

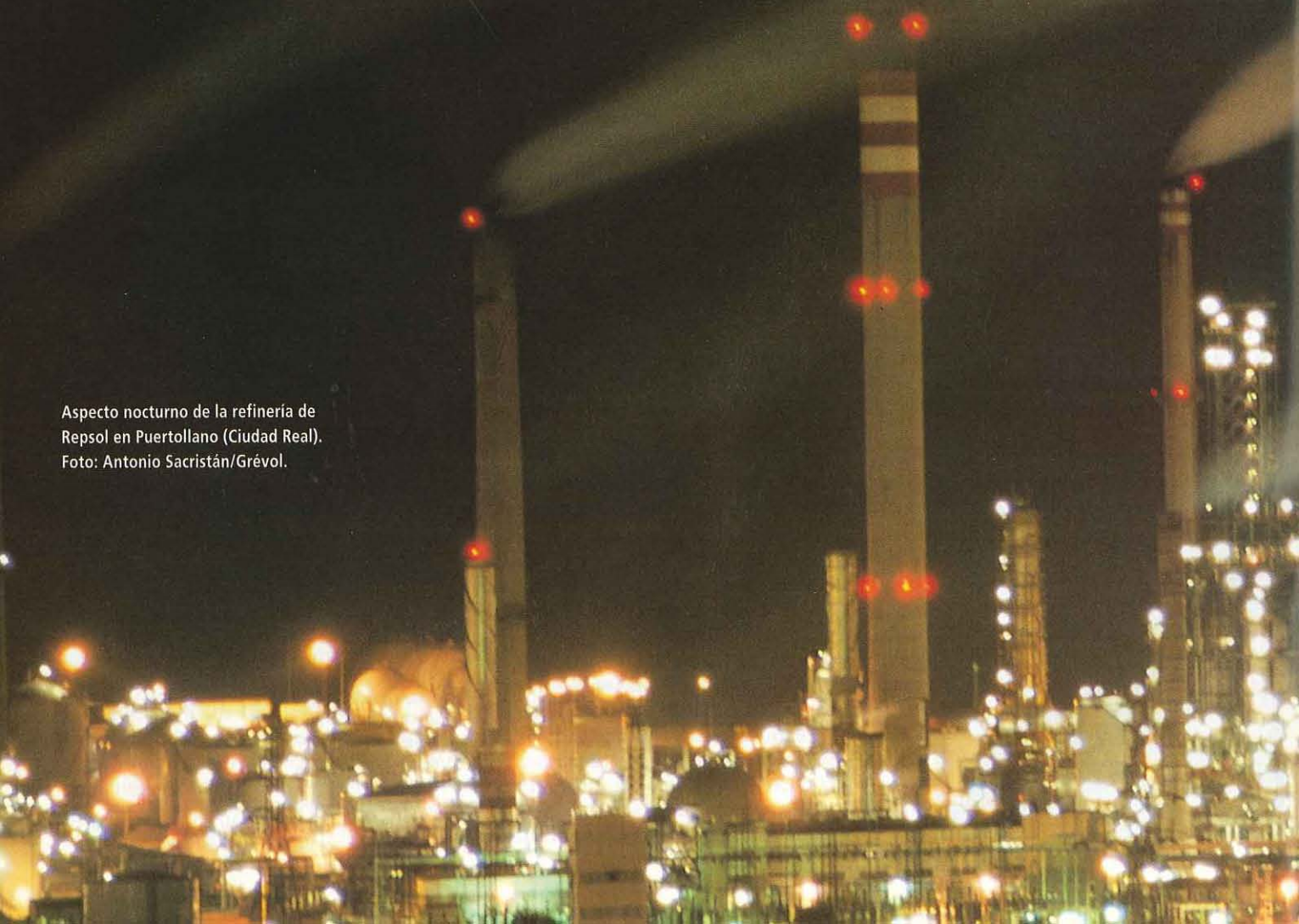
LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ES LA CAUSA DIRECTA DEL EFECTO INVERNADERO

Evidencias científicas del **CAMBIO CLIMÁTICO**

por Miguel Angel Rodríguez y Francisco Rodríguez-Trelles

En contra de lo que sostienen las compañías interesadas en mantener el actual ritmo de emisiones de gases contaminantes, hay ya suficientes evidencias científicas para achacar el calentamiento global de la Tierra a las actividades productivas del hombre, sobre todo a la quema de combustibles fósiles. Así pues, el efecto invernadero puede considerarse como una realidad de consecuencias incalculables para la vida en el planeta y, en consecuencia, no deben postergarse durante más tiempo las medidas para atajarlo.

Aspecto nocturno de la refinería de Repsol en Puertollano (Ciudad Real).
Foto: Antonio Sacristán/Grévol.



