

LO QUE VD. DEBE SABER SOBRE:
CAMBIO CLIMÁTICO
¿ESTAMOS CAMBIANDO EL CLIMA?

CAMBIO CLIMÁTICO
¿ESTAMOS CAMBIANDO EL CLIMA?



Francisco Heras Hernández
Fernando Valladares Ros
Mariano González Sáez

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

Foto portada: NASA

Imprenta Rubin, S.L. - LEÓN - Depósito Legal: LE-672
ISBN: 84-95917-32-7

ÍNDICE DE CONTENIDOS

¿ESTAMOS CAMBIANDO EL CLIMA? <i>(Francisco Heras Hernández)</i> . . .	5
EL CLIMA CAMBIANTE	5
¿ESTAMOS CAMBIANDO LA ATMÓSFERA?	7
¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO?	9
¿CALENTAMIENTO NATURAL O DE ORIGEN HUMANO?	10
¿UN CAMBIO LENTO Y GRADUAL?	13
LAS FUENTES Y LOS SUMIDEROS DE CARBONO	15
<i>Los bosques</i>	15
<i>Los océanos</i>	17
LOS SIGNOS DEL CAMBIO	18
LOS GLACIARES RETROCEDEN	18
"YA NO NIEVA COMO ANTES"	19
EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR	21
CAMBIOS EN LAS CORRIENTES MARINAS	22
EL AUMENTO DE LOS FENÓMENOS CLIMATOLÓGICOS EXTREMOS	23
EL AGUA Y LA LLUVIA	26
SEÑALES Y EFECTOS	29
¿UN PROBLEMA URGENTE O UN RETO DE CARA AL FUTURO?	29
NOS AFECTA A TODOS	32
AMENAZAS A LA SALUD HUMANA	32
PÉRDIDAS DE RECURSOS ECONÓMICOS	33
LOS MÁS DÉBILES SON LOS MÁS VULNERABLES	34
... Y LOS QUE TIENEN MENOR RESPONSABILIDAD	35

EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO <i>(Fernando Valladares)</i>	36
EVIDENCIAS Y EFECTOS MÚLTIPLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO	36
¿REALMENTE ESTÁN OCURRIENDO TANTAS COSAS Y SON TODAS DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO?	38
¿QUÉ LE OCURRE A LA VEGETACIÓN?	40
¿QUÉ EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SE OBSERVA YA EN LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES?	43
¿QUÉ OCURRE EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y DE AGUA DULCE?	51
EL CLIMA NO ES LO ÚNICO QUE CAMBIA	57
¿QUÉ PODEMOS HACER?	59
RESPUESTAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO <i>(Mariano González)</i> ..	66
LA RESPUESTA INICIAL: LA CONVENCION MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO	66
QUÉ ES Y QUÉ OBJETIVOS PRETENDE	67
EL PROTOCOLO DE KYOTO	71
¿QUÉ ES Y EN QUÉ CONSISTE EL PROTOCOLO DE KYOTO?	72
LOS MECANISMOS DE FLEXIBILIDAD	74
QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA EL COMERCIO DE DERECHOS DE EMISION	76
QUÉ ES Y COMO FUNCIONA EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO	77
QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA LA APLICACION CONJUNTA	78
LA UNION EUROPEA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO	79
ESPAÑA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO: OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS	82
CÓMO AFECTA A LOS SECTORES DE ACTIVIDAD ECONOMICA	84
QUÉ PODEMOS HACER	87
PARA SABER MÁS <i>Fuentes de información</i>	89
LO MÁS BÁSICO PARA COMPRENDER UN POCO MÁS: BIBLIOGRAFÍA	89

¿ESTAMOS CAMBIANDO EL CLIMA?

Francisco Heras Hernández

EL CLIMA CAMBIANTE

A lo largo de la historia de la tierra, el clima ha sufrido cambios muy significativos. Se trata de cambios producidos por diversos fenómenos naturales, tales como las variaciones de la órbita terrestre alrededor del sol, las fluctuaciones en la actividad solar o las erupciones volcánicas.

En los últimos 400.000 años el clima terrestre se ha alternado con épocas glaciares y periodos cálidos. Hace apenas 10.000 años, amplias zonas de la geografía europea y española eran recorridas por ríos de hielo, que dejaron sus huellas en las inconfundibles formas de los valles glaciares. Sin embargo, en los últimos 8.000 años el clima ha permanecido menos frío y notablemente estable, creando las condiciones adecuadas para un desarrollo de las sociedades humanas sin precedente. A pesar de ello, también han existido cambios significativos en los últimos siglos. El más conocido es el periodo frío ocurrido desde mediados del siglo XVI a mediados del siglo XIX y conocido como "Pequeña Edad de Hielo". En España, en ese periodo frío los glaciares volvieron a expandirse y ríos como el Ebro, el Turia o el Tajo se congelaron en repetidas ocasiones. Aunque las causas de la "Pequeña Edad de Hielo" se desconocen con certeza, se cree que estuvo relacionada con una menor actividad solar y un incremento de las erupciones volcánicas.

En nuestra historia más cercana, sin embargo, se está produciendo un calentamiento global: se estima que desde principios del siglo XX, la temperatura media de nuestro planeta ha ascendido 0,6° C. Este aumento no ha sido constante, sino que se ha intensificado de forma muy notable a partir de la década de los setenta del pasado siglo. Nueve de los diez

años más calurosos registrados desde que contamos con un conjunto de medidas de las temperaturas fiable (1890) han ocurrido a partir del año 1995. Este hecho, que nadie considera casual, ha disparado las alarmas.

El calentamiento no ha ocurrido con la misma intensidad en todas las zonas. Por ejemplo, en la Península Ibérica la subida de las temperaturas ha sido mayor. Un estudio reciente sobre 38 observatorios meteorológicos distribuidos por la Península¹, estima que el incremento ha sido de alrededor de 1,5° C en los últimos 30 años, lo que significa que en nuestra geografía el calentamiento ha sido entre 2 y 3 veces más intenso que en el conjunto del planeta.

¿Cuáles son las razones de este cambio? ¿Seguirá produciéndose en el futuro? ¿Cómo puede afectar a nuestra natura-



La tierra.

Fuente: Nasa

¹Ayala-Carcedo, F.J. (2004). La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. RAM, Revista del Aficionado a la Meteorología, 21.Mayo de 2004.

En internet: <http://www.meteored.com/ram/numero21/cambioclimatico.asp>

leza, a nuestra economía, a nuestra calidad de vida? En las páginas que siguen trataremos de presentar una panorámica del conocimiento más actual sobre el cambio climático, que ya es considerado como el principal problema ambiental que deberá abordar la humanidad en el presente siglo.

¿ESTAMOS CAMBIANDO LA ATMÓSFERA?

Contemplando el cielo en un día despejado, la atmósfera terrestre se nos antoja casi infinita; ajena a los cambios atropellados que la humanidad imprime a los paisajes terrestres. Sin embargo, los análisis de la composición del aire atmosférico no dejan lugar a dudas: hay una serie de gases, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2), el metano y el óxido nitroso, cuya concentración en la atmósfera se está incrementando de forma progresiva (ver tabla 1).

Tabla 1. Los principales gases de efecto invernadero

Nombre	Concentración preindustrial (ppm)	Concentración en 1998 (ppm)	Peligro potencial global (a 100 años vista)
Dióxido de carbono (CO_2)	280	365	1
Metano (CH_4)	0,7	1,75	23
Óxido nitroso (N_2O)	0,27	0,31	296
CFCs	0	Varios	> 14.000
Hexafluoruro de azufre (SF_6)	0	0,0000042	22.200

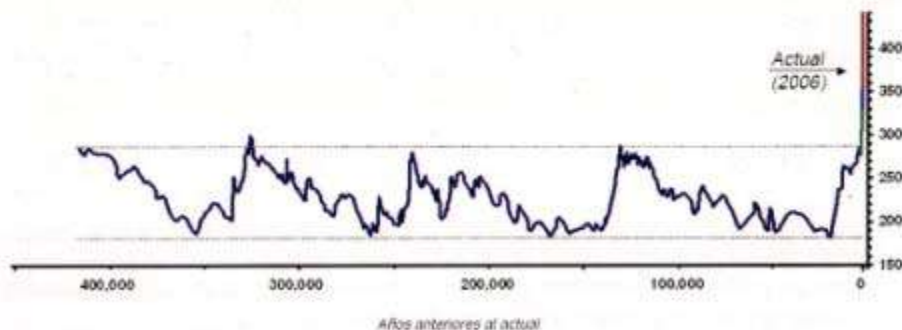
Como puede apreciarse en la tabla, el CO_2 es el gas de efecto invernadero que se encuentra en mayor proporción en la atmósfera. Sin embargo, los otros gases tienen un potencial para el calentamiento global más elevado, debido a su mayor capacidad para absorber calor y su mayor duración en la atmósfera.

Hacia 1750, antes de la revolución industrial, la concentración de CO₂ en la atmósfera era de 280 partes por millón (ppm). En la actualidad supera las 375 ppm., lo que supone un incremento del 34% respecto a la época preindustrial. Y cada año, a esta cifra se añaden cerca de 2 ppm más...

