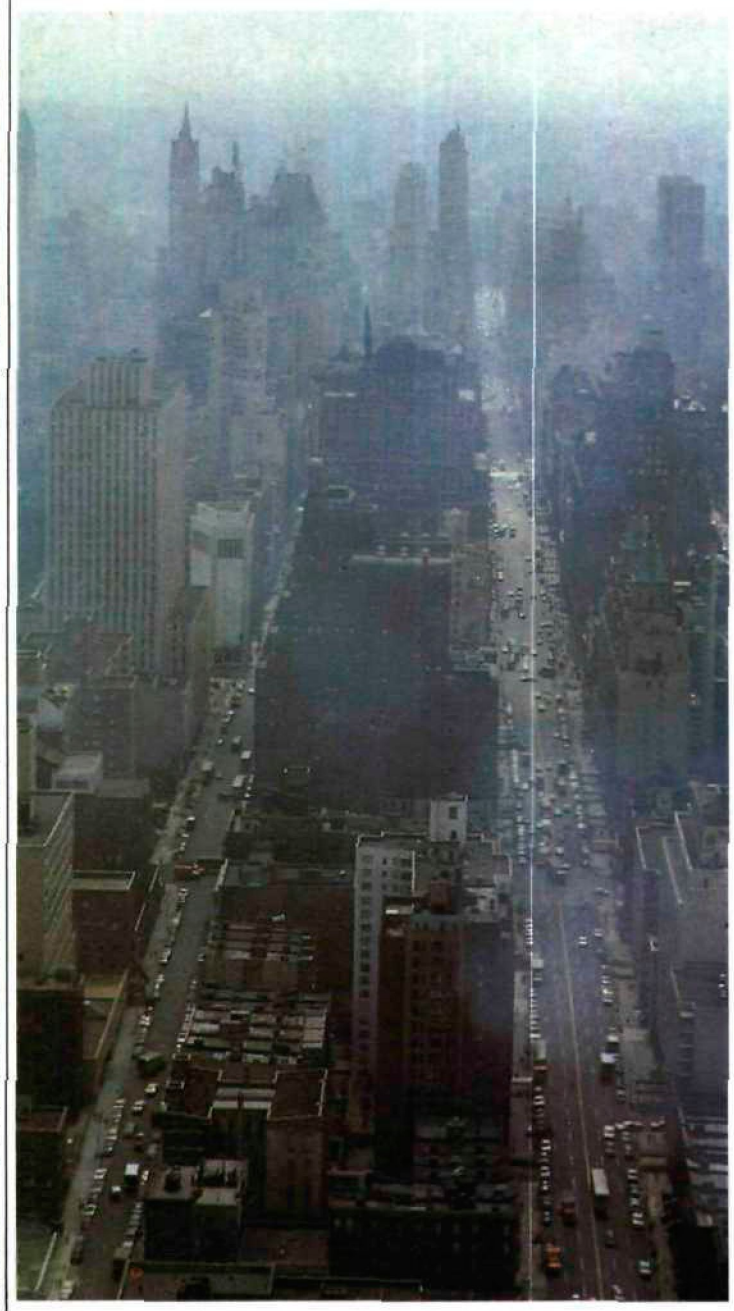
SIYKURO Manabe y Richard Wethwered fueron los primeros en determinar de una forma científica que una elevación del contenido de anhídrido carbónico en la atmósfera, tenía como consecuencia una elevación de la temperatura de la tierra

Sectores responsables

Dentro de la industrialización, los sectores más responsables de éste efecto son el energético, el químico y el del automóvil. Dentro del energético, es lamentable que el carbón y el fuel sean tan fuertemente contaminantes. La energía hidráulica escasa y polémica, la nuclear tan contestada políticamente y las energías renovables como la solar, eólica, geotérmica y de las biomasas, tan escasas en cuantía. Una postura responsable no puede rechazar de plano ninguna de éstas energías, incluido naturalmente un gran esfuerzo e inversión en el ahorro energético, dando tiempo a que gracias a las nuevas tecnologías en avanzado estado de experimentación y desarrollo, la Humanidad pueda contar con energía que ni contamine ni pueda causar el efecto invernadero. En cuanto a los sectores químico y de automoción, las acciones van desde la supresión de la fabricación de ciertos productos, como es el caso de los CFC, hasta la innovación y desarrollo de mejores filtros, catalizadores y procesos de tratamiento de residuos.

