

# El clima que viene

Thomas R. Karl, Neville Nicholls y Jonathan Gregory

*Los archivos meteorológicos y los modelos informáticos permiten esbozar un cuadro verosímil de cuáles serán las características generales del tiempo en un mundo más cálido*

El hombre se sabe ya consciente de que podría haber alcanzado, si bien involuntariamente, una proeza de proporciones descomunales. Por su número y por la técnica desarrollada, la humanidad podría haber inducido la alteración del clima del planeta.

Los climatólogos sostienen, con pocas reservas, que, durante los últimos cien años, la temperatura media global ha aumentado en aproximadamente medio grado Celsius. Tal calentamiento se atribuye, al menos en parte, a actividades humanas; por ejemplo, la combustión de combustibles fósiles en las centrales térmicas de producción de electricidad y en los automóviles. Puesto que no dejan de crecer la población, las economías nacionales y las aplicaciones de la técnica, se espera, además, que la temperatura media global continúe aumentando en una cuantía adicional de 1 a 3,54 grados Celsius hacia el año 2100.

Tal calentamiento es una de las muchas consecuencias que puede producir el cambio climático. Las diversas formas mediante las cuales el calentamiento podría afectar al ambiente del planeta —y por tanto, en las formas vivas— destacan entre las cuestiones más apremiantes que tienen abiertas las ciencias de la Tierra. Por desgracia se cuentan también entre las más difíciles de predecir. Los efectos derivados de tal calentamiento, amén de complejos, variarán considerablemente de un lugar a otro. Revisten particular interés los cambios operados en el clima regional y el tiempo local; sobre todo, los fenómenos extremos: temperaturas muy altas o muy bajas, olas de calor, lluvias muy fuertes o sequías, episodios que muy bien podrían producir efectos azarosos en las sociedades, agricultura y ecosistemas.

Si nos adentramos en los estudios de la variación del tiempo terrestre

en los últimos cien años en función del ascenso paulatino de la temperatura media global, y nos apoyamos en complicados modelos informáticos del clima, extraeremos la conclusión verosímil de que el calentamiento vendrá acompañado de cambios en el tiempo regional. Por ejemplo, unas olas de calor más largas e intensas —probable consecuencia de un aumento de la temperatura media global o de la variabilidad de las temperaturas diarias— comportarían una grave amenaza contra la salud pública (altísimo número de bajas) y provocarían importantes daños materiales (combado de las carreteras) junto con exigencias no menos costosas (aumento de consumo para refrigeración, lo que podría incluso obligar a cortes parciales o totales del suministro eléctrico).

El cambio climático también afectaría a la distribución de lluvias y otras precipitaciones; en unas zonas aumentarían, para disminuir en otras, con la consiguiente alteración de la distribución global y la aparición de sequías e inundaciones. Asimismo, esa mayor variabilidad y ese incremento de los extremos de precipitación pueden exacerbar problemas todavía irresueltos de calidad y depuración del agua, erosión y descarga urbana de precipitaciones breves e intensas, entre otros. Ante tamaña perspectiva, resulta imperioso que se conozcan las consecuencias del efecto de la especie humana sobre el clima global.

## Dos puntas

Los estudiosos disponen de dos métodos principales —y complementarios— para investigar los cambios climáticos. El archivo minucioso de los fenómenos meteorológicos cuenta más o menos con un siglo de historia, que coincide con el período

durante el cual la temperatura media global aumentó en medio grado. El análisis de tales mediciones y registros permite a los climatólogos comenzar a esbozar un cuadro de los momentos y lugares en que se produjeron los extremos de tiempo y clima.

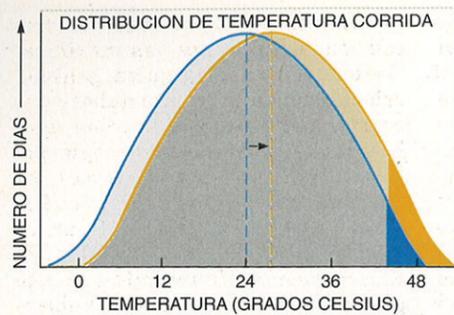
Pero a los científicos lo que realmente les interesa es la relación entre extremos y aumento general de temperatura. Para lo cual necesitan el concurso de otra herramienta crítica de investigación: los modelos globales oceánicos y atmosféricos del clima. Estos modelos informáticos de altas prestaciones simulan los procesos importantes de la atmósfera y los océanos; en ellos se basan los investigadores para hacerse una idea de las relaciones entre las actividades humanas y los sucesos principales de la temperie y el clima.