Los científicos han reconstruido las variaciones de la concentración del CO₂ atmosférico a lo largo de los últimos 400.000 años (ver figura 2). Una de las fórmulas empleadas para lograrlo ha sido el análisis de las pequeñas burbujas de aire que han quedado atrapadas en los hielos de los casquetes polares. Como podemos apreciar, la concentración de CO₂ ha sufrido oscilaciones en el pasado, pero el cambio ocurrido desde el inicio de la revolución industrial parece ciertamente excepcional.

¿Cómo se explica este hecho? A raíz de la revolución industrial, los combustibles fósiles –carbón, petróleo, gas natural- empezaron a utilizarse de forma masiva para alimentar a las industrias y los hogares, y, más tarde, las locomotoras, barcos, automóviles... y el CO₂ es, precisamente, el principal gas que se produce al quemar esos combustibles. La quema de bosques y el aclareo de zonas forestales para producir nuevas tierras de cultivo, también contribuyó al fenómeno.

En la actualidad cada año se emiten a la atmósfera, como resultado de la actividad humana, unas 7,6 Gt (giga toneladas =



mil millones de toneladas) de CO_2 . La mayoría de esas emisiones (6 Gt) se producen por la quema de combustibles fósiles; pero una quinta parte (1,6 Gt) se deben a la destrucción de bosques y otras prácticas agrícolas. Casi la mitad de esas emisiones que producimos permanece en la atmósfera y es la responsable de que, cada año, las concentraciones de gases de efecto invernadero sigan aumentando.

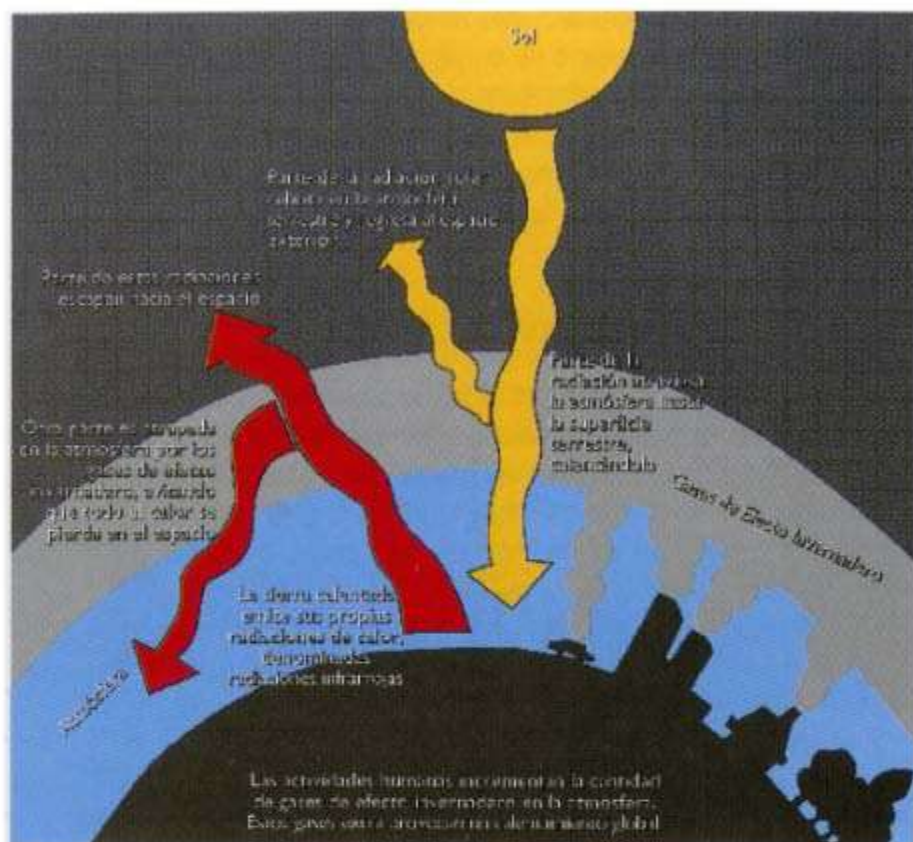
¿QUÉ ES EL EFECTO INVERNADERO?

La cubierta transparente de un invernadero permite que la luz solar penetre y caliente su interior; pero, al tratarse de un recinto cerrado, el calor no se pierde de inmediato. Por eso los invernaderos mantienen temperaturas superiores a las de su entorno y permiten el cultivo de especies propias de zonas más cálidas. La atmósfera terrestre ha sido comparada con los cristales de un gigantesco invernadero. La razón es que contiene pequeñas cantidades ciertos gases que tienen una propiedad singular: son transparentes a las radiaciones solares que llegan a la tierra, pero son capaces de absorber las radiaciones emitidas por la tierra caliente, impidiendo que este calor se disipe completamente en el espacio que rodea a nuestro planeta (ver ilustración).

La atmósfera terrestre siempre ha contado en su composición con gases de efecto invernadero. De hecho, se estima que, si no fuera así, la temperatura media de nuestro planeta sería de unos -18°C , en vez de los $+15^\circ\text{C}$ actuales. El efecto invernadero es, por tanto, un fenómeno natural esencial para nuestra vida.

El principal de los gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera terrestre es el conocido dióxido de carbono, también conocido por su fórmula química, CO_2 . Pero otros dos gases de efecto invernadero importantes son el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

Figura 2. El efecto invernadero



Cortesía de Proyecto Clarity.

¿CALENTAMIENTO NATURAL O DE ORIGEN HUMANO?

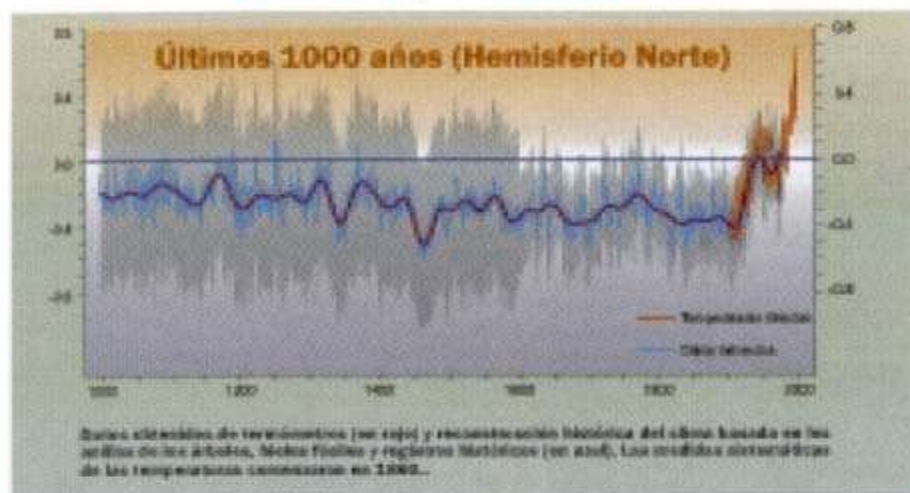
El clima ha cambiado a lo largo de la historia de la tierra, también antes de la aparición del ser humano. Por tanto, es evidente que hay factores naturales que pueden provocar cambios en el clima. Por ejemplo, si la cantidad de energía que el sol envía a la tierra cambia (debido a cambios en la actividad solar o en los movimientos de la tierra respecto al sol), se puede producir un calentamiento

o un enfriamiento de nuestro planeta. Las erupciones volcánicas constituyen otro ejemplo de fenómeno natural con capacidad de influir sobre el clima: las cenizas expulsadas por los volcanes pueden permanecer durante un cierto tiempo en la atmósfera obstaculizando el calentamiento de la superficie terrestre por el sol y provocando, de esta forma, un enfriamiento.

Por otra parte, la hipótesis de que la quema de combustibles fósiles podría provocar un reforzamiento del efecto invernadero y una consecuente subida de las temperaturas no es nueva. Ya en 1896 el químico sueco Svante Arrhenius entendió que las emisiones artificiales de CO_2 podrían causar un incremento de la temperatura terrestre.

En las últimas décadas la energía del sol recibida en la tierra, las erupciones volcánicas y otros fenómenos naturales que podrían incidir en el clima no han sufrido cambios que permitan explicar satisfactoriamente el calentamiento observado. Sin embargo, cuando se toma en consideración el aumento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, las predicciones y las observaciones empiezan a coincidir. En la actualidad, hay un amplio consenso científico en torno a la idea de que las emisiones de ciertos gases como resultado de las actividades humanas están provocando un reforzamiento del efecto invernadero y, por ende, el calentamiento global en nuestro planeta. Uno de los puntales básicos de ese consenso han sido los informes elaborados por el IPCC, grupo intergubernamental sobre cambio climático creado en 1988 por la Organización meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y en el que trabajan cientos de científicos de todo el mundo. El tercer informe del IPCC, publicado en 2001 presenta poderosas evidencias de que el calentamiento se debe, en buena medida, a las actividades humanas.

Figura 3. Temperatura media de la tierra en los últimos 1000 años (hemisferio norte)



En azul, datos reconstruidos a partir de observaciones de los anillos de los árboles, corales y hielos polares. En rojo, datos obtenidos mediante termómetros.

