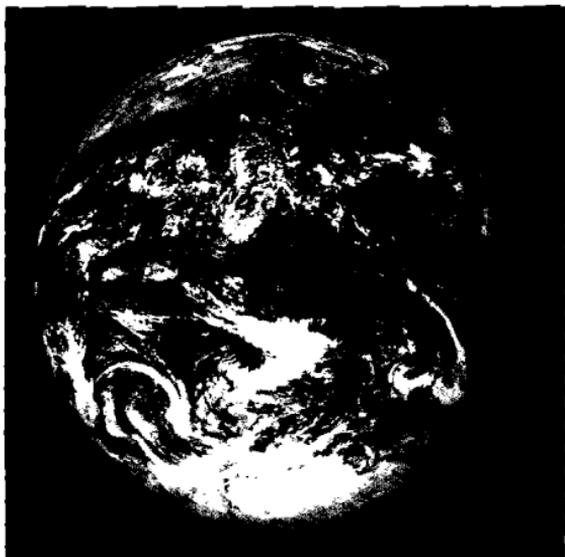


CARTILLA DE DIVULGACIÓN  
LO QUE VD. DEBE SABER SOBRE:

# **CAMBIO CLIMÁTICO**

## **¿Estamos cambiando el clima?**



**Coordinación:**

Juan Antonio Rodríguez Llano  
Ramón Campoamor Martínez

**Textos:**

Francisco Heras Hernández  
Fernando Valladares Ros  
Mariano González Sáez

**Producción:**

Juan Antonio Domínguez Lerena  
Compañía de Inventarios Naturales., S.L.

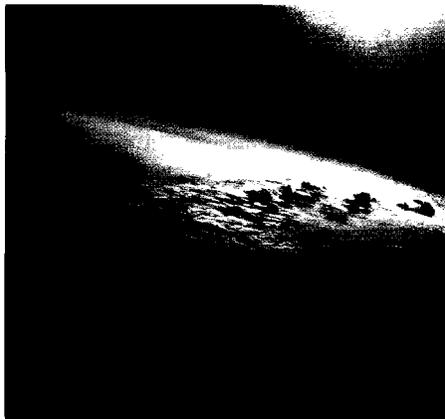
[www.cin.tv](http://www.cin.tv)

**Foto portada: NASA**

## EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Fernando Valladares

### EVIDENCIAS Y EFECTOS MÚLTIPLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO



(Foto: NASA).

Las evidencias de que las cosas cambian por efecto del cambio climático se acumulan. Muchas aves migratorias llegan antes, se van después o incluso muchos individuos no llegan a migrar. Muchas plantas e insectos adelantan las fases más activas de su ciclo vital y las continúan

hasta bien entrado el otoño o incluso el invierno. El agua desaparece del suelo, la nieve cubre de forma cada vez más irregular las montañas, afectando con ello al ritmo de los ecosistemas y a muchos de los bienes y servicios que nos prestan. Algunos ecosistemas propios de zonas de llanura o fondos de valle empiezan a encontrarse cada vez en zonas de montaña más altas, al igual que ocurre con ciertas plagas como la procesionaria. Pero para las especies propias de alta montaña no hay escape en altura y sus poblaciones se encuentran cada vez más amenazadas. La migración hacia latitudes más norteñas es muy poco viable en la realidad por la elevada fragmentación del territorio, con lo que muchas plantas y animales están desapareciendo a nivel local. Especies exóticas propias

de climas cálidos se expanden por nuestras latitudes. Y las estimas para un futuro cercano no dejan mucho margen para el optimismo. Al ritmo actual, las legendarias nieves del Kilimanjaro, asociadas con glaciares en rápido retroceso, sólo durarán veinte años, amenazando el funcionamiento de ecosistemas que existen gracias a las condiciones climáticas locales. Y las no menos legendarias selvas amazónicas que sobrevivan a las talas e incendios podrían colapsar hacia el 2100 debido a la disminución de lluvias y humedad relativa, con un escalofriante primer adelanto en la intensa sequía sufrida por la zona a finales del 2005. En un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente, publicado en verano del 2004, se muestra como el sur de Europa y la región Mediterránea, así como las zonas de montaña, serán las más afectadas por el cambio climático. A una escala aún más próxima, los lagos y los restos glaciares que persisten en los Pirineos, Sistema Central o Sierra Nevada también van desapareciendo, y muchos de nuestros bosques mas queridos empiezan a padecer con la combinación de temperaturas cada vez más altas y una disminución de las precipitaciones que se vuelven, además, menos regulares y mas torrenciales.

La llegada de las golondrinas y cigüeñas, así como los pasos otoñales y primaverales de numerosas aves migratorias, son eventos estacionales que todos tenemos muy presentes y que están reflejados en muchas tradiciones y refranes. Con el cambio climático, muchas aves están modificando las fechas de sus viajes, ya que la temperatura y el estado de desarrollo de los ecosistemas receptores influyen en sus decisiones migratorias. (Foto: cin.tv).



## ¿REALMENTE ESTÁN OCURRIENDO TANTAS COSAS Y SON TODAS DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Es común escuchar que alguien “no se cree eso del cambio climático” o que “yo no me puedo creer que todo esto sea por el cambio climático.” Pero el cambio climático y sus efectos no es algo en lo que “creer o no creer.” En lo relativo al cambio climático no hay margen para el escepticismo. Sólo para la desinformación. No obstante, hay que reconocer que estar bien informado en este campo no es tarea fácil. No sólo por los a veces contradictorios mensajes que se reciben de los medios de comunicación sino por el hecho de que siempre hay un margen de incertidumbre en la interpretación de lo que está pasando y en las estimas de lo que podrá pasar como consecuencia del cambio climático. Si bien existe una certeza completa de que existe un cambio climático y de que la especie humana tiene mucho que ver con la inusual velocidad a la que sube la temperatura media del planeta, existen dudas en relación a los detalles de este cambio y sus efectos. Para comprender estas dudas es necesario comprender como funciona la ciencia del cambio climático. Los científicos asignan una probabilidad a que los eventos concretos que observamos (por ejemplo, olas de frío o calor, sequía, cambios en el comportamiento de los ecosistemas) se deban al cambio climático. Y también plantean qué escenarios futuros serán más probables. Pero nunca establecen con total seguridad que es lo que va a pasar. Esto corresponde a los adivinos, profetas o visionarios. El mensaje a transmitir desde la comunidad científica no puede ser siempre tan breve y sencillo como la sociedad requiere, pero en algunos casos, sin embargo, la certidumbre es más alta, y por tanto el mensaje puede ser más claro y corto. Tal es el caso por ejemplo de la expansión latitudinal de ciertas aves y plagas, de los cambios en la composición de las comunidades vegetales y animales por el distinto efecto del cambio climático sobre cada una de las especies, y de las alteraciones en los ritmos estacionales y en numerosos procesos ecológicos. Todo esto ha

sido estudiado en diversos lugares de la Tierra y la evidencia señala al cambio climático como responsable principal de estos cambios. Sobre este tipo de conocimiento científico más concluyente se construyen escenarios futuros y se establece la probabilidad de que las tendencias del cambio climático y sus efectos se mantengan, se aceleren o se frenen.