Fijémonos, por ejemplo, en los combustibles fósiles. Su combustión aumenta la concentración en la atmósfera de ciertos gases “de invernadero”, los agentes fundamentales del calentamiento global imputables al hombre. Estos gases, entre los que se citan el dióxido de carbono, metano, ozono, halocarburos y óxido nítrico, dejan pasar la luz solar, pero tienden a aislar el planeta contra la pérdida de calor, cual si conformaran el vidrio de un invernadero. A mayor concentración, pues, clima más cálido.

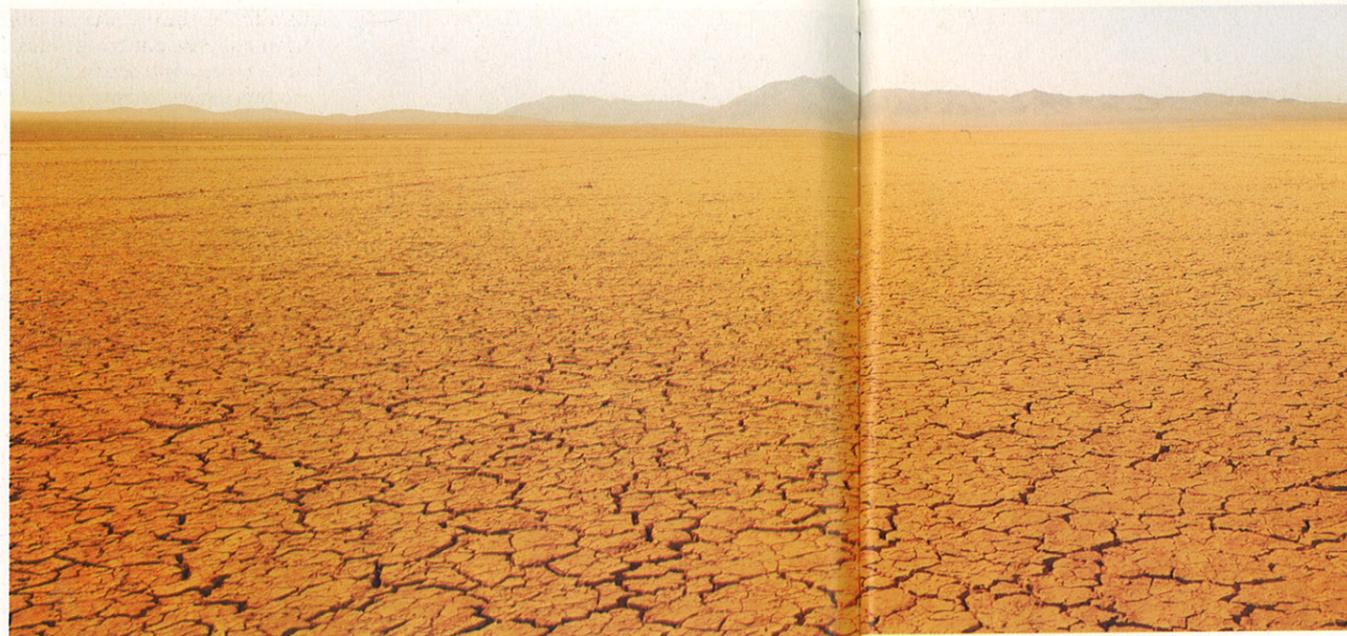
De todos los gases de invernadero producidos por la actividad humana (antropogénicos), el dióxido de carbono es, con diferencia, el que ejerce mayor impacto en el balance global de calor (diferencia entre la cantidad de calor absorbida por el planeta y la devuelta al espacio en forma de radiación). La persistencia de dicho gas refuerza su eficacia aislante: hasta un 40 por ciento de dióxido de carbono tiende a permanecer en la atmósfera durante siglos. La acumulación de dióxido de carbono atmosférico viene favorecida no sólo



1. ESTA FINCA INUNDADA cerca del río Mississippi en 1996 ilustra una consecuencia verosímil de la tendencia al calentamiento. No sólo aumentará la pluviosidad general; alcanzarán también una intensidad mayor los episodios aislados.



**2. PEQUEÑOS CORRIMIENTOS** en la temperatura diaria más frecuente originan aumentos desmesurados en el número de días extremadamente cálidos. La razón es que las distribuciones de temperatura se aproximan a curvas de Gauss. Por ello, cuando el punto más alto de la curva de "campana" o gaussiana se corre hacia la derecha (*arriba*), se produce un aumento bastante grande (*región en amarillo*) de la probabilidad de que se excedan umbrales de temperatura extremadamente altos. Una mayor probabilidad de altas temperaturas aumenta la probabilidad de olas de calor (*derecha*).



por la combustión, sino también por la deforestación tropical.