El fundamento técnico del efecto invernadero, es absolutamente incuestionable e incluso probado, no solo en el laboratorio sino en pequeñas extensiones de la superficie terrestre; el problema surge cuando se trata de globalizar, pues entonces la cuantificación de la relación causa-efecto, puede sufrir distorsiones en cuantías no bien determinadas y por una serie de variables cuya interrelación no está todavía claramente definida. Tenemos, por una parte, según ciertos científicos el efecto de autoregulación de todo ser vivo, —la tierra ciertamente lo es— que en éste caso actúa así: al elevarse la temperatura de la tierra por el efecto invernadero, tal como hemos visto, aumenta la evaporación, lo que trae consigo un aumento de la nubosidad que al proteger la tierra de los rayos solares tiene como consecuencia un enfriamiento de la misma. Por otra parte los mares tienen una capacidad de absorción de calor superior a la de la tierra y ésta capacidad puede tener un efecto de también de enfriamiento.

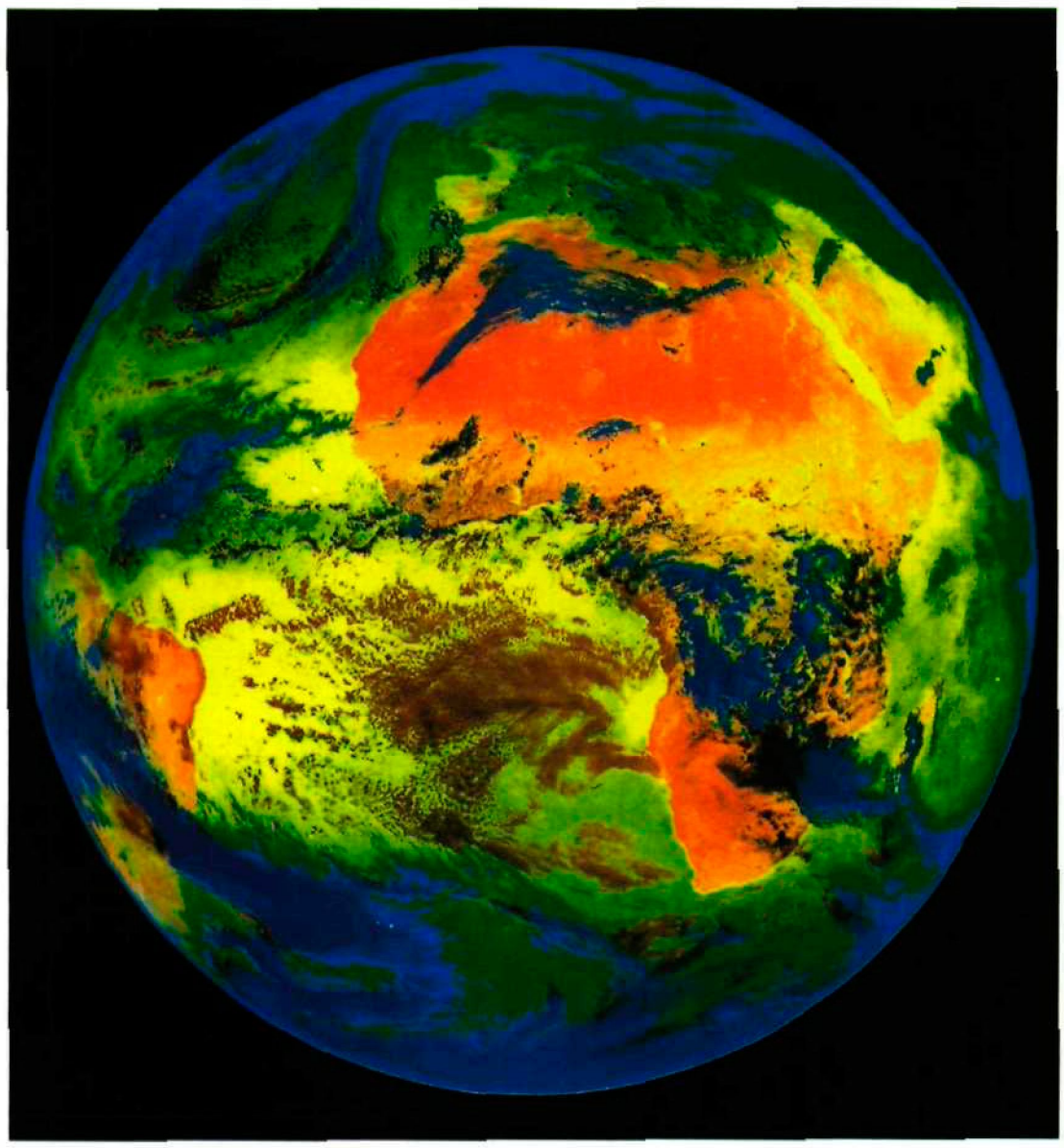
La emanación de gases, principal causante de la alteración en la capa de ozono