Tabla 2. Algunas diferencias entre tiempo y clima

TIEMPO	CLIMA
Es diferente en cada lugar.	Es similar para regiones o comarcas enteras.
Puede cambiar mucho en un breve periodo de tiempo.	Sólo cambia de forma ligera con el transcurso de los años.
Se describe refiriéndose a la temperatura, precipitaciones, vientos... en un lugar determinado y en un momento concreto.	Se describe utilizando datos estadísticos como la temperatura media, las precipitaciones medias o las direcciones de viento dominantes.
FENÓMENOS METEO	ELEMENTOS CLIMÁTICOS
Temperatura puntual.	Temperatura media a lo largo de los años.
Precipitación actual.	Valores de precipitación media.
Viento.	Dirección predominante de los vientos.

Fuente: Proyecto CLARITY

¿UN CAMBIO LENTO Y GRADUAL?

Entre una mañana fría y un mediodía cálido los habitantes de la península Ibérica somos testigos de variaciones de temperaturas que pueden superar los 20° C. ¿Qué importancia puede tener el hecho de que las temperaturas suban uno o dos grados? ¿Por qué tanta preocupación por parte de los científicos?

Para comprender la importancia de estas subidas hay que destacar, en primer lugar, que no se trata de temperaturas puntuales, sino de temperaturas medias, cuyos cambios a lo largo del tiempo suelen ser muy leves.

A primera vista, el ascenso de las temperaturas medias mundiales de 0,6° C ocurrido a lo largo del siglo XX puede parecer insignificante. Pero hay que tener en cuenta que:

- La intensidad del cambio es muy desigual. Por ejemplo, en la península Ibérica el ascenso de temperaturas ha sido más del doble de esa media; en el Ártico la subida ha alcanzado los 5° C.
- Los cambios del clima sólo pueden ser adecuadamente valorados y comprendidos tomando como puntos de referencia la historia del clima y de la vida en la tierra. Desde la perspectiva de un paleoclimatólogo o de un ecólogo, un ascenso de cerca de 1° C en un siglo constituye un fenómeno de gran magnitud. El primero nos podrá argumentar que, por ejemplo en Europa, no se conoce un ascenso de intensidad similar en los últimos 5.000 años. El segundo argumentará que, aunque la capacidad de la vida para adaptarse a los cambios ambientales es notable, esa adaptación exige tiempo. Un tiempo que no se mide con la escala de la vida de un hombre.

Uno de los aspectos menos tranquilizadores del proceso en el que estamos embarcados es que algunos cambios que se están produciendo hoy pueden acabar acelerando aún más las emisiones de gases de efecto invernadero. He aquí algunos ejemplos (todos ellos rigurosamente reales).

- Una turbera se deshiela... y la actividad de los microorganismos se multiplica, lo que supone que las emisiones de metano (gas de efecto invernadero) se disparan.
- Una capa de nieve que desaparece... y la tierra absorbe más calor (porque se refleja menos luz).
- Un incremento de las temperaturas aumenta la intensidad y la frecuencia de los incendios forestales, lo que, a su vez, supone la liberación de mayores cantidades de CO₂ a la atmósfera.
- El calor aumenta en las zonas urbanas produce un incremento del uso del aire acondicionado, que, a su vez, provoca un aumento del consumo energético.

Ciertamente, también podría darse la situación contraria: algunos cambios de hoy podrían crear condiciones para que la retirada de gases de efecto invernadero sea más rápida o el calentamiento se atenúe. Por ejemplo, un aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera puede hacer que las plantas realicen la fotosíntesis mejor y, como resultado, crezcan más, fijando más CO₂ atmosférico.

Dejaremos para los científicos el análisis detallado sobre estos "efectos secundarios" y cuál será su resultado neto, pero nos quedaremos con una idea importante: los cambios no siempre se suman; a veces se multiplican... Cambios aparentemente pequeños pueden disparar cambios mayores. La necesidad de precaución queda en evidencia.

LAS FUENTES Y LOS SUMIDEROS DE CARBONO nm2

De las mediciones directas de las concentraciones de CO_2 en el aire se deduce que la cantidad de CO_2 en la atmósfera terrestre aumenta unas 3 Gt al año. Sin embargo, se calcula que las emisiones de origen humano son de unos 7 Gt al año. Esto nos indica que no todo el CO_2 que emitimos se acumula en la atmósfera; de hecho, más de la mitad es retirado de ella, absorbido por los océanos, la vegetación y los suelos: son los denominados "sumideros" de carbono.

Los bosques

La madera de un árbol está formada mayoritariamente por sustancias derivadas del carbono. ¿De dónde obtienen las plantas el carbono que necesitan para crecer? La respuesta



Los bosques parecen ser un sumidero de CO_2 , aunque su eficacia no parece tan alta como se suponía. (Foto: cin.tv).

está en el aire... Las plantas toman CO_2 del aire y lo convierten en productos útiles para su propio crecimiento. Por eso, un bosque que crece es un auténtico sumidero, una esponja que absorbe cada año toneladas de CO_2 atmosférico.

El número de árboles que hay en un bosque y su tamaño no pueden aumentar indefinidamente. A medida que un bosque se hace más maduro se establece un equilibrio entre la cantidad de CO_2 fijada por el crecimiento de los árboles y la que se libera por la descomposición de los árboles muertos. En ese momento, el bosque deja de ser un sumidero de CO_2 y pasa a tener un intercambio más o menos equilibrado con la atmósfera.

Un bosque que se incendia o que es cortado para aumentar la superficie de tierras cultivables o de pastos es, sin embargo, una formidable fuente emisora de CO_2 . El carbono que se había acumulado en la vegetación pasa a la atmósfera cuando la vegetación se quema o se pudre tras ser cortada. El humus y la materia orgánica de los suelos forestales pueden contener incluso más carbono que el propio arbolado y ese carbono puede también convertirse en CO_2 si las tierras forestales se convierten en tierras agrícolas. La razón es que el arado y otras formas de cultivo pueden acelerar su destrucción al aumentar su oxigenación o al favorecer su destrucción por erosión.

De hecho, se estima que una quinta parte del carbono emitido cada año a la atmósfera como resultado de la acción humana se debe a la deforestación. En los últimos 150 años la superficie cubierta por los bosques ha disminuido en una quinta parte en el planeta. Aunque en algunas zonas (por ejemplo en Europa) se está produciendo una cierta reforestación debido al abandono de tierras agrícolas.

Los océanos

La capa superficial de los océanos – hasta un centenar de metros de profundidad aproximadamente – tiene un activo intercambio de CO_2 con la atmósfera. Si la concentración atmosférica de este gas aumenta, en un breve plazo de tiempo también se incrementa el carbono que pasa de la atmósfera al agua, principalmente en forma de carbonato y bicarbonato. Evidentemente la capacidad de almacenamiento de carbono de esta agua es limitada y ciertamente pequeña en comparación con el volumen total de agua contenida en los océanos. El problema es que el intercambio entre aguas superficiales y profundas es muy lento, lo que limita la velocidad a la que los océanos retiran CO_2 de la atmósfera.

En todo caso, en la actualidad se estima que los océanos retiran alrededor de una cuarta parte del CO_2 liberado a la atmósfera mediante la quema de combustibles fósiles y la deforestación.



Los océanos constituyen el mayor sumidero de CO_2 del planeta pero su velocidad de absorción del gas es lenta. (Foto: cin.tv).

LOS SIGNOS DEL CAMBIO

A principios de los años noventa todavía se discutía si el calentamiento global habría empezado ya. En la actualidad contamos con un amplio conjunto de datos que confirman que el calentamiento global ya está ocurriendo.

LOS GLACIARES RETROCEDEN

Los glaciares de montaña, esas formidables lenguas de hielo que ocupan de forma permanente los principales macizos montañosos del planeta, son particularmente sensibles a los cambios climáticos, ya que la temperatura en su frente está próxima al punto de congelación y derretimiento. Por eso, los glaciares están considerados excelentes indicadores del calentamiento global.



Se ha constatado un descenso paulatino en las nieves y hielos de los glaciares que se ha acelerado las dos últimas décadas. (Foto. P. Heras).

Por todo el planeta se acumulan las observaciones que indican que los glaciares se encuentran en retroceso. En Europa, es bien conocido el caso de los Alpes: entre 1850 y 1980 los glaciares de los Alpes perdieron, aproximadamente un tercio de su superficie y la mitad de su masa. Desde 1980 han perdido entre un 20 y un 30% del hielo que les quedaba.

Aunque menos conocido, el caso de los glaciares españoles, localizados en los Pirineos, es aún más dramático: La superficie de glaciares existente en la vertiente española de los Pirineos ha pasado de las 1.779 hectáreas en 1894 a 290 hectáreas en el 2000. Esto significa que, en el último siglo se ha perdido el 85% de la superficie de glaciares. La pérdida se ha intensificado a partir de los años 80; se estima que la masa de hielo se ha reducido a la mitad entre 1980 y 2000².

“YA NO NIEVA COMO ANTES”

La gente mayor, muy especialmente los habitantes de zonas rurales, insisten en que “ya no nieva como antes”. ¿Se trata de una exageración, o quizá estamos ante un nuevo signo del calentamiento global?