Entre los efectos causados por los humanos en el balance de radiación de la Tierra le siguen en influencia, probablemente, los aerosoles. Estas diminutas partículas sólidas, recubiertas a veces de una película líquida,

se hallan dispersas por la atmósfera. Proceden de la combustión, aunque emanan también de fuentes naturales, sobre todo de erupciones volcánicas. Al bloquear o reflejar la luz, los aerosoles mitigan el calentamiento global a escalas globales o regionales. A diferencia del dióxido de carbono, los aerosoles no permanecen mucho en la atmósfera (con un tiempo de residencia inferior a una semana); en consecuencia, están concentrados en la vecindad de sus fuentes. Hoy, los expertos abrigan más dudas sobre los efectos radiativos de los aerosoles que sobre los causados por los gases de invernadero.

Al tomar en consideración los aumentos de los gases de invernadero, los modelos climáticos globales del océano y

la atmósfera pueden proporcionar ciertas indicaciones generales de lo que podríamos anticipar sobre las variaciones en los episodios meteorológicos y en los extremos. Pero las prestaciones que ofrecen incluso los ordenadores más rápidos y nuestro mediocre conocimiento de las relaciones entre los diversos fenómenos atmosféricos, climáticos, terrestres y oceánicos limitan nuestra capacidad para modelar procesos importantes en las escalas a las que se producen. Atendamos, por ejemplo, a las nubes. Cumplen éstas una función capital en el balance de calor atmosférico. Pero los procesos físicos que forman las nubes y determinan sus características operan en escalas demasiado pequeñas para poder tenerlas directamente en cuenta en las simulaciones a escala global.

### ¿Cuán cálido y frecuente?

Las limitaciones de los modelos informáticos aparecen con notoria claridad al pretender recrear y predecir la frecuencia de extremos (cualesquiera que sean) del clima y del tiempo. De estos extremos, se ha estudiado con notable empeño la temperatura, lo que resulta explicable habida cuenta de su incidencia en la salud y la mortalidad, así como en el aumento de consumo para refrigeración y otros factores. Los expertos han podido hacerse una imagen del comportamiento de esos extremos analizando decenios de registros me-

eteorológicos. Por razones estadísticas, basta un ligero incremento de la temperatura media para que aparezcan grandes saltos en el número de días muy cálidos (*véase la figura 2*).

¿Por qué cuesta tanto modelar los extremos de temperatura? Entre otras razones, por su sensibilidad a variaciones esporádicas de la circulación y las masas de aire, que ocasionalmente pueden hacerlas seguir un curso inverso al de la temperatura media. A modo de botón de muestra: en la antigua Unión Soviética, el mínimo absoluto anual de temperatura ha aumentado en grado y medio, mientras que la máxima absoluta anual no ha experimentado cambio.

El Centro Nacional de Datos Climáticos, integrado en la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NOAA) de los EE.UU., ha desarrollado un modelo estadístico que simula las temperaturas máxima y mínima diarias a partir de tres propiedades de la gráfica de temperatura en función del tiempo. Esas tres propiedades son la media, su variancia diaria y su correlación de un día a otro (la correlación refleja la persistencia de las temperaturas: por ejemplo, la frecuencia con que un día cálido sigue a otro día cálido). Dados nuevos valores de media, variancia y persistencia, el modelo pronosticará la duración y rigor de los extremos de temperatura.

Algunas de sus predicciones son llamativas. Chicago, por destacar una urbe, muestra una variabilidad considerable de una semana a otra. Aun

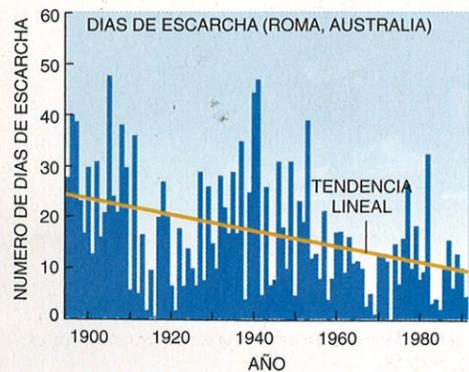
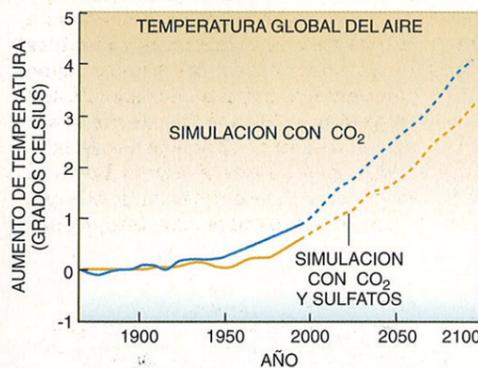
cuando la temperatura media de enero subiera cuatro grados (lo que puede realmente ocurrir a finales del próximo siglo), mientras las otras dos propiedades se mantuvieran constantes, seguiría habiendo días de temperatura mínima inferior a -17,8 grados Celsius. Y así incluso varios días seguidos. Debería también producirse una disminución del número de heladas precoces y tardías, a tenor de la estación. No debería provocar sorpresa que, durante el verano, menudearan más los agobiantes períodos muy cálidos, incluidas olas de calor asfixiantes. Con sólo un incremento de tres grados Celsius en la temperatura media de julio, la probabilidad de que el índice de calor (un valor que comprende la humedad y mide la sensación de incomodidad) exceda 49 grados Celsius alguna vez durante el mes aumenta de uno cada 20 a uno cada cuatro.