A todos los impactos que el cambio climático podrá tener en un futuro se les asigna, por tanto, una horquilla de probabilidad y no una certeza absoluta. En primer lugar dependerá de lo que hagamos nosotros mismos con las emisiones de los gases con efecto invernadero, pues no será lo mismo si se reducen las emisiones y la temperatura sube 1-2 grados centígrados que si no se reducen y sube más de 3 grados. Pero también dependerá de que tipo de efecto o impacto del cambio climático queramos estimar. Los efectos directos son más fáciles de estimar que los indirectos, pero estos últimos pueden ser tan o más importantes que los primeros. En el caso de los sistemas naturales es más fácil estimar qué podrá pasarle a una especie determinada expuesta a un incremento de temperatura que a todo un ecosistema compuesto por diversas especies que interaccionan entre si y en el que la temperatura varía a la vez que muchos otros factores. Es fácil comprender, por tanto, que cuanto más realistas queramos ser en nuestras estimaciones de los efectos del cambio climático, más difícil será ser precisos ya que el realismo va asociado con una mayor complejidad. Por ejemplo, es más realista estimar impactos en ecosistemas completos que en especies individuales, ya que las especies no están “en el aire” sino que están en un ecosistema. Pero las especies interaccionan entre si y responden a muchos factores ambientales de forma compleja, con lo que es difícil saber con exactitud que pasará a todo un ecosistema a medida que sube la temperatura y cambian las precipitaciones. No obstante, mediante la combinación de detalladas observaciones de lo que está ocurriendo en los sistemas naturales y de experimentos controlados en los que

se pueden explorar respuestas y efectos de forma más precisa se está avanzando mucho en el conocimiento de los efectos del cambio climático y por consiguiente en nuestra capacidad de anticiparnos e incluso llegar a prevenir estos efectos.

**Tabla 1. Grado de certidumbre científica sobre el cambio climático en España y sus efectos. (MA certeza muy alta, A certeza alta, B certeza baja)**

Cambio climático	
MA	Incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo XXI (4-7° C hacia el final del s. XXI)
MA	Incremento de temperaturas significativamente superior en verano que en invierno, sobre todo en las zonas del interior peninsular
A	Disminución general de la precipitación anual total (entre un 5 y un 25% hacia finales del s. XXI) y cambios en la distribución estacional de las lluvias
A	Incremento de la variabilidad climática y de la frecuencia de eventos extremos (olas de calor y frío, lluvias torrenciales, heladas y granizos fuera de temporada)
A	Disminución significativa de las precipitaciones en primavera y verano (entre 20 y 40 mm menos hacia finales del s. XXI)
A	Desplazamiento de la sequía (días con precipitación < 1 mm) en la Península hacia la primavera, empezando y acabando antes aunque durando unas dos semanas más en total hacia mediados del s. XXI
B	Aumento de la precipitación en invierno en el oeste y en otoño en el noreste de la Península

## ¿QUÉ LE OCURRE A LA VEGETACIÓN?

Los vegetales tienen una importancia desproporcionada en el funcionamiento de los ecosistemas debido a que son orga-

nismos productores, es decir, capaces de transformar la energía del sol en energía química mediante la fotosíntesis. Los ingredientes de la fotosíntesis son básicamente carbono (obtenido a partir del CO<sub>2</sub> del aire), agua y luz. El CO<sub>2</sub>, además de ser el principal gas con efecto invernadero, es fundamental para el crecimiento de las plantas, de forma que su incremento en la atmósfera es en principio positivo para ellas. Pero al haber más carbono, la relación carbono-nitrógeno de las hojas



Las condiciones de clima continental contrastado que sufren muchos encinares del interior peninsular se han visto recrudescidas durante el 2005. En las parameras de Guadalajara y alto Aragón se registraron varias olas de frío en enero y febrero en las que la temperatura bajó de -20 °C sin subir de -9 °C durante periodos de entre 5 y 7 días seguidos, y al frío siguió un verano muy caluroso (máximas superiores a los 45 °C) y extraordinariamente seco, que favoreció incendios catastróficos. Muchas encinas de zonas adversas como los páramos castellanos, cuyos brotes y hojas se congelaron durante las olas de frío, como se muestra en la imagen, y sufrieron luego con la intensa sequía, apenas dieron flores y prácticamente no produjeron bellotas ni crecieron, acabando el 2005 con menos hojas de las que tenían al empezar el año. (Fotografía de Fernando Valladares).

aumenta y por tanto su calidad nutritiva baja, afectando a todos los animales que nos alimentamos de ellas. Además, el incremento de la temperatura contrarresta el efecto beneficioso de un mayor CO<sub>2</sub>, ya que la temperatura aumenta los gastos de mantenimiento del metabolismo de las plantas (la respiración vegetal). El balance entre los ingresos por fotosíntesis y los gastos por respiración se mantiene o incluso disminuye con el cambio climático. Y si tenemos en cuenta que el agua, fundamental para la fotosíntesis, será más escasa en muchas zonas, el resultado fisiológico global del incremento de CO<sub>2</sub> y del cambio climático no es un incremento de la producción vegetal sino, en muchos casos, una disminución. Esto levanta muchas dudas sobre la capacidad real de la vegetación para contrarrestar las emisiones humanas de CO<sub>2</sub>. En otras palabras, la función de las plantas como sumidero de CO<sub>2</sub> es poco probable que pueda atenuar la creciente concentración atmosférica de este gas como resultado de las emisiones generadas en las actividades humanas.