Hace tiempo que los científicos consideran un grave problema el calentamiento que registra el clima global. Ya en 1988, por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se constituyó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, más conocido por sus siglas inglesas: IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). El IPCC está formado por un equipo interdisciplinar de cientos de científicos independientes que se ocupan de asesorar a los gobiernos sobre las características del cambio climático, sus posibles impactos ambientales y socioeconómicos y, también, sobre las estrategias para minimizarlos. Hasta ahora, el IPCC ha publicado dos "Informes de Evaluación" general sobre el cambio climático (referencias 1 a 4). El primero de ellos (1) apareció en el año 1990 y sus elocuentes conclusiones sirvieron para articular el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático durante la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992. El Convenio de Río supuso el reconocimiento por parte de los gobiernos de la "necesidad urgente de evitar las interferencias antropogénicas peligrosas para el sistema climático". Este convenio fue seguido en 1996 por el Mandato de Berlín, en el que se reconocía que, para evitar dichas interferencias, sería necesario que los países industrializados redujesen sus emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El segundo informe del IPCC (referencias 2 a 4) se publicó en 1996 y sirvió de base para redactar, siguiendo las directrices del Mandato de Berlín, el Convenio –o Protocolo– de Kioto. Se trata del primer acuerdo internacional que obliga a los países a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y ha estado abierto a nuevas ratificaciones desde marzo de 1998. El acuerdo entrará en vigor cuando sea suscrito por al menos 55 estados, entre los que deben figurar una serie de naciones responsables, co-

mo mínimo, del 55% de las emisiones que produjeron todos los países industrializados en 1990. Aunque varía según los países, la reducción global acordada en Kioto representa un 5'2%, durante el periodo 2008-2012, de los niveles de emisión registrados en 1990. Este acuerdo, sin duda demasiado tímido, sólo fue posible tras intensas negociaciones en el último minuto. Varios puntos calientes quedaron en el aire, entre ellos las denominadas "medidas de flexibilidad", propuestas por Estados Unidos con el objetivo de rentabilizar el coste económico que supone el recorte de emisiones para los países industrializados. Estas medidas confieren valor económico a las reducciones, que así quedan sujetas a las leyes del mercado. De este modo, los países ricos, que son los que más contribuyen al calentamiento del clima, podrán negociar con los países pobres que, por ejemplo, no agoten el cupo de emisión debido a su subdesarrollo. Hasta octubre de 1998 sólo 59 países, de un total de 170, habían firmado el acuerdo.

El pasado mes de noviembre se celebró una nueva cumbre en Buenos Aires (Argentina) para ratificar el Convenio de Kioto y concretar las condiciones del mercado de emisiones. La reunión finalizó sin que se cubrieran sus objetivos. Estados Unidos, el mayor emisor de gases de efecto invernadero, se adhirió a la lista de países firmantes, pero la ratificación del Convenio, que corresponde al Senado estadounidense, parece difícil. Igualmente preocupante es el hecho de que las decisiones sobre los mecanismos de aplicación del Convenio de Kioto hayan sido aplazadas hasta que se presente el próximo informe del IPCC en el año 2000.

CONFLICTO DE INTERESES

Está claro que el camino emprendido desde que se creó el IPCC es lento y complicado. En gran medida, a causa de la presión ejercida por los *lobbies* de la poderosa industria

energética del carbón y del petróleo, cuyos intereses se han visto amenazados tras verse incluidos en las causas del problema. Por ejemplo, durante los últimos diez años se ha triplicado el número de compañías dedicadas a la prospección de petróleo y gas natural. Además, se han expedido licencias de exploración que afectan a un área equivalente a la suma de Europa y Estados Unidos, con un gasto previsto de 156.000 millones de dólares (5, 6). Estos grupos de presión, que en Estados Unidos han formado la llamada Global Climate Coalition (GCC), han dedicado presupuestos millonarios al despliegue de campañas de desinformación. Utilizando su influencia en los medios de comunicación, han amplificado desproporcionadamente la opinión de una minoría de científicos escépticos y relegado a un segundo plano la preocupación de la gran mayoría de la comunidad científica. Al centrar la discusión en si el problema existe, han conseguido distraer la atención de muchos políticos y de la opinión pública sobre la cuestión más importante, que es impulsar medidas para mitigarlo. Por ejemplo, en 1997 la GCC dedicó diez millones de dólares (unos 1.400 mi-



llones de pesetas) a financiar una campaña publicitaria en televisión que, a juicio de los observadores, endureció decisivamente la postura del gobierno estadounidense en el camino hacia Kioto (6). Mientras se celebraba esta conferencia, también lanzaron otra fuerte campaña propagandística en Estados Unidos conocida como *Petition Project*. Consistió en distribuir por correo y de forma masiva una documentación que incluía un artículo supuestamente científico titulado "Efectos ambientales del incremento del dióxido de carbono". El mencionado artículo negaba la realidad del cambio climático, pero lo singular es que tenía la apariencia de una auténtica publicación científica, aun cuando se pudo comprobar que nunca había sido publicado o revisado por ninguna revista científica conocida. El objetivo de esta campaña era animar a los ciudadanos a firmar peticiones urgiendo al Gobierno estadounidense a rechazar el Convenio de Kioto sobre cambio climático.

EL PROBLEMA DE FONDO

El conflicto de intereses desatado ante la necesidad de poner remedio a una situación cada vez más inquietante ha sembrado la confusión en la opinión pública. Todavía son muchos los que se preguntan si el cambio climático está ocurriendo, o los que opinan que no tendrá graves consecuencias para la humanidad. Como seres humanos preocupados por el futuro de nuestro linaje, pero también como científicos que investigan los efectos del cambio climático sobre la biosfera, nos proponemos dar al lector una visión panorámica de lo que amenaza con ser la mayor catástrofe ambiental a la que se haya enfrentado jamás nuestra especie. Esperamos contribuir así a desequilibrar la balanza en favor de tantos colegas investigadores de todo el mundo, cuya genuina preocupación por este problema viene siendo tan inaceptablemente tergiversada.