Gracias a las imágenes captadas por los satélites, los científicos cuentan con información bastante precisa sobre la superficie cubierta por la nieve a lo largo de las últimas décadas. El análisis sistemático de estos datos indica que entre 1966 y el final del siglo XX la superficie cubierta por la nieve en el hemisferio norte se ha reducido alrededor de un 10%³

² Serrano, E.; Martínez de Pisón, E., Lampre, F. (2004) *Desaparición de glaciares pirenaicos españoles. Cambio Climático a la vista*. Greenpeace, Madrid

³ IPCC (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK

La nieve juega un importante papel en nuestro clima. Una montaña cubierta de nieve es como un gigantesco embalse que acumula las precipitaciones invernales para luego ir alimentando ríos y arroyos a lo largo de la primavera. "Año de nieves, año de bienes", afirma, no sin razón, el refrán castellano.

El declive de la nieve es evidente en las montañas españolas. Por ejemplo, los registros del observatorio del Puerto de Navacerrada (Sierra de Guadarrama) indican que el número de días de nieve ha pasado de una media de 100 días al año a sólo 60 días al año desde principios de los años 70, lo que supone una reducción del 40%.

La disminución de la nieve tiene un impacto negativo en el turismo de invierno; en la propia Sierra de Guadarrama ya ha



El declive de la nieve es evidente en las montañas españolas. Por ejemplo, los registros del observatorio del Puerto de Navacerrada (Sierra de Guadarrama) indican que el número de días de nieve ha pasado de una media de 100 al año a sólo 60 días al año desde principios de los años 70, lo que supone una reducción del 40%. (Foto: cin.tv).

cerrado una de las tres estaciones de esquí (la del Puerto de los Cotos) y otra de ellas (Navacerrada) arroja importantes pérdidas económicas, estando abocada al cierre en un plazo más o menos cercano, ya que las previsiones indican que, con el paso del tiempo, el declive de la nieve se acentuará: las estimaciones de los científicos indican que por cada grado de incremento de temperatura el límite de la nieve asciende unos 150 metros en altitud.

EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

En el último siglo el nivel del mar ha ascendido, por término medio, entre 10 y 20 centímetros. Los científicos del IPCC⁴ atribuyen la mayor parte de estas subidas al aumento del volumen del agua de los océanos provocado por el cambio climático. Al menos hay dos causas que explican este fenómeno: por una parte, el deshielo producido en los glaciares y los casquetes polares, libera una cantidad extra de agua que va a parar al mar; por otra, el aumento de la temperatura del agua del mar hace que el agua ocupe más volumen: es el fenómeno de la expansión térmica de los océanos.

El ascenso del nivel del mar tendrá resultados dramáticos en algunas zonas del planeta. Un caso que ha alcanzado gran notoriedad internacional es el de una serie de pequeñas islas del Pacífico, que, de acuerdo con las predicciones, podrían desaparecer completamente en el presente siglo. Algunas de estas islas han establecido ya planes para trasladar toda su población a otros lugares.

En Alicante, la tasa de subida del nivel medio del mar, que era de 1,345 mm/año en la década de 1980-1990, pasó a 3,875 mm/año en la década 1990-2000. Esto significa que la

⁴ Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. Ver página X.

Los humedales costeros de gran valor ecológico como Doñana o el delta del Ebro tenderán a desaparecer engullidos por el nivel del mar. (Foto: cin.tv).



velocidad media de la subida se ha multiplicado por tres entre ambas décadas. En la cornisa cantábrica también se ha observado una aceleración de la subida.

Para España, se estima que a finales de este siglo el nivel medio del mar podría aumentar unos 50 cm⁵. Las zonas de litoral formadas por acantilados de rocas resistentes no sufrirán impactos de importancia; pero podrá causar la pérdida de un número importante de playas, sobre todo en el Cantábrico, así como la inundación de parte de las zonas bajas costeras: los deltas del Ebro y el Llobregat, la Manga del Mar Menor, la costa de Doñana son algunos de los espacios que se verán más afectados.

CAMBIOS EN LAS CORRIENTES MARINAS

La circulación oceánica atlántica lleva aguas templadas hacia el norte y aguas frías hacia el sur, suavizando el clima del continente europeo. Galicia, por ejemplo, está situada a

⁵ Moreno Rodríguez (coord.) (2005). *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, OECC.

una latitud similar a la de la ciudad de Nueva York, pero disfruta de un clima notablemente más cálido debido a su influencia.

Un estudio publicado recientemente en la revista Nature y realizado por científicos del Centro Nacional de Oceanografía Británico concluye que desde 1957 esta corriente se ha debilitado un 30% debido al cambio climático. Paradójicamente, aunque estemos en un escenario de calentamiento global, la desorganización de las corrientes marinas podría tener como consecuencia unas zonas ecuatoriales más cálidas y unas zonas septentrionales más frías.

EL AUMENTO DE LOS FENÓMENOS CLIMATOLÓGICOS EXTREMOS

Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento de acontecimientos atmosféricos extremos y catástrofes relacionadas con el clima: olas de calor, huracanes, lluvias torrenciales e inundaciones. La figura 4 muestra, por ejemplo, cómo la frecuencia de grandes inundaciones en Europa ha aumentado de forma notable en la última década.

El sector de los seguros sigue con especial preocupación estos efectos. Munich Re, una de las principales fundaciones



Foto 8. Grandes inundaciones en Europa (1976-2001). Los desbordamientos y las inundaciones se han multiplicado en Europa en los últimos decenios.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2003).

existentes en ese sector, indicaba en su último informe dedicado a las catástrofes naturales⁶:

"...2004 estuvo dominado por acontecimientos atmosféricos extremos y catástrofes naturales relacionadas con el clima, tanto por el número de sucesos acaecidos como de las pérdidas económicas que generaron. El pasado año confirmó así los temores tanto tiempo expresados por "Munich Re": el cambio climático - muy probablemente provocado por la actividad humana - está provocando no sólo una creciente frecuencia e intensidad de estos sucesos climáticos excepcionales, sino también nuevos tipos de riesgos climáticos y mayores pérdidas:

- *Se ha formado un huracán en las costas de Brasil **por primera vez** desde el comienzo de las observaciones. Esta zona se consideraba libre de huracanes.*
- *El huracán Alex se intensificó a tormenta de categoría 3 en la escala Saffir-Simpson en la región 40º N - **inusualmente** lejos de los Trópicos. Los ciclones tropicales normalmente se debilitan o desaparecen por completo antes de alcanzar esas latitudes.*
- *Florida fue azotada por 4 huracanes en el espacio de unas pocas semanas - fue la época de huracanes **más cara** para las aseguradoras -.*
- *Japón sufrió 10 ciclones tropicales - un **número record** que no ha sido igualado en el siglo anterior.*

En nuestra geografía uno de los fenómenos extremos más preocupantes son las olas de calor, por sus consecuencias en la salud humana.

⁶ Munich Re, Annual review: Natural catastrophes 2004, disponible en internet: www.munichre.com/publications/302-04321_en.pdf

Los dados trucados del clima

De acuerdo con los meteorólogos, la causa inmediata de la ola de calor que azotó Europa en agosto de 2003, causando miles de muertes, fue un anticiclón que se instaló de forma persistente sobre el noroeste de Europa. Hoy por hoy, es imposible afirmar que el aumento de los gases de efecto invernadero fuera la causa inequívoca de que ese anticiclón ocupara ese lugar en ese momento concreto.

En un artículo publicado en la revista Nature, P.A. Stott y sus colegas argumentan que la influencia humana sobre el clima ha multiplicado por cuatro las posibilidades de que un anticiclón cause una ola de calor como la acaecida en 2003. De acuerdo con estos investigadores, los humanos "hemos trucado el dado del clima": si modificamos un dado para que el seis salga más veces y al tirarlo sale un seis, sin duda tendremos la impresión de que la manipulación del dado "ha influido" en el resultado. Si con el dado trucado el seis sale el doble de veces resulta evidente que la mitad de los seis que obtengamos se deberán a la manipulación del dado. Si nos paramos a pensarlo, la pregunta ¿Cuáles de esos seis son "naturales" y cuáles "artificiales", carece de sentido: ¿perdonaríamos a un jugador tramposo con el argumento de que el seis con el que nos ganó podría ser "natural"?

El ejemplo y su interpretación ilustran que resulta muy difícil establecer relaciones causa – efecto inequívocas entre un evento climatológico y el cambio climático (resulta igualmente inadecuado desde el punto de vista científico asegurar que tal relación es inexistente). Pero las tendencias estadísticas nos ayudan a comprender que determinados fenómenos se producen con mayor frecuencia o intensidad. Este parece ser el caso de las olas de calor o de las inundaciones en el continente europeo.

EL AGUA Y LA LLUVIA

El calentamiento global parece afectar al régimen de lluvias y la disponibilidad de agua de forma desigual: en las regiones húmedas, el aumento de las temperaturas provoca un incremento de la evaporación y una mayor humedad atmosférica, lo que, a su vez, incrementa la posibilidad de precipitaciones. En las regiones áridas, el aumento del calor y de la evaporación conlleva una mayor pérdida de humedad, lo que se traduce en una reducción del agua disponible.