Por su incidencia en la agricultura, los aumentos en la temperatura mínima revisten particular interés. De acuerdo con los registros anotados en zonas rurales durante la segunda mitad de este siglo, la temperatura mínima ha aumentado a un ritmo más del 50 por ciento mayor que el seguido por la máxima. Este aumento ha dilatado el período exento de heladas en muchas partes de los EE.UU.; en el nordeste, por ejemplo, el período sin heladas comienza ahora 11 días antes de lo que acontecía en los años cincuenta. Un período exento de heladas más largo puede resultar beneficioso para muchas cosechas cultivadas en lugares donde las heladas no son muy corrientes, pero también afecta el crecimiento y desarrollo de plantas perennes y de plagas.

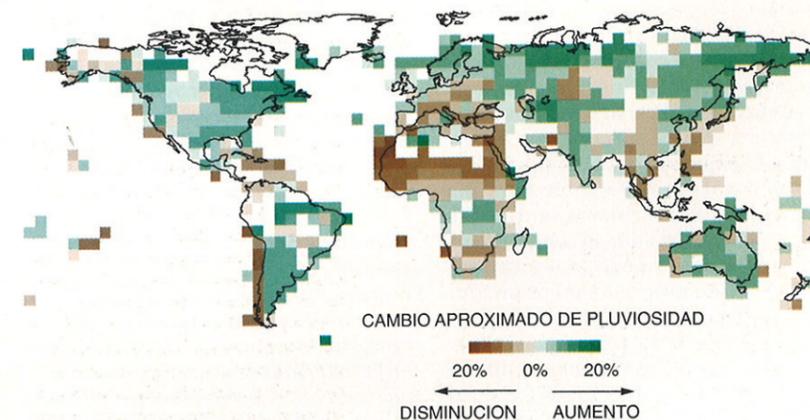
Se nos escapan las razones por las

que las temperaturas mínimas crecen más deprisa que las máximas. Ese fenómeno podría, quizá, guardar relación con la cobertura nubosa y el enfriamiento por evaporación, que han aumentado en muchas regiones. Las nubes tienden a mantener los días más frescos, al reflejar la luz solar, y las noches más cálidas, al bloquear la pérdida de calor del suelo. El incremento de humedad en el suelo gracias a la precipitación y nubosidad adicionales inhibe la subida de temperatura durante el día porque parte de la energía solar se invierte en la evaporación de esta humedad. Para alcanzar una explicación más concluyente, así como poder predecir si continuará la asimetría del calentamiento diurno y nocturno, deberemos esperar la elaboración de mejores modelos informáticos.

Los pronósticos de los cambios de temperatura día a día son menos seguros que los de la media. Con todo, los registros indican que, al hacerse el clima más cálido, esta variabilidad ha decrecido en gran parte de las latitudes medias del hemisferio septentrional. La variabilidad, que depende de la estación y la situación, está también relacionada con las características de la superficie, tales como la nieve caída y la humedad del suelo. En las latitudes medias, los cambios de la variabilidad diaria de las temperaturas han venido, asimismo, asociados a cambios de la frecuencia e intensidad de temporales y cambios de la posición de las trayectorias comúnmente seguidas por ellos. Estas trayectorias de los temporales son una sucesión de depresiones de latitudes medias que avanzan hacia el este y cuyo paso determina el tiempo. La relación entre esos temporales



**3. EL AUMENTO** de la temperatura media global se simuló (*arriba, a la izquierda*) mediante un modelo climático en el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido. La línea azul corresponde a una simulación basada exclusivamente en el dióxido de carbono; la línea amarilla tiene también en cuenta el aerosol de sulfato. Conforme crecía la temperatura media global, disminuía el número de días con temperaturas mínimas bajo cero. Este ejemplo (*a la izquierda*) muestra el número anual de días de escarcha en la australiana Roma, Queensland.



**4. EL CURSO DE LA PRECIPITACION** entre 1900 y 1994 revela una tendencia general hacia mayor precipitación en las latitudes más altas y menor, en las más bajas. El verde indica más lluvia; el castaño, menos.

y la temperatura es complicada. En un mundo más caliente, la diferencia de temperatura entre los trópicos y los polos cubriría con toda probabilidad un menor intervalo, por la sencilla razón de que en los polos se espera mayor calentamiento. Este factor tendería a debilitar los temporales. Por otra parte, en la alta atmósfera se invertiría la diferencia, lo que influiría de manera opuesta. También se producirían cambios en los temporales si los aerosoles antropogénicos continuasen enfriando regionalmente la superficie, alterando los contrastes horizontales de temperatura que controlan la posición de las trayectorias de los temporales.