Como hemos visto, gran parte de la incertidumbre de la opinión pública sobre el cambio climático tiene un origen espurio. A causa de que, paradójicamente, la ciencia no esgrime certezas sino probabilidades. Cualquier aseveración científica ha de ser entendida como una hipótesis, es decir, una afirmación sobre lo que pudiera ser calificado de verdadero. Algunas hipótesis están débilmente sustentadas, pero otras —como la del calentamiento global del clima— están tan firmemente apoyadas por la evidencia que en la práctica se consideran hechos. Aunque esto no significa que sean ciertas, pues no hay nada que lo sea, la incertidumbre asociada a ellas es tan pequeña que actuamos como si lo fueran. No obstante, quienes se oponen a adoptar medidas han utilizado como excusa esta cuali-

dad del método científico para negar la existencia del cambio climático y entorpecer sus posibles soluciones.

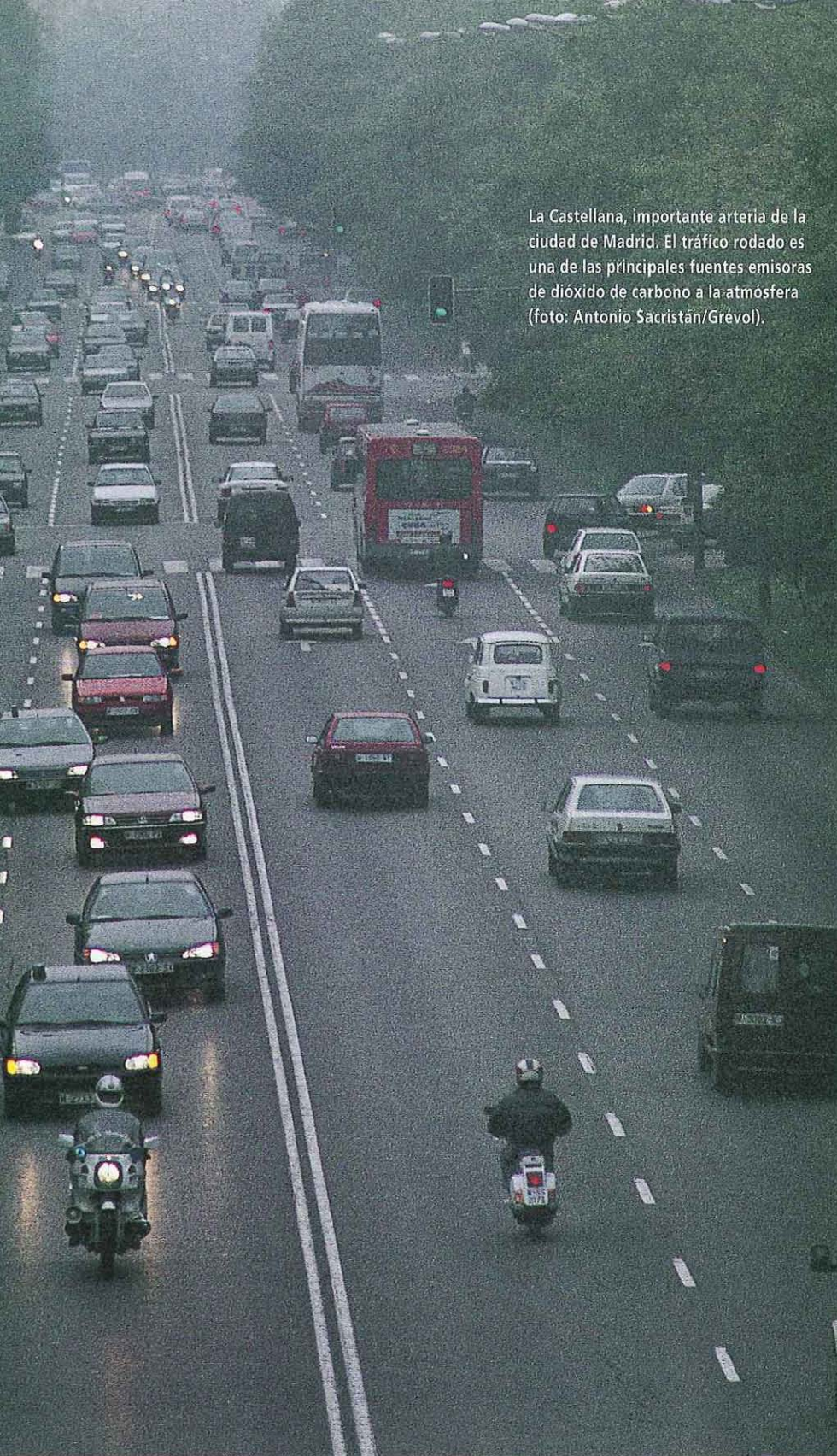
HECHOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Sabemos desde hace tiempo que los gases de efecto invernadero son un componente natural de la atmósfera. El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2) o el metano (CH_4) se producen en la naturaleza y su presencia en la atmósfera favorece decisivamente la retención de calor en la superficie de la Tierra (de forma similar a como los vidrios de un invernadero retienen calor en su interior). Sin estos gases de efecto invernadero la temperatura media de la superficie terrestre sería demasiado baja para permitir la existencia de vida tal y como la conocemos. También se sabe que, desde la revolución industrial, el contenido de gases de efecto invernadero en la atmósfera no ha cesado de aumentar. En la actualidad, la concentración de CO_2 y metano aumenta a un ritmo anual estimado en el 0'5% y el 0'9%, respectivamente. De hecho, el incremento de CO_2 en la atmósfera durante 1997, un 1%, ha sido el mayor registrado durante los últimos cuarenta años. Ya en 1896, Arrhenius pronosticó que al aumentar el contenido de CO_2 la temperatura de la atmósfera también ascendería. De acuerdo con esta predicción, durante los últimos cien años la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado entre 0'4 y 0'6°C y el incremento se ha acelerado desde comienzos de los años sesenta (entre 0'2 y 0'3°C).