Así, en las áreas de latitud media y alta del hemisferio norte se ha medido un incremento de las precipitaciones de 0,5 - 1% por década. Y, por otra parte, la frecuencia e intensidad de las sequías parece haber aumentado en zonas de África y Asia.

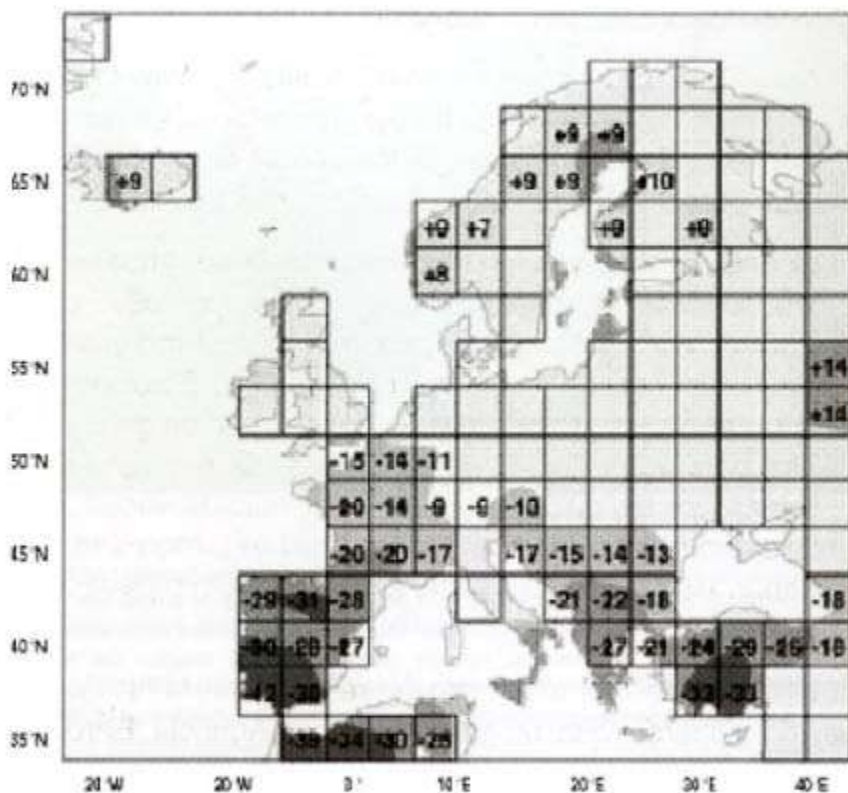
El análisis de los datos de precipitaciones anuales en un amplio conjunto de observatorios meteorológicos españoles para el periodo 1947-1999 no parece mostrar tendencias estadísticas significativas. Sin embargo, las precipitaciones invernales (que son las principales en el total anual en gran parte de nuestro país y la más importante fuente de recursos hídricos en España) muestran una clara tendencia decreciente. Este dato lleva a afirmar al investigador F.J. Ayala-Carcedo que "el descenso de la lluvia previsto en los modelos parece haber comenzado"⁷

Las predicciones de futuro no resultan nada tranquilizadoras: de acuerdo con un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente, las descargas de agua de los ríos sufrirán un fuerte descenso en buena parte de la península Ibérica (entre el 25 y el 50% para 2070). El informe Acacia, por su parte, predice importantes reducciones de las precipitaciones en la

⁷ Ayala-Carcedo, F.J. (2004). Ya citado.

península. En un país en el que ya existen serios problemas de sobreexplotación y una presión muy fuerte sobre el recurso agua, estas predicciones constituyen una pésima noticia.

Figura 5. Reducción estimada de las precipitaciones estivales para 2080



En cada cuadrícula aparece consignado el porcentaje estimado de cambio respecto a las precipitaciones medias en el periodo 1961-1990. Para realizar el cálculo se ha considerado un escenario de emisiones futuras intermedio (ni muy optimista ni muy pesimista). Como puede observarse, para la península Ibérica se prevé una importante disminución de las lluvias estivales.

Fuente: IPCC (2001).

En cada cuadrícula aparece consignado el porcentaje estimado de cambio respecto a las precipitaciones medias en el periodo 1961-1990. Para realizar el cálculo se ha considerado un escenario de emisiones futuras intermedio (ni muy optimista ni muy pesimista). Como puede observarse, para la península Ibérica se prevé una importante disminución de las lluvias estivales.



Cambios en la distribución de la vegetación. (Foto: cin.tv)

Diversas investigaciones científicas realizadas en los últimos años revelan cambios en la vegetación de las montañas: las formaciones vegetales propias de ambientes más cálidos están conquistando terreno previamente ocupado por especies de ambientes más frescos; por ejemplo, un reciente estudio realizado en el macizo del Montseny (Barcelona) comparando la vegetación actual con la existente en 1945, ha confirmado que los bosques de hayas (propios de zonas más frescas y húmedas) están siendo reemplazados por el bosque mediterráneo (propio de terrenos más cálidos). En altitudes medias (800-1400 m) los hayedos y los matorrales de brechina están siendo sustituidos por las encinas. En estas zonas, los hayedos ocupan rodales cada vez más pequeños y aislados y las hayas se encuentran en peor estado (se ha podido comprobar que tienen un 30% menos de hojas). Por otra parte, en las zonas más elevadas del macizo (1600-1700 m) se estima que los hayedos han ascendido en altitud unos 70 metros⁸.

⁸ Peñuelas, J. Y Boada, M. (2003). A global change induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* (2003) 9, 131-140.

SEÑALES Y EFECTOS

Los efectos atribuidos al cambio climático que hemos presentado constituyen tan sólo algunos aspectos sobre los que se cuenta con un conjunto de datos fiable que abarcan un prolongado periodo de tiempo y que, por su clara relación con el clima, son buenos indicadores -señales- del cambio que se está produciendo. Pero sería erróneo interpretar que estas serán "las consecuencias". Son sólo las primeras señales de cambios mucho más amplios que afectan a la vida sobre la tierra y a las sociedades humanas⁹. Estas consecuencias se conocen sólo en parte y se seguirán desvelando en los próximos años, a medida que avance la investigación científica y que las consecuencias del cambio del clima se concreten.

¿UN PROBLEMA URGENTE O UN RETO DE CARA AL FUTURO?

Uno de los rasgos más perturbadores del problema del cambio climático es que no nos queda mucho tiempo para reaccionar. Como resultado de las actividades humanas cada año la concentración atmosférica de CO₂ se incrementa en cerca de 2 ppm. ¡Ya hemos superado las 375! Parece evidente que, cuanto más tiempo tardemos en reaccionar, más difícil y costoso será evitar que el clima cambie de forma peligrosa.

La Unión Europea, en su VI Programa de Acción Ambiental, se ha fijado como objetivo que el incremento global de temperaturas no supere los 2° C respecto a la situación preindustrial (o lo que es lo mismo, 1,3° C extra sobre los niveles actuales). Se estima que un ascenso mayor supondría un serio riesgo para los sistemas naturales y para nuestra calidad de vida. Es evidente que para lograr ese objetivo es preciso que la

⁹ Ver otros artículos de este mismo libro.

concentración de CO₂ en la atmósfera no siga subiendo de forma indefinida. Existen aún dudas sobre cuál sería la concentración cuyo límite no debería superarse, para lograr que el ascenso de las temperaturas no supere los citados dos grados. Estudios recientes apuntan a que ese límite podría estar entre las 450-500 ppm de CO₂.

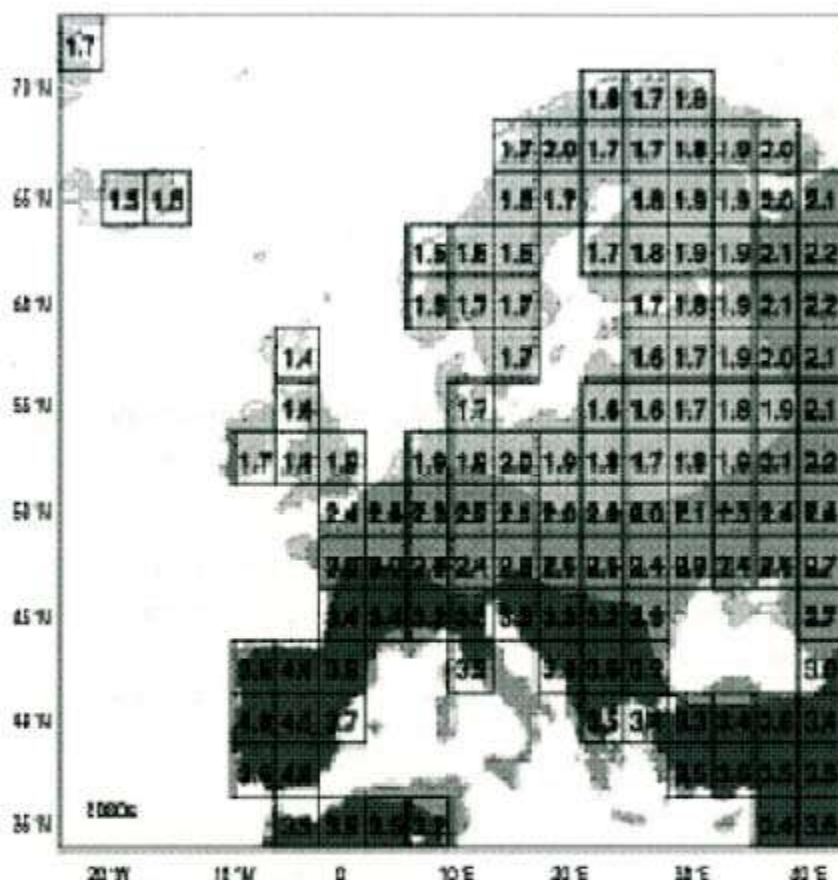
Si dejamos que las concentraciones de CO₂ sigan aumentando, en pocos años llegaremos a unos niveles ante los que las subidas más temidas serán inevitables. Y sólo nos quedará sufrir las consecuencias de nuestra imprevisión.