### Más precipitación

La complejidad aludida en la relación entre temporales y distribución de temperaturas constituye una de las razones por las que resulta tan difícil simular los cambios climáticos. Los componentes principales del clima —temperatura, precipitación y temporales— se hallan en tan intensa interrelación, que es imposible entender uno al margen de los otros. En el sistema climático global, por ejemplo, el ciclo de evaporación y precipitación transporta no sólo agua de un lugar a otro, sino también calor. El calor consumido en el suelo por la evaporación del agua se libera a cierta altura en la atmósfera cuando el agua vuelve a condensarse en forma de nubes y precipitación, calentando el aire circundante. La atmósfera pierde después este calor por radiación hacia el espacio.

Con o sin gases de invernadero adicionales, la Tierra absorbe la misma cantidad de energía solar y radia de nuevo la misma cantidad hacia el espacio. Pero con una mayor concentración de gases de invernadero, la superficie está mejor aislada y puede radiar menos calor directamente desde el suelo hacia el espacio. Decae la eficacia con que el planeta radia calor hacia el espacio, lo que significa que la temperatura debe subir para que se pueda radiar la misma cantidad de calor. Y a medida que la temperatura aumenta, se produce más evaporación, lo que conduce a mayor precipitación global en promedio.

Ahora bien, la precipitación no aumentará en todas partes y durante todo el año. (Por contra, todas las regiones del globo deberán registrar temperaturas más altas hacia fines del próximo siglo.) La distribución de las precipitaciones viene deter-

**5. LOS HURACANES**, ciclones tropicales, conocerán a buen seguro distribuciones globales diferentes en virtud del calentamiento; lo que no significa, sin embargo, que su influencia general haya de cambiar. El huracán Andrew, que aparece aquí rugiendo en Miami, afectó a la costa suroccidental de los EE.UU. en 1992, causando pérdidas por valor de 30.000 millones de dólares.

minada no sólo por procesos locales, sino también por la velocidad de evaporación y las corrientes atmosféricas que transportan humedad.

Veámoslo aplicado. La mayoría de los modelos predicen una disminución de la precipitación en Europa meridional en verano como resultado del aumento de los gases de invernadero. En esta región, una fracción notable de la lluvia proviene de la evaporación local; el vapor que no precipita localmente se exporta a otras regiones. Por tanto, con un clima más cálido, el aumento de la evaporación en primavera desecaría el suelo y conduciría a una menor disponibilidad de agua para la evaporación y la lluvia en verano.

A mayor escala, los modelos prevén un aumento de la precipitación media en invierno en las latitudes altas. Lo atribuyen al mayor transporte de humedad hacia el polo, instado por el aumento de evaporación en las bajas latitudes. Desde comienzos de siglo, la precipitación ha aumentado en las altas latitudes del hemisferio norte, principalmente en la estación fría, conforme subieron las temperaturas. Pero en las regiones tropicales y subtropicales, la precipitación ha decrecido en los últimos decenios, lo que se ha comprobado de manera patente en el Sahel y, en dirección este, hasta Indonesia.

En la franja más septentrional de Norteamérica (al N de 55 grados) y Eurasia, con temperaturas por debajo de cero durante gran parte del año, las nevadas han aumentado desde hace varios decenios. Es probable que en estas regiones se produzca un ulterior incremento de la precipitación en forma de nevadas. Más hacia el sur, en el S de Canadá y N de los EE.UU., la razón de nieve a lluvia ha disminuido; aunque, en virtud del aumento



de precipitación total, ha habido poca variación general en la cantidad de precipitación en forma de nieve. En los cinturones de transición de la nieve, donde las nevadas son intermitentes durante toda la estación fría, la precipitación media en forma de nieve tenderá a disminuir con el calentamiento del clima, antes de anularse por completo en algunos lugares. Importa advertir que, desde 1986, la superficie cubierta por la nieve durante la primavera y el verano ha menguado bruscamente en casi un 10 por ciento. Esta disminución de la cobertura nival ha contribuido a la subida de las temperaturas de primavera en las latitudes medias y altas.

Además de las cantidades totales de precipitación, hemos de tomar en consideración la frecuencia con que se producen copiosos aguaceros o rápidas acumulaciones, de enorme interés en sus secuelas. Las precipitaciones intensas pueden provocar inundaciones, erosionar los suelos y causar bajas humanas. ¿Qué variación se espera de su frecuencia?