No existe ya ninguna duda de que este aumento se debe a las actividades humanas. Esta conclusión fue publicada por el IPCC en su informe de 1996 (2, 3) y supuso el primer reconocimiento oficial del problema. En el caso del CO_2 , la principal fuente de emisión es la quema de combustibles fósiles, aunque la desaparición de sumideros naturales (como los bosques tropicales) también contribuye significativamente al incremento de este gas en la atmósfera. Las precipitaciones han aumentado asimismo de forma significativa en el conjunto de las zonas continentales (un 1% como media). Aunque no de forma uniforme, ya que el incremento ha tenido lugar sobre todo en latitudes altas y durante el otoño y el invierno, mientras que en las áreas tropicales se ha registrado un descenso. Todo ello ha repercutido en el nivel de los océanos, que durante los últimos cien años se ha elevado una media de 10 a 25 centímetros en todo el globo, principalmente debido al deshielo de los glaciares y a la expansión térmica de los mares. Algunas islas pequeñas del Pacífico sur, otrora habitadas, han desaparecido ya bajo las aguas (6) o están camino de ello. Comparado con lo acontecido en el pasado, el ca-



lentamiento actual del clima es singularmente rápido. Si bien hay precedentes de cambios climáticos acaecidos a escala temporal humana —como, por ejemplo, el que ocurrió hace unos 11.500 años en Groenlandia, donde la temperatura descendió unos 7°C, las precipitaciones aumentaron y la circulación atmosférica varió notablemente en sólo unas pocas décadas— tales cambios fueron regionales, de modo que parece poco probable



La Castellana, importante arteria de la ciudad de Madrid. El tráfico rodado es una de las principales fuentes emisoras de dióxido de carbono a la atmósfera (foto: Antonio Sacristán/Grévol).

que durante estos episodios la temperatura global de la atmósfera variase más allá de 1°C en cien años (7).

PRONÓSTICOS E INCERTIDUMBRES

Los pronósticos sobre el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y las fluctuaciones del clima ocupan un lugar destacado en las investigaciones sobre el cambio climático. Las

previsiones más rigurosas sobre el incremento de CO₂ en el futuro se han obtenido mediante simulación por ordenador de modelos de crecimiento de la población humana y del uso continuado de combustibles fósiles como fuente de energía. Dichas estimaciones prevén que, de mantenerse los niveles actuales de crecimiento de las emisiones, la concentración de CO₂ en la atmósfera puede llegar a las 700 partes por millón (ppm) en el

próximo siglo, una cifra que casi dobla los niveles de 1994 (unas 358 ppm) y que supera de forma alarmante los niveles de la época preindustrial (275 ppm). Estas estimaciones se están usando para alimentar otro tipo de modelos, conocidos como GCM (*General Circulation Models*). Los modelos GCM son los más sofisticados de cuantos se utilizan en el estudio del cambio climático. Con ellos se pretenden representar las propiedades estadísticas de la atmósfera en distintos escenarios hipotéticos de incremento de emisión de gases de efecto invernadero. Estos modelos han generado los pronósticos más polémicos, como, por ejemplo, un incremento de varios grados en la temperatura media de la superficie terrestre si las concentraciones de CO₂ llegaran a doblarse en las próximas décadas. La polémica desatada por este tipo de predicciones es comprensible. Por un lado, porque plantean situaciones seriamente inquietantes para la biosfera. Por otro, porque la robustez de los modelos GCM es todavía insuficiente. Incluyen multitud de variables y sus complejas interacciones (cantidad de luz incidente y reflejada, distribución y tipos de nubes, evaporación, distribución del vapor de agua, el papel de la vegetación y un largo etcétera), a lo que hay que añadir el hecho de que parten de una comprensión incompleta de cómo funciona la atmósfera y los procesos de retroalimentación.

No obstante, y a pesar de sus limitaciones, es significativo que diferentes modelos GCM estén arrojando pronósticos similares, coherentes además con las observaciones de lo que le ha venido ocurriendo al clima hasta el presente. Sin duda, todo ello ha dado credibilidad a los modelos GCM, hasta el punto de que sus predicciones son referencias centrales para, por un lado, las discusiones de los países sobre los esfuerzos que deben hacerse para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, por otro, para las investigaciones sobre las consecuencias biológicas del cambio climático.