En los bosques y matorrales mediterráneos, el incremento de CO<sub>2</sub> y el incremento de las temperaturas aumentarán el ritmo metabólico y el gasto de agua por transpiración de las hojas. Si las precipitaciones no aumentan (y las tendencias indican que es al contrario, es decir, que están disminuyendo) se producirá una reducción del agua en el suelo disponible para las plantas superior al 25% en los próximos cincuenta años, con lógicas variaciones locales y regionales. Si consideramos que en muchas zonas los bosques mediterráneos ya están al límite de sus posibilidades, transpirando incluso más agua de la que llueve, esta disminución de las reservas de agua del suelo daría lugar a una desaparición del bosque, o al menos de las especies arbóreas dominantes. Estos bosques serían gradualmente reemplazados por matorrales más tolerantes de la sequía y que consuman menos agua. Y el hecho de que la vegetación esté cada vez más seca incrementa natu-

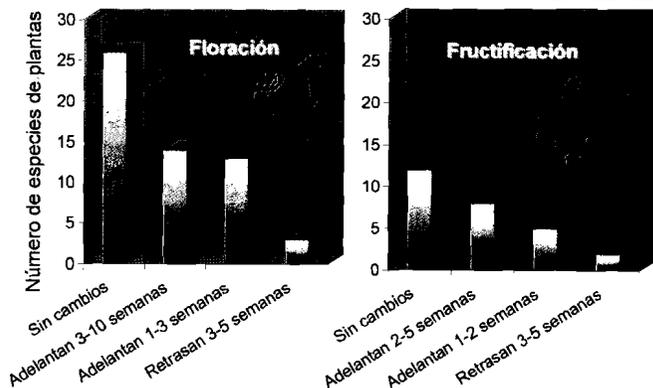
ralmente el riesgo de incendio. Y muchos de estos efectos (seca de árboles, sustitución de árboles por matorrales, incremento de frecuencia y severidad de incendios) ya se están registrando.

## ¿QUÉ EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SE OBSERVA YA EN LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES?

Uno de los efectos más tangibles del cambio climático es el de los cambios en los ritmos estacionales de la flora y la fauna. Muchas plantas y animales muestran ciclos de vida alterados, iniciando su actividad antes o acabándola más tarde por efecto de unas temperaturas cada vez más cálidas. Por ejemplo, muchos árboles de hoja caduca están sacando sus hojas nuevas entre 1 y 2 semanas antes, las larvas de muchos insectos, como las orugas de diversas mariposas, se observan antes y algunas aves migradoras adelantan la fecha de su regreso tras el invierno. En un estudio realizado en Cardedeu, Barcelona, en el que se han registrado las fechas exactas de salida de hojas, flores y frutos así como la aparición de determinados insectos y aves durante más de cincuenta años, se han detectado cambios muy significativos en los ritmos vitales de animales y plantas. Muchas especies de árboles y arbustos han adelantado las fechas de floración y fructificación entre una y tres semanas, y algunas hasta diez semanas! Y algo similar se ha observado con la primera fecha en la que se registran mariposas, mariposas de la col y golondrinas o en la que se escucha por primera vez el canto del ruiseñor, la abubilla o el cuco.

El calentamiento general hace que ciertas especies busquen lugares cada vez a mayor altitud para vivir. Este es el caso observado en 16 especies de mariposas de la Sierra de Guadarrama. En los últimos treinta años la temperatura de la zona ha subido un promedio de 1.3 grados y esto ha causado que estas mariposas hayan ascendido en altitud un promedio

### Cambios en la fecha de floración y fructificación en Cardedeu (Barcelona) tras 50 años de observación



Uno de los efectos más palpables del cambio climático es el de los cambios en los ritmos estacionales (fenología) de la flora y la fauna. En un estudio a largo plazo realizado en Cardedeu, Barcelona se han detectado cambios significativos en las fechas de floración y fructificación de muchas plantas, así como en las fechas de eclosión de larvas e insectos y en la llegada de las aves migratorias. Muchas especies de plantas tienden a adelantar sus ciclos vitales, floreciendo y fructificando antes. No obstante, la productividad vegetal no se verá incrementada por este periodo mas largo de temperaturas favorables debido al creciente impacto de la sequía durante el verano que contrarresta el efecto de la temperatura sobre la productividad de las plantas. (Elaborado a partir de datos de Peñuelas y colaboradores 2002)

de 212 metros. Este ascenso lleva consigo una disminución de un tercio del área total disponible para las dieciséis especies de mariposas. El resultado es no sólo que las poblaciones de estas mariposas deben ahora apretarse en menos espacio, sino que están desapareciendo de muchas zonas bajas donde eran abundantes.

De forma análoga, las especies van buscando zonas cada vez más al norte, a veces huyendo del creciente calor del sur, a veces encontrando que las temperaturas del norte son cada

vez más favorables. La procesionaria del pino, una plaga de muchos de nuestros pinares, empieza a ser un problema "nuevo" en el centro de Europa, donde nunca había tenido un gran impacto debido a que las frías temperaturas la habían mantenido a raya. La procesionaria no solo se encuentra cada vez más al norte sino también cada vez más alta en las montañas. Y a veces el problema toma matices complejos. En el caso de los pinares de pino silvestre en Sierra Nevada, la procesionaria ha estado habitualmente restringida a las masas reforestadas y plantadas en zonas bajas, de forma que las masas naturales que contienen una variedad endémica de este pino y que se encuentran a mayor altitud han estado a salvo de esta plaga durante sus cientos de miles de años de existencia. Sin embargo, en los últimos años se ha observado un ataque cada vez más importante de la oruga de la procesionaria a las masas autóctonas de este pino, lo cual supone un motivo adicional de preocupación ya que estas valiosas masas tienen una extensión reducida y podrían no tener mecanismos naturales adecuados para evitar que la plaga acabe con todos los árboles.