La precipitación depende de la humedad relativa, que es, a su vez, la relación entre la concentración de

vapor de agua y su máximo valor de saturación. Cuando la humedad relativa alcanza el 100 por ciento, el agua se condensa en forma de nubes y puede arrancar a llover. Los modelos informáticos indican que la distribución de la humedad relativa no se alterará mucho al cambiar el clima.

Pero la concentración de vapor de agua necesaria para alcanzar la saturación en el aire sube rápidamente con la temperatura, a una razón aproximada de 6 por ciento cada grado Celsius. Así, en un clima más cálido, la frecuencia de la precipitación (que está relacionada con la frecuencia con la que la humedad relativa llega al 100 por cien) variará menos que la cantidad de precipitación (relacionada con la cantidad de vapor de agua presente en el aire). Y no sólo un mundo más cálido tendrá mayor precipitación; probablemente, el episodio medio de precipitación tenderá a ser más copioso.

Diversos análisis apoyan la tesis del aumento de la intensidad. En los EE.UU., por ejemplo, un promedio de aproximadamente el 10% de la precipitación total anual se produce durante fuertes aguaceros en los que al menos caen 50 milímetros en un día.

temperie más cálida. Por ejemplo, en los EE.UU. y la antigua URSS, los aumentos de nubosidad durante los últimos decenios han conducido a una disminución de la evaporación. En el occidente ruso la humedad del suelo ha aumentado.

### Tempestades

Por cuantiosos que sean, los costes de las sequías y las olas de calor parecen menos evidentes que los de otra clase de tiempo extremado: los ciclones tropicales. Estos temporales, conocidos como huracanes en el Atlántico y tifones en la parte occidental del Pacífico Norte, producen daños ingentes en las regiones costeras y en las islas tropicales. Conforme el clima se vaya haciendo más cálido, se prevén cambios en la actividad de ciclones tropicales que variarían de unas regiones a otras. No todas las consecuencias serían negativas: en algunas regiones bastante áridas, la contribución de los ciclones tropicales a la lluvia resulta vital. En el NO de Australia, por ejemplo, del 20 al 50 por ciento de la lluvia anual está asociada a ciclones tropi-

cales. Pero los daños producidos por un ciclón arrasador pueden ser tremendos. En agosto de 1992, el huracán Andrew mató a 54 personas, dejó sin vivienda a 250.000 y causó daños por valor de 30.000 millones de dólares en el Caribe y en la costa SE de los EE.UU.

En los primeros debates sobre el impacto presumible de una intensificación del efecto de invernadero solía aludirse a ciclones tropicales más frecuentes e intensos. Puesto que estas tempestades dependen de una superficie caliente con provisión ilimitada de humedad, se forman sólo sobre océanos con temperatura superficial de 26 o más grados Celsius. Por tanto, se aseguraba, el calentamiento global conduciría a temperaturas oceánicas más altas y, presumiblemente, a más ciclones tropicales.

Para la investigación actual, fundada en modelos climáticos y registros históricos, semejante cuadro peca de un simplismo excesivo. Otros factores —el empuje arquimediano en la atmósfera, las inestabilidades en las corrientes atmosféricas y las diferencias de la velocidad del viento a diversas alturas (cizalladura vertical del viento)— intervienen también en el desarrollo de esas tempestades. Pero fuera de proporcionarnos esa visión más general, los modelos climáticos sólo aportan una ayuda limitada en la predicción de los cambios de la actividad ciclónica. Ello se debe, en parte, a que las simulaciones no han adquirido todavía el grado suficiente de detalle para poder modelar el intensísimo núcleo interior de un ciclón.

Algo mayor es el auxilio que presta el archivo histórico, incompleto. Ciertamente es que ha resultado imposible establecer un registro global fidedigno de la variabilidad de los huracanes tropicales durante el siglo XX, por un doble motivo: los cambios operados en los sistemas de observación (introducción de satélites a finales de los años sesenta) y las variaciones de población en las regiones tropicales.

Contamos, sin embargo, con buenos archivos de la actividad ciclónica en el Atlántico Norte, donde los aviones meteorológicos han venido realizando labores de reconocimiento desde los años cuarenta. Christopher W. Landsea, del Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico del Atlántico, de la NOAA, infiere de los registros consultados una disminución en la intensidad de los huracanes, así como en su cuantía. Entre 1991 y 1994 se produjo un intervalo de suma tranquilidad por lo que se refiere a la fre-

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Traducción:

Manuel Puigcerver: *Evolución del clima en los planetas terrestres, Clima caótico, ¿Qué mecanismo gobierna los ciclos glaciales?, Archivos subterráneos del clima cambiante, El Niño, Un clima cambiante, Dióxido de carbono y clima mundial, Tendencias hacia el calentamiento global, Influencia del hombre sobre el clima, La subida de los mares y El clima que viene.*