En otras palabras, se prevé que un incremento de unos pocos grados en la temperatura media del planeta durante el próximo siglo desencadenará importantes modificaciones meteorológicas y del clima global, que afectarán, entre otros procesos, a la evaporación, al ritmo de crecimiento de los vegetales y a la frecuencia de eventos climatológicos extremos. También se ha llegado a tener una aceptable certeza de que tales cambios no serán de la misma magnitud, u ocurrirán en las mismas direcciones, en las diferentes regiones del globo. Tanto los numerosos resultados obtenidos sobre variación climática a lo largo del tiempo, como las abundantes proyecciones teóricas de lo que puede ocurrir en el futuro, configuran

un panorama abrumador que no puede pasarse por alto, por mucho que siempre quede la duda de que la predicción llegue a cumplirse. Por poner un ejemplo, cada vez parece más cercana la posibilidad de que el casquete polar del Antártico occidental se destruya irreversiblemente, lo que supondría un ascenso del nivel del mar de cinco metros en todo el planeta. Otro tanto puede decirse del colapso de la corriente del golfo en el Atlántico norte, lo que significaría un rápido descenso de las temperaturas en Europa septentrional que podría durar cientos de años, mientras el resto del planeta seguiría calentándose. También se piensa que, debido al cambio de presión sobre la corteza terrestre, la subida del nivel del mar disparará la actividad sísmica en el mundo. Un motivo de preocupación adicional es que muy probablemente las transformaciones no serán en absoluto graduales.

ALTERACIONES DE LOS ECOSISTEMAS

Más arriba decíamos que las investigaciones sobre las consecuencias ecológicas del cambio climático utilizan como referencia los resultados obtenidos por los meteorólogos. En primer lugar, los escenarios hipotéticos de cambio climático generados por los modelos de simulación sirven para hacer experimentos sobre las posibles respuestas de los ecosistemas y, también, para alimentar a otros modelos, diseñados para simular los cambios previsibles en la distribución y estructura de los biomas terrestres, las grandes unidades ambientales (selvas, sabanas, desiertos). Son intensos los esfuerzos en este sentido, muchos de ellos coordinados por programas internacionales de investigación, como el proyecto sobre Cambio Global y Ecosistemas Terrestres (GCTE), perteneciente al Programa Internacional Geosfera Biosfera (IGBP). Los experimentos de campo vinculados a estos programas han revelado, por ejemplo, que el aumento de los niveles de CO₂ puede tener efectos positivos sobre la producción de biomasa vegetal. No obstante, también se ha visto que dichos efectos podrían variar notablemente de unos ecosistemas a otros, con unos rangos de incremento de la producción vegetal que oscilan entre el -20% y el +80%. Esta alta variabilidad tiene que ver con los cambios en la composición específica de cada ecosistema, las variaciones que causan en las interacciones entre especies y con la naturaleza altamente interactiva del CO₂ con otros factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes.

Se ha observado también que los efectos indirectos del incremento de temperatura pueden ser más importantes para los ecosistemas que los directos. Estos últimos se espera que sean menores, debido a que muchas especies podrían aclimatarse al aumento de temperatura. Por el contrario, los efectos indirectos serían especialmente dramáticos en latitudes frías debido al calentamiento del permafrost (suelo permanentemente helado). Todo ello podría tener consecuencias significativas en la composición específica de las comunidades de estas latitudes, que tenderían a estar dominadas por matorrales en vez de musgos, y también en la disponibilidad de nutrientes, que se incrementaría. Por otro lado, los modelos dinámicos que simulan los posibles cambios de la vegetación indican que no sólo variará la distribución geográfica de los biomas terrestres, sino también su estructura y composición específica. Esta predicción es coherente, por un lado, con los resultados de numerosos experimentos realizados sobre comunidades ecológicas naturales cuando se varían las condiciones ambientales de acuerdo con los pronósticos de cambio climático de los meteorólogos (por ejemplo, incrementado la temperatura del suelo artificialmente). Y, por otro lado, coincide también con lo que sabemos a través de la paleontología sobre los efectos de los cambios climáticos del pasado, como el que tuvo lugar al final del Pleistoceno, hace unos 10.000 años. Durante los dos millones de años que duró el Pleistoceno, la Tierra experimentó una oscilante sucesión de periodos interglaciares y glaciares que concluyó con el final de la última glaciación hace entre 12.000 y

Muchos científicos consideran que el ritmo al que se incrementan las temperaturas a causa del cambio climático es demasiado rápido para las posibilidades de adaptación de las especies.

10.000 años, dando paso a la era actual, el Holoceno. Las comunidades ecológicas del Pleistoceno tardío se caracterizaban por la existencia de especies que hoy están geográfica y ecológicamente apartadas. Las especies no respondieron a la retirada de los hielos de una forma uniforme, manteniendo sus comunidades intactas, sino que muchas de ellas variaron el rango de distribución geográfica de acuerdo con sus propios límites de tolerancia al cambio ambiental. Se prevé que la reacción de las especies al presente cambio climático tendrá consecuencias similares en la compo-



sición y estructura de las comunidades ecológicas actuales.