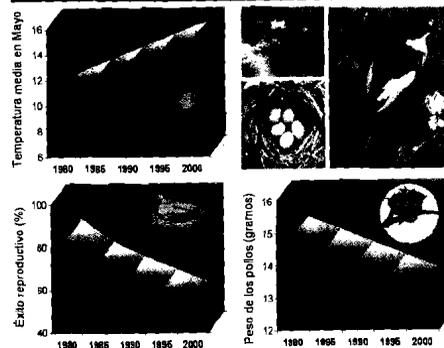
Lo que resulta evidente es que no todas las especies de plantas y animales responden igual, e incluso algunas espe-



La procesionaria está atacando a masas de pinos silvestres autóctonos que antes estaban protegidas por el clima más fresco de las cotas más altas de la montaña. (Foto: cin.tv).

cies parecen no responder apenas al cambio climático. Este simple hecho, el que cada especie responde de forma distinta al cambio climático, tiene una repercusión profunda y compleja en el funcionamiento de los ecosistemas. Mientras unas especies se ven favorecidas por el cambio climático, otras se ven perjudicadas y esto lleva a rápidos cambios en la composición y abundancia relativa de las especies que integran un determinado ecosistema, lo cual afecta a su vez al funcionamiento de conjunto. Además, y dado que las especies interactúan entre sí, sirviendo unas de alimento a otras, ligeros cambios en los ritmos estacionales de unas especies pueden afectar mucho a las especies que dependen de ellas, sobre todo si las respuestas al cambio climático son muy diferentes. En un estudio de más de veinte años de duración en los robledales de la Sierra de Guadarrama se ha visto que el incremento de la temperatura del mes de Mayo ha llevado consigo un adelanto de la salida de la hoja en los robles. Las orugas que se alimentan de estas hojas también han adelantado su calendario, permaneciendo acopladas al ritmo anual de su planta nutricia. Sin embargo, esto no es así para algunas especies de aves migradoras, como el papamoscas cerrojillo, que ha modificado mucho menos su calendario de llegadas y salidas de Guadarrama. De esta forma, cuando el papamoscas llega a los robledales y se dispone a sacar adelante a sus polluelos, se encuentra con que las orugas de las que se alimenta llevan ya varias semanas de adelanto. Y precisamente cuando los polluelos son más grandes y necesitan más alimento, las orugas comienzan a escasear. El resultado es que tras estos veinte años de estudio el peso medio de los pollos al final de la temporada ha disminuido en más de un gramo (recordemos que sólo pesan unos 14 gramos) y en general el éxito reproductor del papamoscas en la sierra de Guadarrama ha disminuido en más de un 20% desde el principio de la década de los ochenta.

Cambios en la temperatura, en el éxito reproductor y en el peso de los pollos de papamoscas en la Sierra de Guadarrama tras 20 años de observación

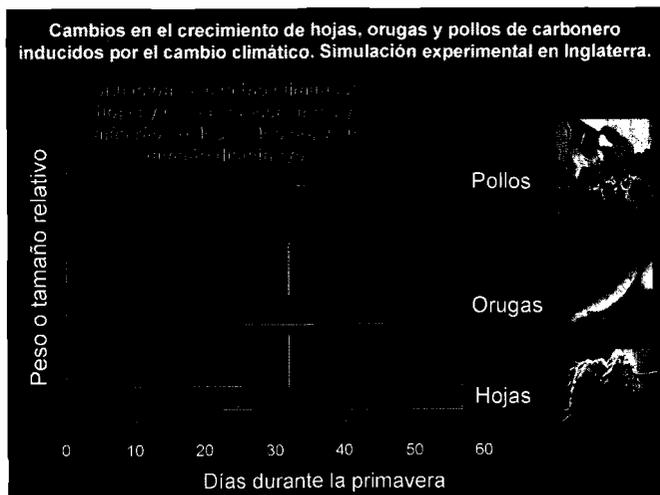


Disminución del éxito reproductor y del peso de los pollos del papamoscas cerrojillo como consecuencia del incremento de temperatura (en particular la del mes de mayo) durante los últimos 20 años en los robledales de la Sierra de Guadarrama. (Elaborado a partir de datos de Sanz y colaboradores 2003).

Para comprender mejor que podía estar pasando en este tipo de situaciones en las que varias especies que dependen unas de otras responden de forma distinta al cambio climático, unos investigadores ingleses decidieron experimentar en condiciones controladas de laboratorio con los ritmos de crecimiento de plantas, orugas y aves. El ave estudiada en este caso fue el carbonero común, un pequeño pajarillo muy frecuente en nuestros bosques que a diferencia del papamoscas cerrojillo es sedentario. Lo que encontraron fue que cuando estos tres tipos de organismos se exponían a temperaturas algo más cálidas durante su desarrollo, sólo dos de ellos, plantas y orugas, adelantaban su crecimiento y crecían más rápido. Los pollos de carbonero adelantaban mucho menos su crecimiento y apenas crecían un poco más rápido, con lo que el peso al final del periodo de crecimiento fue mucho menor. Y el peso de los polluelos está directamente ligado a sus posibilidades de supervivencia durante el primer verano. Este estudio demostró por tanto que es la respuesta diferente a un incremento de la temperatura media en especies que dependen

unas de otras lo que explica el declive observado en ciertas poblaciones naturales de aves.

Muchas especies de plantas tienden a alargar sus ciclos vitales, sacando la hoja antes y tirándola después, lo cual incrementa en principio la duración del periodo de crecimiento. Esto puede tener consecuencias muy importantes para todo el ecosistema, ya que las plantas son la base que sustenta la vida sobre la tierra, y su crecimiento y producción son la fuente principal de energía para todos los organismos, incluyendo la especie humana. No obstante, este periodo de crecimiento en principio más largo no va asociado con un mayor creci-



Disminución del crecimiento de los pollos de carbonero común como consecuencia del incremento de las temperaturas. El incremento de temperaturas hace que las hojas de las especies caducas salgan antes y tanto ellas como las orugas crecen más rápido, mientras que los pollos no salen antes ni crecen más rápido a mayor temperatura con lo que su tamaño final es menor. Resultados de un estudio experimental en Inglaterra simulando las condiciones de cambio climático previsto para mediados del siglo XXI. (Elaborado a partir de datos de Buse y colaboradores 1999).

miento real en muchos ecosistemas, como por ejemplo los de clima mediterráneo, debido al efecto de la sequía durante el verano. El crecimiento y la productividad vegetal de los ecosistemas mediterráneos no se verán incrementados por este periodo más largo de temperaturas favorables debido a que la sequía del verano detiene la actividad de las plantas. Además, la propia sequía está haciéndose más prolongada e intensa por efecto del cambio climático, contrarrestando el posible efecto beneficioso de la temperatura sobre la productividad de las plantas.