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
2	NASA
3	NASA (izquierda), Observatorios Hale (derecha)
4-6	George V. Kelvin
7	NASA
8-9	George V. Kelvin
12-13	Barry Ross
14	Jana Brenning (arriba, derecha); Barry Ross
15	Jana Brenning
16-17	Jana Brenning (gráfica); Richard B. Alley, Universidad Estatal de Pennsylvania
18	Norman Tomalin, Bruce Coleman Inc. (arriba, izquierda); Stefan Lundgren (arriba, derecha); Fridmar Damm (abajo, izquierda); Boris Dmitriev (abajo derecha)
21	George H. Denton
22-25	George Retseck
26	Bruce Cornet, Lamont-Doherty Observatorio Geológico de la Universidad de Columbia
27-28	George Retseck
31	Dan Wagner
32	Roberto Osti (arriba); Jared Schneidman Design (abajo)
33	Jared Schneidman Design
34	Patrick Cone (arriba); Jared Schneidman Design (abajo)
35-36	Jared Schneidman Design
39-45	Ian Worpole
48	Gary Braasch
50-52	Hank Iken
53	Claude Lorius, Lab. de Glaciología y Geofísica del Ambiente
54-55	Jesse Simmons
56	V. Ramanathan, Univ. Chicago
59	Space Systems Division, General Electric Company
60-67	Allen Beechel
70-71	George Retseck
72-74	Patricia J. Wynne
75-76	John Deecken
79	CORBIS/AFP
80	Robert Pickett, David Muench, Jim zuckerman y Corbis (izquierda, de arriba abajo); Chinch Gryniwicz (fotografía); Laurie Grace (gráfica)
81	NOAA/Laboratorio de Fluidos Dinámicos y Geofísica
82	Neil Rabinowitz
85	Ministerio de Transporte y Obras Públicas de los Países Bajos
86-87	William F. Haxby
88	R. Lighty; M. Goodman (abajo)
89	Michael Goodman
91	Cameron Davidson
92-93	Jennifer C. Christiansen (gráficas); Warren Marr (arriba); Laurie Grace (abajo)
94-95	Warren Fairley

cuencia de tempestades, huracanes y huracanes intensos; ni siquiera la estación de 1995, de insólita intensidad, pudo invertir esta tendencia declinante. Aunque debemos anotar, por otra parte, que el número de tifones en el Pacífico NO parece haber subido.

En conjunto, parece improbable que los ciclones tropicales aumenten de forma significativa a escala global. En algunas regiones, la actividad podría intensificarse; en otras, remitir. Cambios todos ellos que acontecerán en un marco de grandes variaciones naturales de un año a otro año y de un decenio al siguiente.

Los ciclones de latitudes medias acompañados de copiosa lluvia, las llamadas tempestades extratropicales, abarcan por lo común una superficie mayor que la de los ciclones tropicales; admiten, pues, una más fácil modelación. Ya se han realizado algunos trabajos. Uno reciente de Ruth Carnell y sus colaboradores del Centro Hadley, de la Oficina Meteorológica del Reino Unido, ha hallado menos tempestades, aunque más intensas, en el Atlántico Norte como consecuencia de la acentuación del efecto de invernadero. Pero no todos los modelos concuerdan.

Los análisis de los datos históricos tampoco conducen a una conclusión clara. Algunos estudios indican que, desde finales de los años ochenta, la actividad ciclónica de invierno en el Atlántico Norte ha sido más extrema de lo que nunca fue durante los cien años que les precedieron. Durante los últimos decenios se ha observado también una tendencia de vientos más fuertes y mayores alturas de olas en la mitad septentrional del Atlántico Norte. Otros análisis, realizados por Hans von Storch y sus colaboradores del Instituto Max Planck de Meteorología en Hamburgo, no han hallado prueba de cambios en el número de tempestades en el mar del Norte. En general, como ocurría con los ciclones tropicales, la información disponible pone de manifiesto que carecemos de base sólida para poder predecir aumentos globales de las depresiones extratropicales, aunque no pueden descartarse las variaciones regionales.

### El futuro

Aunque esas clases de huecos denuncian las limitaciones de nuestro conocimiento del sistema climático, de la valoración de las pruebas se infiere que las actividades humanas

han ejercido ya una influencia discernible sobre el clima global. En el futuro, para reducir la incertidumbre respecto al cambio climático antropogénico, sobre todo a escalas menores, será necesario mejorar nuestra potencia informática de construcción de modelos, al par que prosiguen las observaciones minuciosas de los factores climáticos.