Otras líneas de investigación importantes están orientadas a establecer los efectos del cambio climático sobre especies de interés económico o sanitario. Por ejemplo, las posibles respuestas de especies transmisoras de enfermedades, como insectos o garrapatas, y de aquellas causantes de plagas en cultivos y explotaciones madereras. También se han realizado numerosos estudios de simulación orientados a establecer las consecuencias de las alteraciones climáticas en la agricultura. En todos los casos, los resulta-

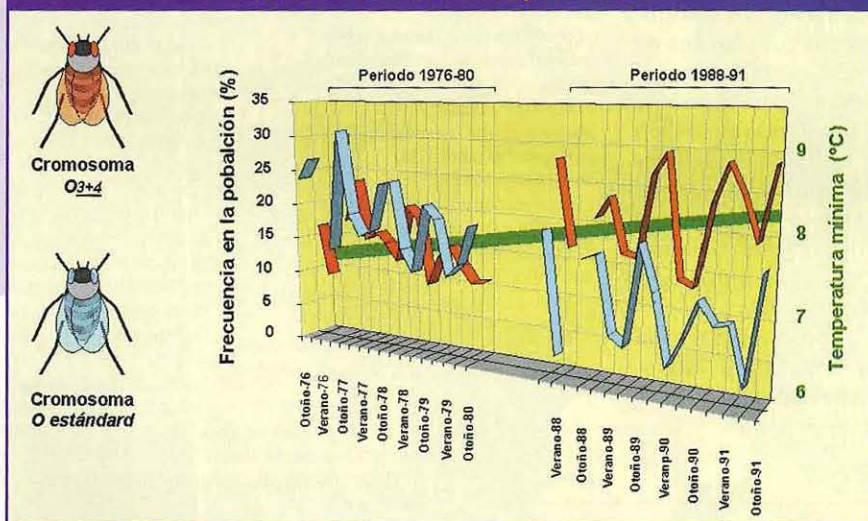
CUADRO 1: Respuestas adaptativas de una mosca al cambio climático

Resultados recientes obtenidos por los autores de este artículo sugieren que el cambio climático ha desencadenado ya procesos adaptativos en algunas especies, como la mosca *Drosophila subobscura*.

Nuestros trabajos (14) se han centrado en una población de moscas de la especie *Drosophila subobscura*, muestreada en las cercanías de Santiago de Compostela (La Coruña). Esta población ha sufrido importantes variaciones, tanto en la estructura como en la diversidad genética, entre 1976 y 1991. Tales variaciones coinciden con las observadas en otras poblaciones de la misma especie muy alejadas y que parecen relacionarse con el calentamiento climático de todo el Paleártico durante el mismo periodo. No sabemos hasta qué punto *D. subobscura* seguirá respondiendo adaptativamente al cambio climático, o si llegará un momento en

que sus poblaciones declinen hasta extinguirse. Lo que sí está claro es que estos cambios evolutivos, de producirse a gran escala, estarían modificando las reglas que gobiernan las interacciones entre los organismos en muchos ecosistemas y en direcciones que, de momento, no pueden pronosticarse. Es muy probable, incluso, que muchas especies con poblaciones reducidas y ecológicamente más especializadas que *D. subobscura* hayan iniciado ya el camino de la extinción. Nuestros resultados, por lo tanto, pueden tener importantes implicaciones para futuras investigaciones sobre los efectos biológicos del cambio climático (15).

FIGURA 2: Adaptación de *Drosophila subobscura* al aumento de las temperaturas



La banda verde que aparece en el plano posterior de la gráfica refleja cómo ha aumentado la temperatura mínima media desde 1976 hasta 1991 en el área de estudio. Paralelamente, también ha cambiado la frecuencia relativa de dos variantes cromosómicas en una población natural del díptero *Drosophila subobscura* radicada en la localidad de O Pedroso, cerca de Santiago de Compostela (La Coruña). La variante O₃₊₄ (tonos rojizos), hipotéticamente adaptada al calor, incrementa su frecuencia a medida que suben las temperaturas. Por el contrario, la variante estándar (tonos azules), hipotéticamente adaptada al frío, tiende a representar un porcentaje menor de la población. Tendencias similares han sido observadas en otras localidades del Paleártico. Fuente: referencia bibliográfica 16 (modificado).

dos sugieren importantes modificaciones respecto a la situación actual, aunque, de momento, es difícil establecer su magnitud y naturaleza a escala local.