Uno de los procesos claves, aunque poco visibles, en el funcionamiento de los ecosistemas es el de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo. Este proceso crucial para los ciclos globales de la materia depende directamente de la temperatura, de forma que ligeros incrementos en la misma aceleran mucho el metabolismo de las bacterias y hongos que viven en el suelo y, por tanto, el ritmo al que la materia orgánica se consume y transforma. Toda la productividad del ecosistema se ve afectada por este cambio aunque los efectos globales son difíciles de estimar con exactitud. (Foto: cin.tv).

En análisis globales de los efectos del cambio climático sobre la flora y la fauna se ha determinado que el cambio climático podría desencadenar pérdidas masivas y alteraciones muy importantes en la distribución de las especies en Europa. Considerando las cuatro posibles situaciones climáticas pro-

puestas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y tres modelos matemáticos diferentes, varios científicos han estudiado la distribución de más de mil especies vegetales europeas hasta el año 2080, y han concluido que más de la mitad de estas especies podrían ser clasificadas como vulnerables o amenazadas. Se ha comprobado que las especies de las montañas europeas son las más sensibles al cambio climático, de modo que se estima que alrededor del 60% de ellas desaparecerían de esas regiones sobre todo si las emisiones de CO<sub>2</sub> siguen al ritmo actual. Las zonas boreales sufrirían la menor pérdida de especies (en parte debido a que estas regiones podrían ganar nuevas especies por la inmigración desde las regiones del sur). Los ecosistemas más vulnerables serían los que se encuentran en las regiones del sur, en el entorno mediterráneo. La pérdida de especies vegetales sería más acusada en las zonas secas y alpinas debido a la gran biodiversidad actual de estas zonas y a su extrema sensibilidad a los cambios climáticos.

**Tabla 2. Grado de certidumbre científica sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas terrestres españoles. (MA certeza muy alta, A certeza alta, B certeza baja)**

**Efectos en ecosistemas terrestres**

- MA Cambios en la fenología (ritmos estacionales) de las especies y en sus interacciones

---

- MA Expansión e incremento del impacto de especies invasoras y de las plagas

---

- MA Cambios en la dominancia de las especies de una comunidad y en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas

---

- MA Incremento entre 3 y 6 semanas del periodo estival de riesgo de incendio (días con índice FWI < 15) hacia mediados del s. XXI

- A Disminución general de la productividad de los ecosistemas terrestres

---

- A Extinciones locales y migraciones altitudinales de especies clave

---

- A Disminución de la calidad nutritiva de las plantas

---

- A Disminución de la capacidad de secuestro de carbono por la vegetación

---

- A Incremento del impacto de las perturbaciones y los eventos extremos

---

- A Pérdida de la diversidad genética de las poblaciones

---

- B Migraciones latitudinales de especies clave (incertidumbre debida a fragmentación y usos del territorio)

---

- B Incremento de la eficiencia del uso del agua por las plantas (incertidumbre debida a los efectos contrarios de la temperatura y de la disponibilidad de CO<sub>2</sub> y de agua sobre la fotosíntesis)

---

- B Colapso de redes tróficas (incertidumbre debida a la dinámica de sistemas complejos y al papel de especies nuevas o exóticas)

---

- B Aceleración de ciclos biogeoquímicos por la temperatura (incertidumbre debida a la limitación hídrica)

**¿QUÉ OCURRE EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y DE AGUA DULCE?**

El océano tiene interés en relación al cambio climático no sólo por los cambios que en él mismo se están dando y pueden darse como resultado del propio cambio, sino por su influencia en los ciclos globales que regulan la concentración de los gases de la atmósfera, incluyendo los que tienen efecto invernadero. A escala planetaria, es el océano el que rige la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Y para entender el

papel del océano en estos ciclos planetarios de la materia hay que comprender la dinámica del carbono en estos sistemas. El carbono está disuelto en el agua de los océanos en forma de cuatro tipos de compuestos: como gas ( $\text{CO}_2$ , dióxido de carbono), como bicarbonato, como carbonato y formando parte de compuestos orgánicos. Las tres primeras formas están en equilibrio químico, de manera que la alteración de una de ellas da lugar a cambios en las demás hasta recuperar nuevamente el equilibrio. El bicarbonato es la forma principal, representando el 90% del carbono disuelto, mientras que los carbonatos representan el 5% y el  $\text{CO}_2$  tan sólo el 1%. La gran incógnita la representan los compuestos orgánicos de carbono, resultantes de la actividad biológica. Su abundancia podría ser del orden del 5% y parecen ser muy estables en el tiempo, permaneciendo muchos años disueltos en el mar. El equilibrio marino entre  $\text{CO}_2$ , carbonatos y bicarbonato permite capturar el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, pero el problema es que el mar no logra absorber el  $\text{CO}_2$  tan deprisa como está siendo liberado a la atmósfera en la actualidad. Las corrientes del mar son las responsables de renovar las capas de agua capaces de captar el  $\text{CO}_2$ , pero hacen falta entre 500 y 1000 años para renovar las aguas profundas a partir de las aguas superficiales. El intercambio de carbono entre la atmósfera y los océanos, y entre la atmósfera y la biosfera es de 60.000 millones de toneladas de carbono al año cada uno. Pero el ritmo al que el carbono se intercambia es muy diferente. Mientras en la biosfera el carbono permanece unos 40 años hasta ser liberado nuevamente a la atmósfera, en los océanos el carbono permanece unos 800 años. El papel de los océanos como sumideros de carbono es por todas estas razones más importante que el de la biosfera, y lógicamente mucho más que el de los bosques y ecosistemas terrestres, pero cada sistema tiene un papel clave que no puede ser reemplazado por ningún otro.



El incremento de las temperaturas está causando un incremento rápido del nivel del mar, afectando a las zonas costeras, particularmente cuando su altitud es baja. Además, estos cambios térmicos están causando migraciones latitudinales del plancton y de los peces y están haciendo que los mares del norte no tengan tanto hielo, lo cual facilita el transporte marítimo pero amenaza los modos de vida de la población local y la fauna que vive ligada a la banquisa de hielos. El incremento de la temperatura del mar conlleva un incremento de la intensidad de los huracanes, ciclones y tormentas tropicales, ya que su energía proviene del calor marino. (Foto: cin.tv).