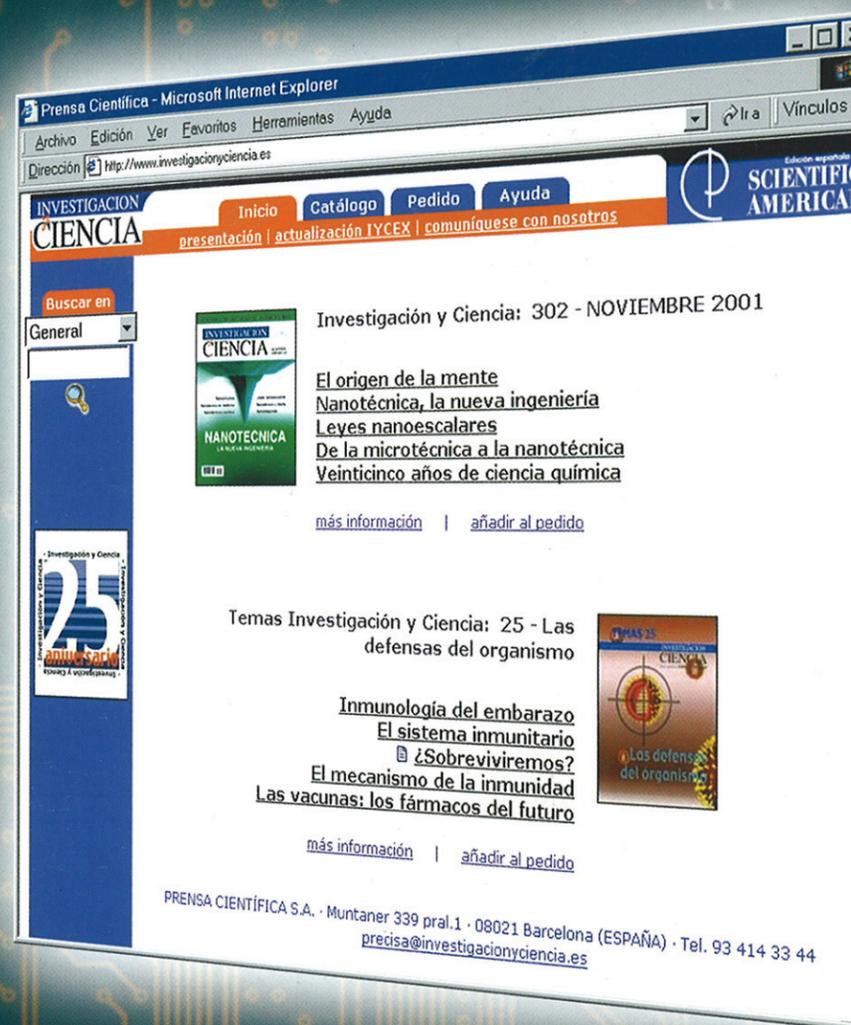
Serán, asimismo, de ayuda nuevas iniciativas, citemos el Sistema de Observación Climática Global, y la investigación exhaustiva de ciertos procesos climáticos importantes; lo serán también los superordenadores de creciente potencia. No debe olvidarse, sin embargo, la complejidad del sistema climático, razón de que en cualquier momento puedan surgir sorpresas. Las corrientes del Atlántico Norte podrían sufrir bruscas modificaciones y producir cambios bastante rápidos del clima en Europa y parte oriental de Norteamérica.

Entre los factores que intervienen en nuestras predicciones del cambio climático antropogénico, y una de nuestras mayores incógnitas, está la cantidad futura de emisiones globales de gases de invernadero, aerosoles y otros agentes de interés. El determinar esas emisiones trasciende la mera labor científica: le importa a toda la humanidad.

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- CHANGING BY DEGREES: STEPS TO REDUCE GREENHOUSE GASES. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1991.
- POLICY IMPLEMENTATION OF GREENHOUSE WARMING: MITIGATION, ADAPTATION AND THE SCIENCE BASE. National Academy of Sciences. National Academy Press, 1992.
- GLOBAL WARMING DEBATE. Número especial de *Research and Exploration: A Scholarly Publication of the National Geographic Society*, volumen 9, n.º 2; primavera 1993.
- GLOBAL WARMING: THE COMPLETE BRIEFING. John T. Houghton. Lion Press, 1994.
- CLIMATE CHANGE 1995: THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE. Contribución del Grupo de Trabajo I al Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Dirigido por John T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callendar y N. Harris. Cambridge University Press, 1996.
- INDICES OF CLIMATE CHANGE FOR THE UNITED STATES. T. R. Karl, R. W. Knight, D. R. Easterling y R. G. Quayle en el *Bulletin of the American Meteorological Society*, volumen 77, n.º 2, págs. 279-292; febrero 1996.

# www.investigacionyciencia.es



Visitando [www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es) podrá:

- Consultar nuestras fichas bibliográficas
- Adquirir cualquier publicación de Prensa Científica, S.A.
- Suscribirse a Investigación y Ciencia