HUYENDO DEL CALOR

Las observaciones de los científicos han revelado que tanto la composición de la atmósfera como el clima vienen cambiando desde finales del siglo pasado. Más allá de los experimentos de campo y laboratorio, o de las simulaciones por ordenador, cabe pre-

guntarse si esta transformación ambiental está teniendo ya consecuencias reales para los organismos. En caso afirmativo, el seguimiento de sus respuestas es interesante por dos motivos. Primero, por la posibilidad de hacer un seguimiento del cambio climático a través de sus efectos sobre los organismos. Y, segundo y quizá más importante, porque podremos elaborar criterios objetivos de evaluación del impacto ambiental del cambio climático. Así pues ¿cómo esperan los científicos que respondan los organismos? En ge-

neral se prevé que, en una primera fase, algunos organismos se aclimatarán fisiológicamente, particularmente aquellos capaces de regular internamente su temperatura corporal. No obstante, a medida que las condiciones climáticas se vuelvan más y más insostenibles, incluso estos organismos tendrán que emigrar y los desplazamientos serán hacia altitudes más elevadas y, latitudinalmente, hacia los polos. La evidencia reunida hasta el momento indica que tales respuestas ya están ocurriendo. Un claro ejemplo lo constituye la mariposa *Euphydryas editha* (Figura 1). Vive en el oeste de Norteamérica y su rango de distribución geográfica se ha desplazado hacia el norte de forma consistente con el cambio climático (8). Desplazamientos geográficos similares de los territorios de cría se están observando en varias especies de aves nidificantes europeas (9) que, además, como ya ocurre con algunos anfibios (10), están adelantando su época de reproducción (11). En el caso de las plantas, también se ha observado un significativo ascenso altitudinal de algunas especies por las laderas de las montañas. Por ejemplo, en los Alpes austríacos se ha estimado que durante los últimos 70-90 años la temperatura media anual se ha incrementado en 0,7°C y, paralelamente, nueve especies de plantas típicas de los ambientes nivales han elevado apreciablemente su límite superior de distribución altitudinal (12).

¿Qué ocurrirá con aquellos organismos que no puedan evitar las condiciones desfavorables emigrando? La opinión más extendida es que se extinguirán. Esta visión, dramática donde las haya, se basa en las enseñanzas del registro fósil, según las cuales los cambios climáticos del pasado han ido acompañados siempre de la desaparición de numerosas especies. Cabe, no obstante, otra alternativa y es que puedan adaptarse apoyadas en su variación genética. Para que una especie pueda adaptarse al cambio climático, es necesario que contenga variación genética que le confiera resistencia a las nuevas condiciones ambientales. En última instancia, dependerá del ritmo al que se produce el cambio. Si el clima cambia muy rápidamente, la variación genética presente en un momento dado podría ser insuficiente y la especie acabará extinguiéndose. Muchos científicos consideran que el ritmo actual del cambio climático es demasiado rápido para las posibilidades de adaptación de las especies.

SINERGIAS DE UN FENÓMENO COMPLEJO

De todo lo dicho se desprende que las investigaciones sobre el cambio climático se enfrentan a una formidable complejidad. El conocimiento que se tiene sobre la alteración del clima es ya bastante profundo, aunque

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN INTERNET

Buena parte de los científicos que trabajan en cuestiones relacionadas con el cambio climático coordinan sus trabajos a través del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Este organismo, creado en 1988 por iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), asesora a los gobiernos sobre las características del cambio climático y sus impactos ambientales y socioeconómicos, así como sobre las posibles estrategias que pueden adoptarse para mitigar estos problemas. El IPCC emite informes en tres idiomas, incluido el castellano, que pueden ser consultados y/o adquiridos en Internet: www.ipcc.ch

INTERGOVERNMENTAL PANEL
ON CLIMATE CHANGE (IPCC)



disto mucho de ser completo y más aún de permitirnos hacer pronósticos definitivos. Por otro lado, los efectos biológicos de este fenómeno sólo empiezan a vislumbrarse de una forma simplista (13). Por ejemplo, los cambios observados en algunas especies se han venido interpretando como consecuencias directas de las alteraciones climáticas (Figura 1, Cuadro 1 y Figura 2). Sin embargo, debido a la elevada imbricación de las interacciones establecidas entre los organismos que componen las comunidades ecológicas (competencia, depredación, parasitismo) y a las complejas conexiones que pueden existir entre dichas comunidades (por ejemplo, debidas a los procesos de dispersión de especies), cabe la posibilidad de que las respuestas biológicas indirectas sean mucho más importantes. E incluso, debido al efecto dominó, pueden afectar a los organismos menos vulnerables a la modificación de su entorno. Si a todo esto añadimos la posibilidad de que algunas especies experimenten

cambios evolutivos, con el alto grado de incertidumbre que ello implica (14), y la coincidencia del cambio climático con otros fenómenos globales que también alteran los ecosistemas (destrucción y fragmentación de hábitats, contaminación de las aguas continentales, invasión de especies exóticas) la complejidad con la que nos enfrentamos se revela inmensa. Los científicos somos conscientes de ello, pero también de que los esfuerzos por conocer estos problemas no deben cesar, incluso aunque nunca lleguemos a prever con precisión lo que sucederá en el futuro. En cualquier caso, está claro que la ciencia puede (y debe) proporcionar apreciaciones cada vez ajustadas sobre la evolución de tales problemas y

sus riesgos asociados. En conclusión, la ciencia cuenta ya con información más que suficiente para convencernos de que deben tomarse medidas decisivas para atajar el cambio climático. El inmovilismo en este caso parece una opción demasiado arriesgada incluso para la propia humanidad, o al menos para las expectativas de mejora del bienestar de mucha gente.