El cambio climático está llevando a un aumento en el nivel del mar, tanto por la fusión de la nieve y el hielo de los glaciares como por la simple dilatación de los mares debido a que el agua ocupa un mayor volumen al subir de temperatura. El nivel del mar en las costas europeas ha subido entre 0.8 y 3 milímetros al año y se prevé que el ritmo anual se duplique (o cuadruplique en los peores escenarios de emisiones de gases con efecto invernadero) hacia finales del siglo XXI. Esta subida del nivel del mar tiene una repercusión inmediata en las zonas costeras. La propia línea de costa irá cambiando y se irá perdiendo territorio en las zonas costeras que son, precisamente, donde más población humana se concentra en todas las regiones del planeta. Los ecosistemas propios de estas zonas como

los sistemas dunares y los humedales costeros sufrirán profundas alteraciones por la intrusión marina y por la disminución de sedimentos aportados por los ríos. Además, dado el nivel de urbanización y fragmentación del territorio que existe en las zonas litorales, la posibilidad de que estos ecosistemas modifiquen su posición adaptándose a una costa cambiante es muy pequeña.

**Tabla 3. Grado de certidumbre científica sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos españoles. (MA certeza muy alta, A certeza alta, B certeza baja)**

**Efectos en ecosistemas acuáticos (marinos y dulceacuicolas)**

MA	Ascenso del nivel del mar y calentamiento del agua del mar
MA	Pérdida de territorio en zonas costeras y alteración profunda de la línea de costa
MA	Disminución del volumen sedimentario en zonas costeras y alteración de ecosistemas dependientes de sedimentos
MA	Migraciones latitudinales de especies marinas de plancton y peces, desaparición de especies boreales en nuestras latitudes
MA	Degradación de humedales costeros (combinación de intrusión marina, disminución de precipitaciones y sedimentos)
A	Alteraciones de las redes tróficas marinas
A	Alteraciones y oscilaciones inusuales de estadios larvarios y juveniles de organismos marinos
A	Disminución de la diversidad de especies marinas
A	Degradación de las comunidades bentónicas en general y de las praderas de fanerógamas marinas en particular
A	Degradación irreversible y desaparición de lagunas y ecosistemas acuáticos continentales

B	Disminución de la productividad de los cultivos marinos Disminución de la capacidad de secuestro de carbono por la vegetación
A	<b>Incremento del impacto de las perturbaciones y los eventos extremos</b>
A	Pérdida de la diversidad genética de las poblaciones
B	<b>Migraciones latitudinales de especies clave (incertidumbre debida a fragmentación y usos del territorio)</b>
B	Incremento de la eficiencia del uso del agua por las plantas (incertidumbre debida a los efectos contrarios de la temperatura y de la disponibilidad de CO <sub>2</sub> y de agua sobre la fotosíntesis)
B	<b>Colapso de redes tróficas (incertidumbre debida a la dinámica de sistemas complejos y al papel de especies nuevas o exóticas)</b>
B	Aceleración de ciclos biogeoquímicos por la temperatura (incertidumbre debida a la limitación hídrica)
B	<b>Disminución de la capacidad de secuestro de carbono por parte del océano</b>
B	Facilitación de condiciones (temperatura del mar) para la formación de ciclones
B	<b>Aumento de la productividad del fitoplancton y de las algas marinas</b>

El incremento de la temperatura del agua de los mares y océanos esta llevando a que muchas especies de plancton y de peces cambien de situación, desapareciendo en nuestras latitudes las especies boreales o de aguas frías. Además, la subida de temperatura esta induciendo cambios en las relaciones entre especies y oscilaciones inusuales en los estadios larvarios y juveniles de muchas especies marinas. La combinación de efectos debidos al cambio climático supone

Los ecosistemas acuáticos continentales también están sufriendo profundos cambios debido a las alteraciones climatológicas. (Foto: cin.tv).



una amenaza muy importante para los sistemas bentónicos, es decir los que viven pegados al fondo marino. Estos ecosistemas son muy sensibles a cambios en la turbidez del agua, ya que necesitan de la luz del sol para realizar la fotosíntesis y se han observado numerosos síntomas de decaimiento asociados con el cambio climático, en particular en las praderas de fanerógamas marinas.

Los sistemas acuáticos continentales están sufriendo el cambio climático de forma muy marcada ya que les está afectando no sólo los cambios en la temperatura sino los cambios en las precipitaciones y los cambios en los ecosistemas terrestres vecinos de los que dependen para muchas de sus funciones. La disminución de agua tanto freática (es decir en las capas profundas del subsuelo) como superficial está llevando a la degradación irreversible de humedales tan emblemáticos como las Tablas de Daimiel. El incremento de temperatura aumenta la evaporación y la transpiración por parte de la vegetación con lo que el agua disponible para lagunas y arroyos disminuye. En la mayoría de zonas de agua dulce de la Península Ibérica se están observando cambios profundos en las comunidades de organismos y en los ciclos de la materia, cambios que se verán cada vez más acentuados por efectos del cambio climático. En algunas de estas zonas, los cam-

bios afectarán no solo a las especies y a los procesos sino al propio tamaño de la mancha de agua dulce y a su ritmo estacional. Tal es el caso por ejemplo del delta del Ebro, de las albuferas de Adra y de Valencia, de las zonas húmedas de los parques nacionales de Doñana y las Tablas de Daimiel, y de las lagunas de Gallocanta, de Ruidera y de Sierra Nevada.

## EL CLIMA NO ES LO ÚNICO QUE CAMBIA

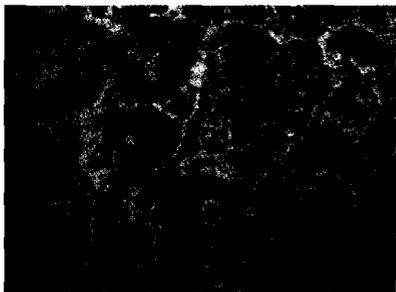
Como analogía moderna de los cuatro jinetes del Apocalipsis, el denominado cambio global está impulsado por cinco motores principales: el cambio de uso del territorio, el cambio climático, el intercambio biótico (traslado e introducción voluntaria o involuntaria por parte del ser humano de especies y variedades exóticas), la sobreexplotación de los recursos y la contaminación. Actualmente se considera que de los cinco motores principales de cambio, el cambio de uso del territorio y el cambio climático son los que mayor impacto tienen sobre la biodiversidad a nivel global. Los efectos del cambio climático son en general menores y se perciben más tarde que los derivados de la fragmentación del hábitat o de la contaminación por ejemplo. Lógicamente, la importancia relativa de estos cinco motores de