Otros factores tran variados como las perturbaciones en el sol, las variaciones de la inclinación de la tierra en su órbita elíptica, el contenido de vapor de agua en la atmósfera, pueden ser también causantes, el mayor o menor grado, del efecto invernadero. El problema surge de nuevo en la cuantificación y periodificación, pues será muy diferente la adaptación si suponemos elevaciones de temperatura de por ejemplo 1,5 grados en períodos de 25 años, que si aventuramos para la próxima década la posibilidad de unos incrementos de 5 grados. En el primer caso, contamos con la capacidad de adaptación de todo ser vivo e insistimos que la tierra, como todo ecosistema, lo es, por lo que los efectos no deberían ser demasiado preocupantes. En el segundo la situación puede ser incontrolada.

Catastrofismo

Nada menos que una Organización Intergubernamental de prestigio como la IPCC (Interna-



La Tierra vista desde el satélite Meteosat

tional Panel on Climat Change), nos pinta un panorama verdaderamente desolador: desaparición de especies de animales y plantas, invasión de depredadores e insectos, bacterias, putrefacción, etc. Desaparición también de las tierras costeras como consecuencia de la fusión de hielos de las zonas polares, salinización de ríos y muertes de peces, lluvias torrenciales al mismo tiempo que un aumento espectacular de la erosión. Tendrá lugar una lucha de las especies que no se adaptaran con aquellas otras que se desarrollarían sin dificultades. Sin embargo, no todo serían efectos negativos, puesto que grandes zonas de Canadá, Escandinavia y Siberia, serían aptas para el cultivo de trigo y arroz que se desarrollan bien en atmósferas más húmedas y con mayor contenido de carbónico. Pero, en conjunto, los resultados serían catastróficos, especialmente en zonas como la Mediterránea que llegaría a experimentar daños irreparables como consecuencia de la disminución de tierras agrícolas, erosión y salinización.

UNA Organización Intergubernamental de prestigio como la IPCC (International Panel on Climat Change), nos pinta un programa verdaderamente desolador: desaparición de especies de animales y plantas, invasión de depredadores e insectos, bacterias, putrefacción, etc.

Ello comportará hambre, sed y naturalmente conflictos sociales y políticos: guerras y enfrentamientos frecuentes. Muchas enfermedades que hoy están bajo control, volverían a convertirse en auténticas plagas, como el paludismo. De este modo, podríamos aventurar un escenario apocalíptico. ¡Todo ello por una diferencia de unos grados y en un período relativamente corto de tiempo! Esta visión es la de los más radicales entre los «verdes»; aquellos que pararían todo desarrollo y actividad económica, sin tener en cuenta que los efectos de proceder así, podrían acarrear más males de los que se pretende evitar.