Los informes científicos resultan muy claros: para frenar el cambio climático resulta ineludible realizar importantes recortes de nuestras emisiones de gases de efecto invernadero (al menos del orden del 60% para el año 2050).

Ciertamente, nuestro conocimiento sobre la evolución del clima aún es limitado y difícilmente pueden realizarse predicciones muy precisas sobre el futuro (entre otras cosas, el futuro que nos espera dependerá de nuestra capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero). Dada la gran cantidad de factores que inciden en el sistema climático, debemos aceptar que un cierto grado de ignorancia resulta inevitable. Sin embargo, la mayoría de la comunidad científica estima que, ante el cambio climático, esperar "a ver que pasa", es una propuesta profundamente irresponsable.

A lo largo de la historia de la humanidad el hombre ha aprendido a partir de sus errores. Pero emplear el sistema "prueba error" no parece una buena idea cuando el resultado de nuestro error es una catástrofe climática global. En esta ocasión tenemos poco tiempo y un escaso margen para equivocarnos.

Figura 6. Previsiones de cambios de temperaturas en Europa hacia el año 2080.



En cada celda de la cuadrícula se apunta la cifra de cambio estimada en °C en relación con la temperatura media registrada para el periodo 1961-1990. Para realizar el cálculo se ha considerado un escenario de emisiones futuras intermedio (ni muy optimista ni muy pesimista).

Como puede observarse, las zonas para la que se prevé una mayor subida de temperaturas se localizan en la península Ibérica.

Fuente: IPCC (2001).

NOS AFECTA A TODOS

Uno de los rasgos que diferencia al fenómeno del cambio climático de otros problemas ambientales originados como consecuencia de la actividad humana es que afecta a todos y cada uno de los habitantes del planeta. Ciertamente, los impactos no son ni serán iguales para todas las regiones; pero nadie quedará ajeno al cambio. He aquí algunas de las consecuencias que ya se vienen perfilando:

AMENAZAS A LA SALUD HUMANA

Las **olas de calor** pueden afectar negativamente a personas con una salud frágil e incluso provocar cuadros de "choque de calor" a personas sanas expuestas a elevadas temperaturas. En Europa, la frecuencia de las olas de calor ha aumentado en las últimas décadas, provocando graves problemas sanitarios. La ola de calor que azotó Europa en el verano de 2003 provocó, sólo en Francia la muerte de 14.800 personas más que en años anteriores¹⁰. Durante esa misma ola de calor, en España, según datos no oficiales, se produjo un exceso de mortalidad de más de 6.000 personas respecto al año anterior.

En España, el número de días con temperatura media mayor de 25° C -un indicador de las olas de calor- se ha incrementado en el periodo 1971-1999 en todos los observatorios analizados por Ayala-Carcedo. Se estima que la intensidad y duración de las olas de calor se incrementará en los próximos años en nuestro país.

Por otra parte, se estima que algunas de las **enfermedades** transmitidas por mosquitos (como el dengue, la enfermedad del

¹⁰ Estimación realizada para el periodo comprendido entre el 1 y el 20 de agosto.

Nilo Occidental y la malaria) o por garrapatas (las encefalitis) aumentarán su incidencia en España, ya que las especies transmisoras pueden prosperar y extenderse con un clima más cálido.

Tabla 4. Grado de certidumbre científica sobre los efectos del cambio climático en la especie humana y en la salud de los españoles. (MA certeza muy alta, A certeza alta, B certeza baja)

Efectos sobre la especie humana y la salud

MA Expansión de vectores de enfermedades contagiosas (garrapatas, mosquitos, pulgas)

MA Incremento del estrés fisiológico, morbilidad y mortandad por olas de calor

MA Aumento del consumo de agua por la población humana y por la necesidad de riego de los cultivos

MA Incremento de la demanda energética por habitante

A Incremento de la incidencia de enfermedades respiratorias (causas climáticas directas) y de alergias (incremento

A Expansión de enfermedades de origen tropical

A Incremento de la incidencia de enfermedades infecciosas

A Incremento del precio de las pólizas de seguros que cubren aspectos relacionados con el clima y los eventos catastróficos (daños materiales y personales, pérdidas de cosechas)

PÉRDIDAS DE RECURSOS ECONÓMICOS

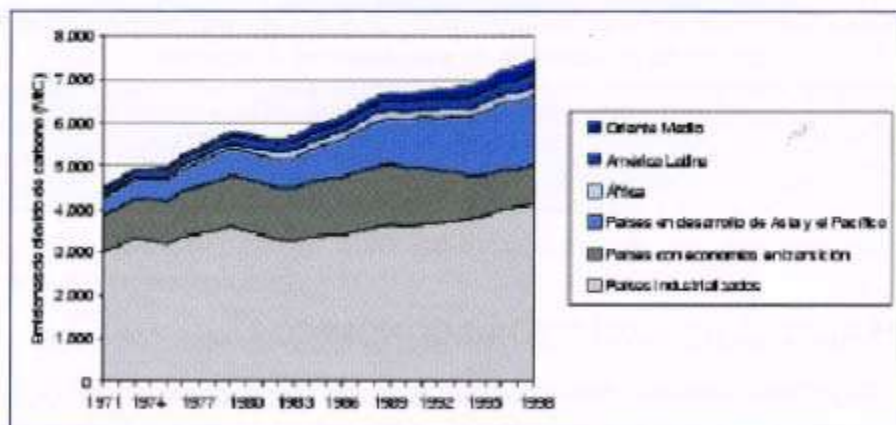
Un incremento del calor en nuestro país puede provocar que algunos de nuestros destinos turísticos más tradicionales pierdan buena parte de su atractivo en la época estival, mientras que algunas zonas del norte de Europa podrían aumentar

su interés para el turismo al tener un clima más benigno. Las playas cantábricas difícilmente constituirían la mejor alternativa al exceso de calor en las costas mediterráneas: estimaciones recientes indican que, sólo en el País Vasco y Cantabria, un ascenso del nivel del mar de 0,5 m podría traducirse en la pérdida de 22 Km. de playas, el 30% de todas las existentes.

Por otra parte, las predicciones coinciden en señalar un incremento del riesgo de los incendios forestales en la región mediterránea, debido al incremento de la sequedad y las temperaturas. Estos dos ejemplos ilustran que el cambio climático también puede provocar impactos de importancia en nuestra economía.

LOS MÁS DÉBILES SON LOS MÁS VULNERABLES

La capacidad de las personas y las sociedades para adaptarse al cambio climático dependerá de diversos factores, pero, previsiblemente, los países pobres tendrán muchas más dificultades. Por ejemplo, el ascenso del nivel del mar podrá ser abordado con nuevas obras de ingeniería en Holanda, un



Emisiones mundiales de CO₂ por regiones, 1971-1998.

Fuente: IPCC, 2001

país desarrollado con amplia experiencia y recursos para la construcción de diques. Sin embargo, en Bangladesh la subida de las aguas significará, con gran probabilidad, la inundación de las tierras bajas de cultivo y la emigración masiva de sus habitantes.

... Y LOS QUE TIENEN MENOR RESPONSABILIDAD

Las emisiones medias por persona y año de CO₂ en el mundo ascienden a unas, 5,5 toneladas, lo que supone el doble de lo que se considera adecuado para evitar interferencias peligrosas en el clima. En todo caso, hay grandes diferencias entre unos países y otros. En Europa, por ejemplo, el valor per-cápita es de unas 10,5 toneladas, mientras que en muchos países en desarrollo, la cifra está en unas 2 toneladas. En el año 2000, todo el continente africano emitió menos CO₂ que Alemania.