Como analogía moderna de los cuatro jinetes del Apocalipsis, el denominado cambio global está impulsado por el cambio de uso del territorio, el cambio climático, el intercambio biótico la sobreexplotación de los recursos y la contaminación.

cambio varía con el ecosistema, y así, mientras en ciertas zonas mediterráneas las especies exóticas naturalizadas y de carácter invasor son la principal amenaza para la biodiversidad, los cambios de uso lo son en ríos y lagos, la contaminación por compuestos de nitrógeno y fósforo lo son en los ecosistemas templados del hemisferio norte y el cambio climático es el principal motor de cambio en zonas polares y subpolares de ambos hemisferios

De hecho resulta muy difícil desenmarañar la trama de efectos y consecuencias que cada uno de los motores de cambio tienen sobre los sistemas naturales. En nuestras latitudes el cambio climático y los cambios de uso del territorio van tan inextricablemente unidos que sólo cabe analizarlos de forma conjunta. Por ejemplo, la constatación de que los piornos y enebros se observan cada vez a mayor altitud en la Sierra del Guadarrama es resultado no sólo del calentamiento global sino también de los cambios en la gestión del territorio en general y de la presión ganadera en particular. Y lo mismo ocurre con las hayas que cada vez se observan mas desarrollados en las zonas altas del macizo del Montseny en Barcelona. Algo similar cabe aplicarse a los ecosistemas marinos, donde los cambios en la distribución de las especies de peces no son sólo debidos a cambios en la temperatura del mar sino también a cambios en la gestión de la pesca.



Así pues, el cambio climático está en el núcleo de la mayoría de los cambios ambientales que percibimos actualmente, pero no actúa sólo y en ciertos ecosistemas no es el principal motor del cambio, aunque en general su importancia va en aumento.

Así pues, el cambio climático está en el núcleo de la mayoría de los cambios ambientales que percibimos actualmente, pero no actúa sólo y en ciertos ecosistemas no es el principal motor del cambio, aunque en general su importancia va en aumento. Con frecuencia resulta difícil separar totalmente los efectos debidos a varios motores de cambio. En el caso de los ecosistemas terrestres de nuestras latitudes, el cambio climático y los cambios de uso del territorio operan simultáneamente de forma que el impacto es rara vez atribuible en exclusividad a uno de ellos y no existe certeza absoluta sobre el grado de influencia del cambio climático en las alteraciones observadas. Se sabe que el cambio climático acelera los cambios en los ecosistemas, normalmente incrementando el impacto negativo de los demás motores de cambio, sobre todo el cambio de uso y la contaminación. Pero atribuir al cambio climático un porcentaje exacto de responsabilidad es en general imposible.

## ¿QUÉ PODEMOS HACER?

Esta pregunta tiene una contestación muy clara: convencerlos de que el cambio climático es una realidad con efectos tangibles y actuar en consecuencia tanto a nivel individual como colectivo, y tanto a nivel local como global. Cuando nuestra economía está ligada a ciertos recursos naturales que están especialmente amenazados por el cambio climático, la actuación local es crucial y a veces no se hace esperar. Un ejemplo de esto es lo que ocurre en muchas zonas de los Alpes donde la población local ha vivido durante más de un siglo de los deportes de invierno. El retroceso de los glaciares y la disminución de las nevadas han cobrado tal gravedad que la economía de más de siete millones de personas está directamente amenazada por el incremento de las temperaturas. Y los suizos no podían permanecer impasibles mirando como sus glaciares y neveros desaparecen junto con su principal fuente de ingresos. En los últimos años se han

ensayado diversos materiales blancos con los que cubrir el hielo y la nieve durante el verano. Resulta que al irse perdiendo las capas superiores de los glaciares van quedando expuestas capas de hielo y nieve cada vez más oscuras por contener más polvo, grava y piedras que el glaciar ha ido arrancando a la montaña en su milenario descenso ladera abajo. Estas capas más oscuras atrapan más el calor del sol que las capas superiores de nieve y hielo reciente con lo que el proceso de fusión debido al cambio climático se ve aún acelerado cuando estas capas quedan expuestas. Los materiales sintéticos blancos han dado resultados tímidos aunque esperanzadores, reflejando parte de la radiación solar y reduciendo un poco la velocidad de fusión de las masas de nieve y hielo. Pero esta actuación local sólo supone un aplazamiento de algo que parece inevitable si no se actúa a nivel global, reduciendo las auténticas causas del efecto invernadero. Y en muchos casos la acción local no es ni siquiera posible, como por ejemplo en las islas y zonas costeras del océano Pacífico. El ascenso del nivel del mar está disminuyendo la extensión de muchas islas y franjas costeras, y dada la escasa altitud de muchas de estas islas, el futuro de poblaciones y países enteros está en riesgo. Muchos ritos tradicionales como los de enterrar a los muertos en palmerales costeros tienen que dejarse de hacer ante la desoladora imagen de cada vez más cementerios inundados por las aguas. Y naciones del Pacífico como Tuvalu ya han iniciado una denuncia sin precedentes: han culpado judicialmente a Estados Unidos de América por los daños a su país, que está en riesgo de desaparecer bajo las aguas mientras Estados Unidos, el principal emisor de gases con efecto invernadero, no hace nada por remediar su contribución al cambio climático. Este juicio tiene numerosas dificultades técnicas y legales para llegar a establecer responsabilidades y compensaciones, pero señala de forma muy especial como el cambio climático es un problema que trasciende al ámbito local, que no reconoce países y que afecta al futuro de las nuevas generaciones, a nuestros hijos y a los hijos de estos.



Las zonas de alta montaña contienen formaciones glaciares (hielos, acumulaciones de nieves, lagos) que son testigos de climas pasados y por tanto han estado en retroceso desde la última glaciación. Sin embargo, su velocidad de retirada se ha acelerado vertiginosamente como consecuencia del actual cambio climático. (Foto: P.Heras).