Bibliografía

- (1) Houghton, J.; Jenkins, G.J. y Ephraums, J.J. (eds.) (1990). *Climate change: the IPCC Scientific Assessment*, 1990. Report of the IPCC Scientific Assessment Working Group (Working Group I). Cambridge University Press.
- (2) Houghton, J. y otros editores (1996). *Climate change 1995: the science of climate change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- (3) Watson, R.T. y otros (eds.) (1996). *Climate Change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change*. Scientific-technical analyses contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- (4) Bruce, J.; Hoesung, L. y Haites, E. (eds.) (1996). *Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change*. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- (5) Gelbspan, R. (1995). The heat is on. *Harper's*, 291: 31-37.
- (6) Pearce, F. (1998). Global warming: report from Buenos

La hemeroteca de Quercus

Artículos complementarios publicados en Quercus

■ Quercus 71 (enero 1992)

Ref. 5301071 / 550 Pta.

· Contribución de los incendios forestales al cambio climático. Juan Carlos Rodríguez Murillo.

· La contaminación atmosférica en las grandes ciudades. José Francisco Ballester-Olmos.

■ Quercus 74 (abril 1992)

Ref. 5301074 / 550 Pta.

· Efectos del cambio climático sobre los peces. Carlos Granado-Lorencio.

■ Quercus 145 (marzo 1998)

Ref. 5301145 / 550 Pta.

· Cambio global y conservación de la biodiversidad. Rogelia Llorente y Montserrat Vilà.

Insertamos un boletín de pedidos en la página 60.

- Aires. Publicado en Internet, URL: <http://www.news.cientist.com/nsplus/insight/global/global98/>
- (7) Llebot, J.E. (1998). *El cambio climático*. Rubes. Barcelona.
 - (8) Parmesan, C. (1996). Climate and specie's range. *Nature*, 382: 765-766.
 - (9) Thomas, C.D. y Lennon, J.J. (1999). Birds extend their ranges northwards. *Nature*, 399: 213.
 - (10) Brown, J.L.; Li, S.H. y Bhagabati, N. (1999). Long-term trend toward earlier breeding in an american bird: a response to global warming? *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 96: 5.565-5.569.
 - (11) Beebe, T.J.C. (1995). Amphibian breeding and climate. *Nature*, 374: 219-220.
 - (12) Grabherr, G.; Gottfried, M. y Pauli, H. (1994). Climate effects on mountain plants. *Nature*, 369: 448.
 - (13) Davis, A.J. y otros autores (1998). Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391: 783-786.
 - (14) Rodríguez-Trelles, F.; Rodríguez, M.A. y Scheiner S.M. (1998). Tracking the genetic effects of global warming: *Drosophila* and other model systems. *Conservation Ecology* [on line], 2 (2): 2. Publicado en Internet, URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art2>
 - (15) Rodríguez-Trelles, F. y Rodríguez, M.A. (1998). Rapid microevolution and loss of chromosomal diversity in *Drosophila* in response to climate-warming. *Evolutionary Ecology*, 12: 829-838.
 - (16) Rodríguez-Trelles, F.; Alvarez, G. y Zapata, C. (1996). Times-series analysis of seasonal changes of the O inversion polymorphism of *Drosophila subobscura*. *Genetics*, 142: 179-187.

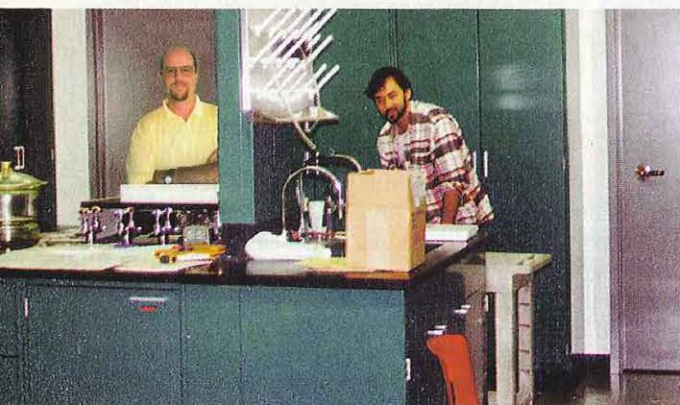
LOS AUTORES

Miguel Angel Rodríguez es doctor en Biología y profesor titular de Ecología en la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid). Ha trabajado como investigador en diversos centros, tanto españoles como extranjeros, y actualmente se interesa por los factores y procesos que condicionan la variación de la biodiversidad a diferentes escalas.

Francisco Rodríguez-Trelles es doctor en Biología y miembro del grupo de Genética de Poblaciones y Evolución del Departamento de Genética y Microbiología de la Universidad Autónoma de Barcelona. Colabora con la Universidad de California en varios proyectos de investigación y su área de trabajo se centra en las causas y los mecanismos de la evolución biológica.

Direcciones de contacto:

Miguel Angel Rodríguez · Área de Ecología · Universidad de Alcalá · 28871 Alcalá de Henares · Madrid
Francisco Rodríguez-Trelles · Departamento de Genética y Microbiología · Universidad Autónoma de Barcelona · Edificio C · 08193 Bellaterra · Barcelona



Miguel Angel Rodríguez y Francisco Rodríguez-Trelles (a la derecha) en su laboratorio del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva de la Universidad de California-Irvine (Estados Unidos), donde comenzaron sus investigaciones sobre los efectos microevolutivos del cambio climático.