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 interactúan entre sí 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 interactúan entre sí 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_2 del aire), agua y luz. El CO_2 , 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 mas carbono, la relación carbono-nitrógeno de las hojas



Las condiciones de clima continental contrastado que sufren muchos encinares del interior peninsular se han visto recrudecidas 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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin subir de $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante periodos de entre 5 y 7 días seguidos, y al frío siguió un verano muy caluroso (máximas superiores a los $45\text{ }^{\circ}\text{C}$) 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_2 , 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_2 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_2 . En otras palabras, la función de las plantas como sumidero de CO_2 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_2 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-

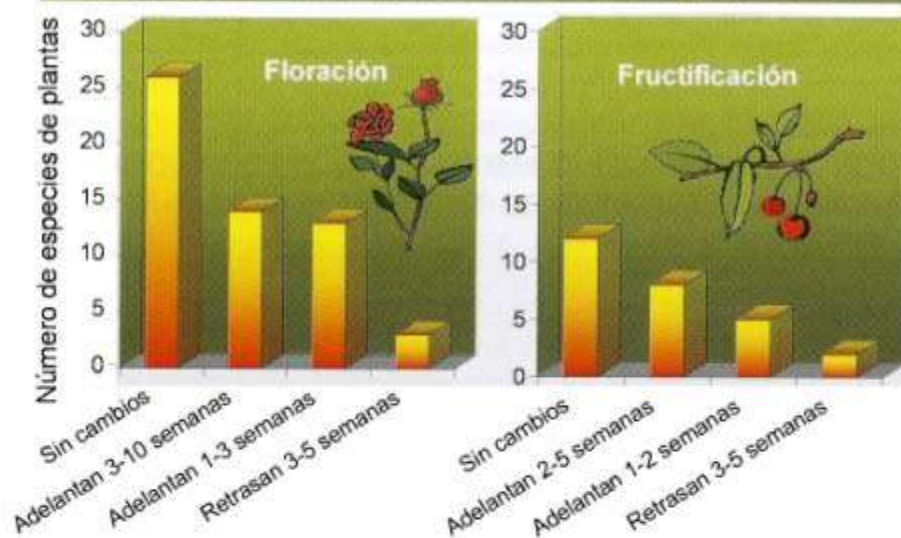
ralmente el riesgo de incendio. Y muchos de estos efectos (seca de árboles, sustitución de árboles por matorrales, incremento de frecuencia y severidad de incendios) ya se están registrando.

¿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 período 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.

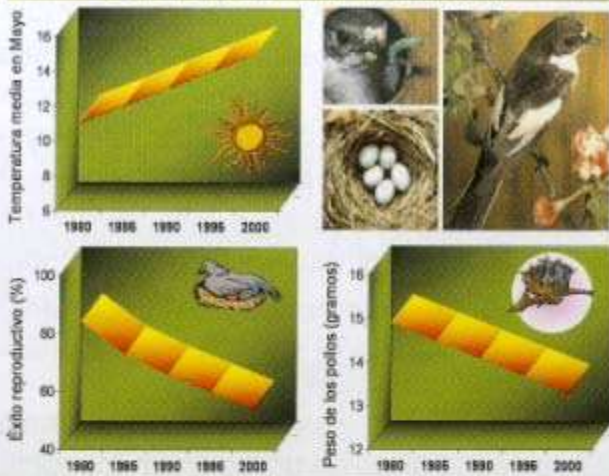
Lo que resulta evidente es que no todas las especies de plantas y animales responden igual, e incluso algunas espe-



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 migratorias, 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 mas largo de temperaturas favorables debido a que la sequía del verano detiene la actividad de las plantas. Además, la propia sequía está haciéndose mas 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 (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 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 CO_2 , carbonatos y bicarbonato permite capturar el CO_2 de la atmósfera, pero el problema es que el mar no logra absorber el 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 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 dulceacuícolas)	
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 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 CO₂ 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)

B Disminución de la capacidad de secuestro de carbono por parte del océano

B Facilitación de condiciones (temperatura del mar) para la formación de ciclones

B Aumento de la productividad del fitoplancton y de las algas marinas

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.

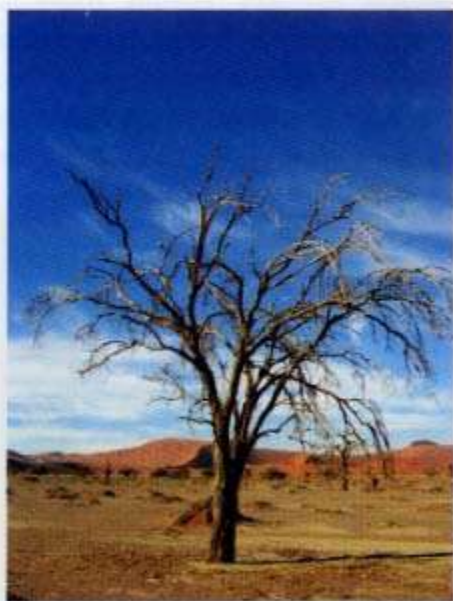
Los sistemas acuáticos continentales están sufriendo el cambio climático de forma muy marcada ya que les está afectando no sólo los cambios en la temperatura sino los cambios en las precipitaciones y los cambios en los ecosistemas terrestres vecinos de los que dependen para muchas de sus funciones. La 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: convencernos 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), 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 mas 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 arraclanes (*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-

qu coasta 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 CO₂ 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.

RESPUESTAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Mariano González Sáez

LA RESPUESTA INICIAL: LA CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO



Atajar el cambio climático es una labor que sólo puede afrontarse con la participación de toda la comunidad internacional. (Foto: Unesco).

El 21 de marzo de 1994 se produjo un avance significativo en la lucha para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por primera vez un numeroso grupo de países, negociaron y firmaron un acuerdo internacional que les vinculaba jurídicamente. El objetivo final del acuerdo era estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero a niveles que impidieran interferencias de origen humano en nuestro sistema climático. El acuerdo indicaba asimismo que ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente asegurando un desarrollo económico sostenible. De esta forma se había dado el primer paso para reconocer que existía un problema de ámbito global. Además la importancia que tenía también era otra, ya que por primera vez las diferentes naciones del mundo se habían puesto de acuerdo para adoptar un plan de acción común, ante un problema de consecuencias inciertas

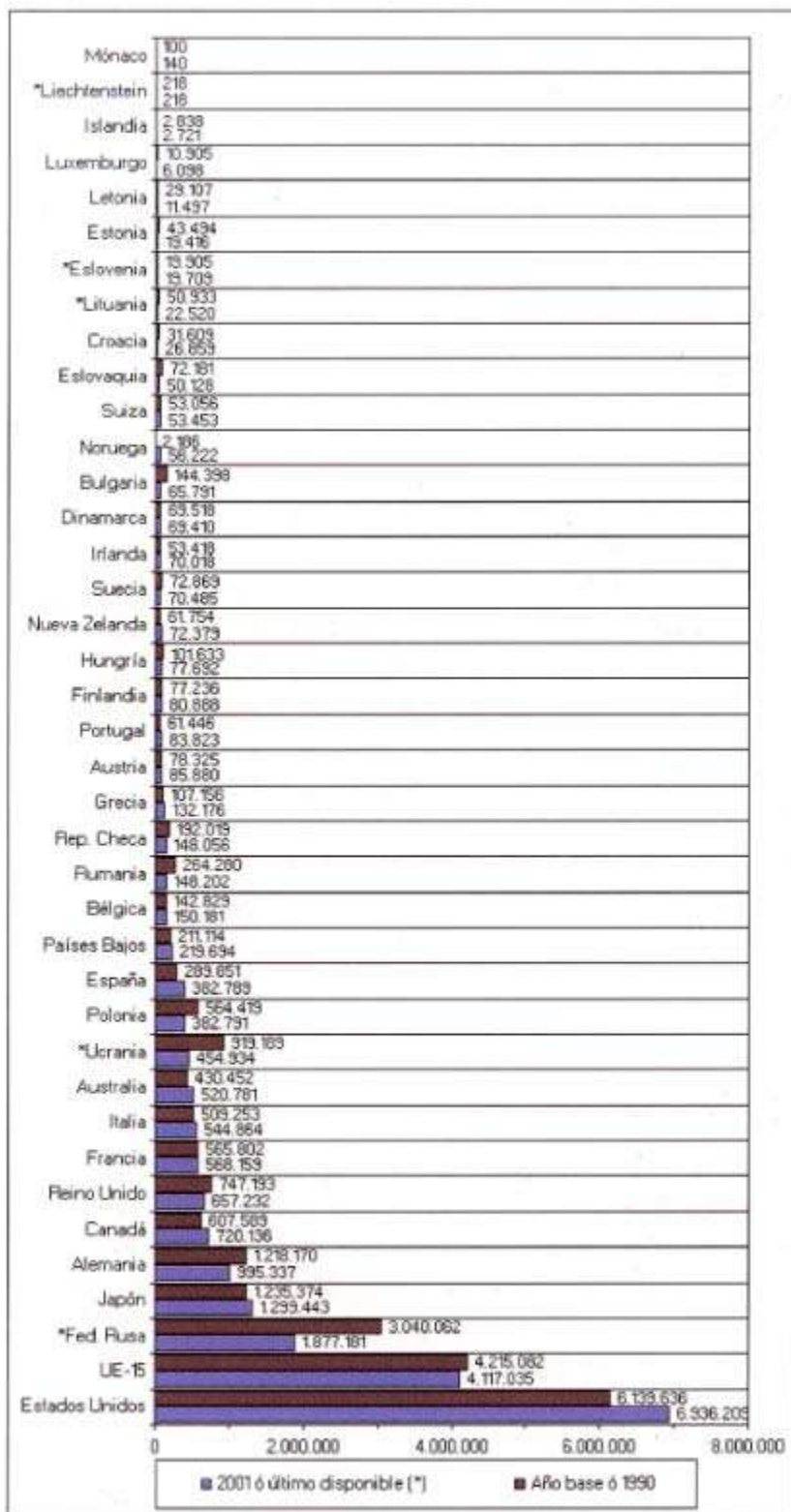
que requería soluciones pensadas globalmente e implementadas localmente y que tendrá mayor importancia para el destino de nuestros nietos que para nuestra generación.