Ponderación-sensibilidad-investigación

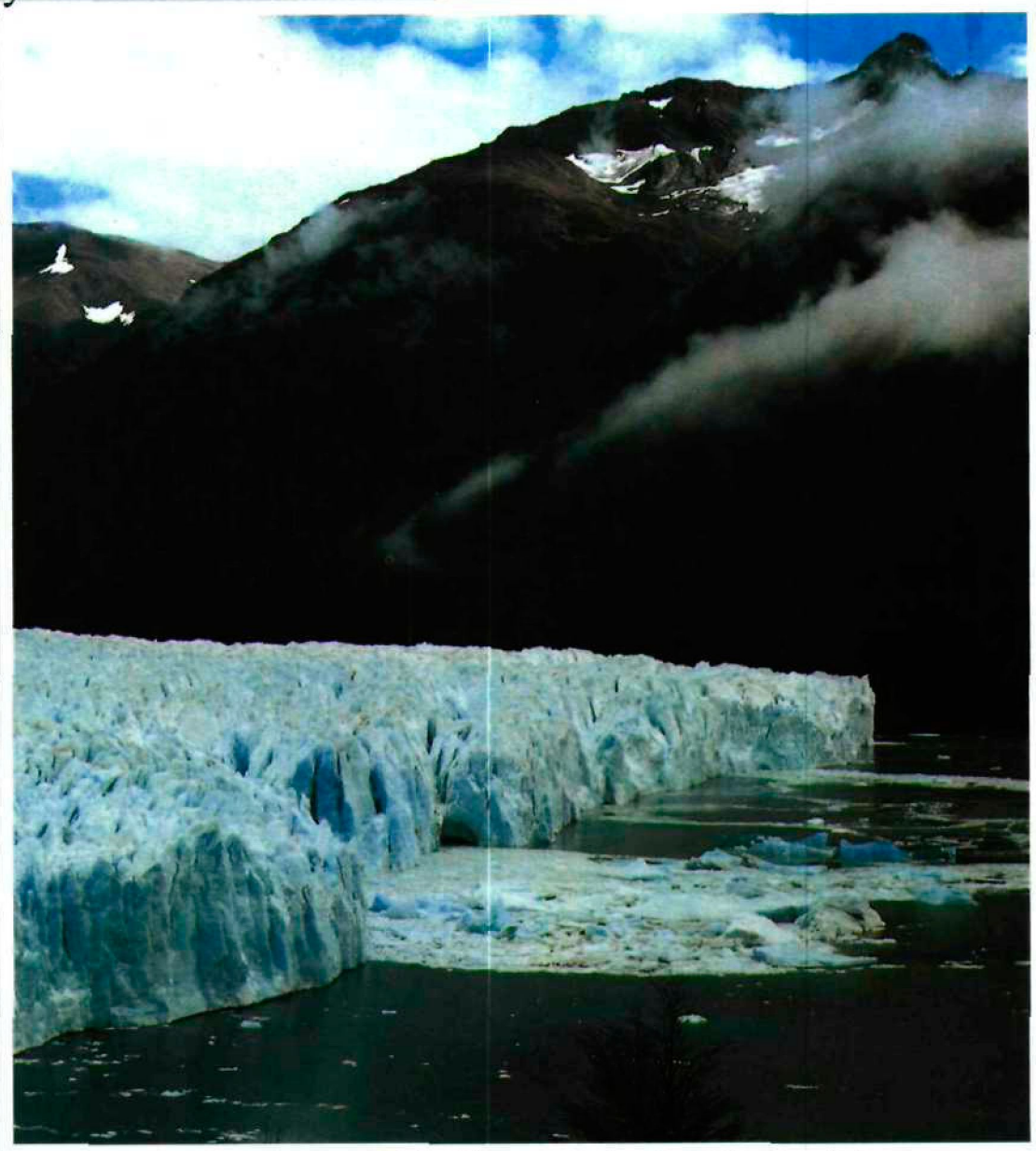
Afortunadamente la realidad no da la razón a los catastrofistas, pues un análisis exhaustivo del contenido de carbónico en la atmósfera pone de relieve incrementos muy grandes durante éstos últimos años, sin que las temperaturas de la tierra hayan registrado aumentos apreciables. Parece que el contenido de carbónico en la atmósfera se ha incrementado desde principios del siglo XIX en un 25% y la temperatura de la tierra no ha subido más que medio grado (aunque ésta última cifra es cuestionable). Ocurrió un hecho en el año 1988 que provocó no poca consternación y fue la gran sequía y altas temperaturas que se alcanzaron en Estados Unidos y Europa. Hubo quien se preguntó si había comenzado a notarse el efecto invernadero. El Congreso de los Estados Unidos llegó a redactar una legislación draconiana, con el fin de eliminar las causas del mismo y hubo grupos de presión que llegaron a la histeria en sus manifestaciones.