En el caso de los sistemas naturales hay tres aspectos que deben guiar nuestras actuaciones: a) gestionar los sistemas y recursos de forma sostenible y adaptativa, es decir, minimizando nuestro impacto y revisando frecuentemente si la evolución del sistema es la deseada, reajustando la gestión tras cada revisión; b) seleccionar ecosistemas clave por su vulnerabilidad al cambio climático y velar no sólo por su conservación sino emplearlos también como sistemas de alerta temprana; y c) ganar tiempo disminuyendo la tasa de todos aquellos procesos que aceleran el cambio climático. Para avanzar de forma significativa en la comprensión de los impactos del cambio climático, es imprescindible la consolidación en nuestro país de una red de seguimiento de ecosistemas a largo plazo, pues muchos de los cambios tardan tiempo en poder apreciarse y la fuerte variabilidad de un año a otro hace imprescindible que se puedan analizar estadísticamente datos de muchos

años. De lo contrario no es posible estar seguros sobre la existencia de una tendencia general en los diversos efectos del cambio climático. Aunque existen numerosas iniciativas en este sentido, no están coordinadas y el acceso a la información y por tanto el uso por diversos especialistas es difícil. REDOTE ([www.redote.org](http://www.redote.org)), se ha constituido precisamente con el objetivo de coordinar y centralizar las iniciativas de seguimientos temporales de ecosistemas y con la esperanza de facilitar el acceso y la transferencia rápida de información a todo aquel que esté interesado y que pueda darle un uso nuevo a toda la información ambiental que empieza a acumularse en nuestro país.



Uno de los aspectos más fácilmente detectables de los efectos del cambio climático son las alteraciones en el ritmo (fenología) de los ecosistemas. Los árboles de bosques caducifolios como el de la imagen producen sus hojas antes y las tiran más tarde como consecuencia del incremento de las temperaturas. Este cambio en los ritmos de producción y caída del follaje tiene toda una serie de consecuencias para los demás habitantes del bosque que viven entre las hojas o se alimentan de ellas. (Foto: cin.tv).

Existe un abanico de sistemas naturales que merecen particular atención bien por su papel clave en la provisión de bienes y servicios o bien por su carácter endémico o relictos. Estos sistemas requieren actuaciones que contrarresten los efectos del cambio climático y conduzcan a su eficaz conservación. Además, el seguimiento de estos ecosistemas es de especial interés ya que son el mejor “termómetro” del cambio climático, al ser los que notan los cambios antes y con mayor intensidad. De entre ellos destacan:

- Formaciones vegetales propias de otras épocas geológicas y que son relictas de climas pasados. Por ejemplo, la laurisilva canaria, los bosques de *Rhododendron ponticum* en los “canutos” de Cádiz y Málaga, y las loreras de *Prunus lusitanica* en Extremadura.
- Encinares y dehesas de encinas y robles, en especial las que se encuentran al límite de su distribución y de su tolerancia al estrés hídrico. Muchas de ellas ya muestran signos de escasa regeneración y una gran vulnerabilidad al cambio climático.
- Zonas de transición entre regiones, biomas o ecosistemas. Muchas de estas zonas incluyen endemismos y presentan una elevada biodiversidad. En general lo que más puede verse afectado en estas zonas es su propia situación geográfica, por lo que los espacios protegidos actuales y futuros deben permitir una cierta dinámica espacial de las especies que componen estos sistemas de transición.
- Los sistemas insulares en sentido amplio, incluyendo no sólo las islas en sentido estricto sino zonas aisladas por las características del suelo y las zonas de alta montaña. Estos sistemas tienen en general menor margen de adaptación y una movilidad espacial muy limitada. Ejemplos claros son las formaciones fragmentadas o aisladas de abedul y hayas de la zona Centro, las tejedas y las acebedas, y

masas aisladas de ciertas coníferas como las masas naturales de *Pinus sylvestris* en Sierra Nevada, *Pinus uncinata* en el Sistema Ibérico, *Abies alba* en el Montseny y las de *Abies pinsapo* en la Serranía de Ronda.

- Las praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceanica*, *Zostera* sp. y *Cymodocea nodosa*) y los corales rojos del Mediterráneo y los corales negros de Canarias son los equivalentes marinos de estos sistemas muy sensibles al cambio climático.
- Los humedales de zonas costeras son ecosistemas de transición entre los ámbitos terrestres, dulceacuícolas y marinos y por ello son muy sensibles a los efectos directos e indirectos del cambio climático.



Las formaciones vegetales propias de climas pasados más húmedos, como los "canutos" con ojaranzo (*Rhododendron ponticum*) y arraclaranes (*Frangula alnus*) en Cádiz o las "loreras" de *Prunus lusitanica* con alisos y acebos en la sierra de las Villuercas, como las que se muestran en la foto, son los ecosistemas más frágiles ante el cambio climático. La mayoría de estas formaciones relictas se encuentran ya limitadas en su extensión y restringidas a las zonas más húmedas de los valles. Ligeros cambios en el régimen de precipitaciones y en la regularidad de los arroyos y la humedad del suelo pueden resultar en una degradación irreversible de estas frágiles comunidades. (Fotografía de Fernando Valladares).

En general, lo más importante frente al cambio climático y sus efectos es ganar tiempo. Lejos de ser la estrategia de la "patada hacia delante" o del aplazamiento indefinido en la bús-

queda de soluciones, ganar tiempo, es decir, reducir la actual tasa de cambio ambiental, es crucial. Aunque no se aborden todas las causas últimas del cambio climático, reducir la tasa actual hará más probables tres procesos fundamentales: la adaptación de los sistemas naturales a las nuevas condiciones, el avance de nuestro conocimiento sobre el cambio global y sus efectos, y el desarrollo de tecnologías más eficientes en el uso de los recursos naturales y menos contaminantes. Con estas tres cosas estaremos en mejor situación para enfrentarnos al cambio climático y sus múltiples y en general negativos efectos.

Hay que tener en cuenta además que lo que hagamos ahora tardará mucho tiempo en notarse. De las múltiples actuaciones posibles, sólo un cambio en la política de emisiones de gases con efecto invernadero tendrá un reflejo relativamente rápido. Aun así la propia concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico tardará varias décadas en estabilizarse y comenzar a bajar. La tendencia en la temperatura del aire tardaría algunos siglos en revertirse, y la temperatura y el nivel del mar tardarían miles de años en cambiar su actual tendencia al alza. Por ello debemos pensar hacia el futuro con generosidad e iniciar acciones para atenuar la tasa del actual cambio global cuyo efecto beneficioso ninguno de nosotros llegaremos a ver.