Pero el buen sentido se impuso y prestigiosos científicos, tanto del MIT como del Instituto Scripps de Oceanografía, uno de los más competentes en ésta materia, llegaron a escribir al presidente Bush para expresar su deseo de que no se tomaran medidas solamente basadas en respuestas de unos modelos matemáticos poco experimentados. Otras Instituciones Europeas y Japonesas mostraron su

acuerdo. Se adoptaron, no obstante, medidas concretas, como la de suprimir los gases CFC y poner topes máximos en fechas determinadas a las emisiones de anhídrido carbónico al mismo tiempo que acometer un plan de plantaciones en gran escala además de coordinar mejor los esfuerzos en las diferentes investigaciones que unos y otros llevan a cabo. El presidente Bush, fue al parecer muy receptivo a éstas recomendaciones, aunque en cierta forma algunos países europeos se sintieran decepcionados. Toda la cuestión reside en conjugar los plazos que se adopten con las cifras máximas de emisión aceptables, pues es evidente que no es lo mismo para la industria química, de la energía o del automóvil que realice un esfuerzo inversor en unos períodos tolerables con su supervivencia que poner éstos sectores al borde de su desaparición. Todo ello no quiere decir que no sea necesario poner los listones muy altos con objeto de estimular al máximo la capacidad de innovación de éstos sectores.

Vuelve a salir el permanente enfrentamiento de naciones pobres y ricas, Sur y Norte, tercer Mundo y desarrollo y los conocidos argumentos de que los Gobiernos de unas están mediatizados por los «lobbys» petroleros, químicos, del automóvil o la banca y los de otras por los ecólogos y demagogos. Hay bastante incoherencia en la actitud de una serie de países que exigen de los vecinos unas reglamentaciones que no son capaces de hacer cumplir en sus propios territorios.

El problema es mundial y solamente tiene una solución mundial; ésto quiere decir que solamente se puede enfocar con un mínimo de probabilidades de éxito si la solidaridad es sincera y de todos. Por parte de los países ricos deberán hacer inversiones «limpias» en países en vías de desarrollo, ayudar en grandes planes de reforestación y por parte de aquellos que están en fases aún atrasadas de nivel de vida, no perder la conciencia nunca del largo plazo al realizar inversiones que puedan ser más o menos baratas hoy, pero de las que se tengan que lamentar el día de mañana.



La elevación de la temperatura de la Tierra podrá causar el deshielo en los casquetes polares

PARECE que el contenido de carbónico en la atmósfera se ha incrementado desde principios del Siglo XIX en un 25% y la temperatura de la tierra no ha subido más que medio grado

Hay un aspecto en el que están de acuerdo todos y todo el mundo científico, universitario y empresarial: aumentar la investigación, profundizar en el conocimiento de las causas que afectan el clima, de sus interrelaciones y sus efectos.

Desde diferentes Centros de los Estados Unidos, fuertemente apoyados por otros de la Comunidad Económica Europea, se ha lanzado el programa más ambicioso que nunca ha existido en el campo de la investigación atmosférica por modelos matemáticos, que se extenderá durante unos diez años y que pretende dar respuesta a muchas incógnitas que hoy día existen. El centro de éste programa denominado CSMP (Climate System Modelling Project) se situará en el Centro para la investigación atmosférica de Boulder (Colorado) y su Director M. Brasseur es un científico belga. Formulemos el deseo de pronto se pueden conocer resultados concluyentes. ■

Jaime Fonrodona Sala es doctor ingeniero industrial y empresario. Ha sido, entre otras cosas, subsecretario de Obras Públicas.