Se había materializado así la voluntad política al más alto nivel, simbolizando el primer esfuerzo de la comunidad internacional, para combatir las causas y los impactos del cambio climático.

La Convención ha sido concebida de forma que permite a los países reforzar o atenuar sus disposiciones de acuerdo con el progreso técnico y los últimos descubrimientos científicos, fomentando la adopción de medidas teniendo en cuenta el denominado "principio de precaución". En el derecho internacional tradicional en general no se podía restringir o prohibir una actividad a menos que se demostrara la existencia de un vínculo causal entre dicha actividad y un daño concreto particular. Si se exigieran pruebas concluyentes de esta relación sería muy difícil hacer frente a muchos problemas ambientales. Por este motivo, la comunidad internacional ha ido aceptando el principio precautorio, según el cual determinadas actividades que pueden causar daños graves o irreversibles pueden restringirse o, incluso prohibirse, antes de que exista la certeza científica absoluta de sus verdaderas repercusiones.

QUÉ ES Y QUÉ OBJETIVOS PRETENDE

La convención reconoce que el sistema climático es un recurso común patrimonio de la humanidad compartido por todos, cuya estabilidad puede verse afectada por diversas actividades que emiten dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, para lo cual establece una estructura marco que canaliza los esfuerzos intergubernamentales encaminados a responder a este desafío de forma más eficaz.



Emisiones totales (Gg CO2 equivalente) de cada país desarrollado o con economía en transición en el último año disponible y en el año base.

Fuente: Inventarios oficiales o Comunicaciones Nacionales enviadas a la CMCC.

Esta figura muestra las emisiones totales en el último año disponible (2001 excepto en los marcados con *) y en el año base, para los países desarrollados o con economías en transición. La UE aparece representada y también lo hacen cada uno de sus Estados Miembros.

La situación respecto al año base varía entre los cuatro mayores emisores. En Estados Unidos y Japón las emisiones han aumentado, mientras que en la UE se redujeron ligeramente y en Rusia apreciablemente. La evolución de Rusia es la misma que la de otros países con economías en transición como Ucrania, Polonia, Rumania o Estonia, donde el colapso de su economía en la década 1990-2000 explica esta reducción.

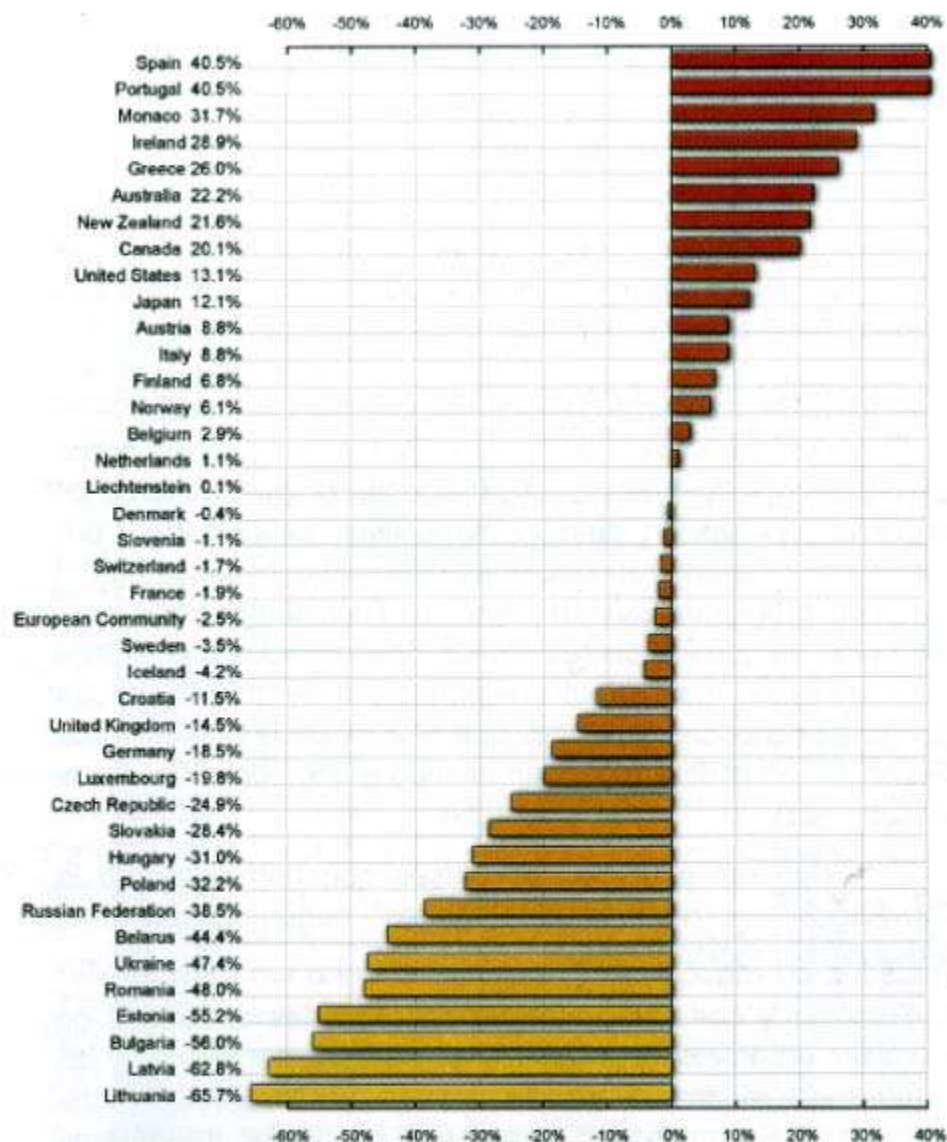
Como ya se ha citado, en la Convención se fija el objetivo de “estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático”. Para ello se establece un reparto de responsabilidades haciendo caer la mayor carga o esfuerzo en el llamado grupo de países Anexo1, compuesto por los países más ricos e industrializados (países de la OCDE) y que en consecuencia han emitido más gases a la atmósfera.

Estos países junto a otros 12 denominados economías en transición (países del este que estuvieron en la órbita de la antigua Unión Soviética) debían reducir para el año 2000 sus emisiones al nivel de 1990, invirtiendo así la tendencia histórica al aumento constante de las emisiones. La Convención pretende realizar un reparto de la carga de forma equitativa sobre la base del principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas en función de sus respectivas capacidades, por cuanto es necesario reconocer las diferencias históricas en el origen del problema. Existen situaciones desiguales como consecuencia de que los países menos desarrollados con el 80% de la población mundial son responsables de un 25% de las emisiones históricas, mientras que el 20% de la población de los países industrializados, han emitido el 75% del CO₂ desde 1950.

En virtud del acuerdo, los países que han ratificado la Convención, las denominadas “partes” según establece el derecho internacional deben:

- Recoger y compartir información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, las políticas nacionales y las mejores prácticas. Para ello se exige que los países industrializados establezcan inventarios periódicos de las emisiones de gases de efecto invernadero. El año de referencia para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero ha sido 1990.

Total de Emisiones de gas de efecto invernadero. Apéndice I - 1990-202.



Cambio relativo a 1990 en %

* The change related to 1990 shown here is for 2002 except for Liechtenstein (1990), Poland (2001) and Russian Federation (1999)

- Poner en marcha estrategias nacionales que permitan abordar el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero en los diferentes sectores de actividad económica, adaptándose a los efectos previstos.
- Prestar apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo que les permita reducir su nivel de emisiones sin limitar su necesario desarrollo económico.
- Cooperar para la adaptación a los efectos del cambio climático reconociendo la especial vulnerabilidad de los países en desarrollo al cambio climático realizando esfuerzos concretos para mitigar o reducir sus consecuencias.
- Promover la observación sistemática y la investigación científica sobre el sistema climático.
- Informar y sensibilizar al público de la problemática del cambio climático y sus consecuencias.
- Promover la gestión sostenible y la conservación de los sumideros de carbono.

EL PROTOCOLO DE KYOTO

Las partes de la Convención decidieron en la primera Conferencia de las partes celebrada en Berlín en marzo/abril de 1995, negociar un acuerdo internacional vinculado al tratado existente pero con autonomía propia, que determinara las medidas de reducción de las emisiones en los países industrializados para el periodo posterior al año 2000. En diciembre de 1997 en la ciudad japonesa de Kyoto tuvo lugar la tercera conferencia de las partes (COP 3) que reunió a representantes de 125 países. Tras 2 años y medio de largas y complejas negociaciones, el 11 de diciembre de 1997 se aprobaba por unanimidad un nuevo instrumento legal denominado "Protocolo de Kyoto" que comprometía a los países que lo rati-

ficaran a reducir las emisiones de los gases responsables del efecto invernadero para el periodo 2008 – 2012.

La reducción global prevista para este periodo es de 5,2% respecto a los niveles de emisión de 1990. El Protocolo establece diferencias entre los países en función de su contaminación pasada y presente, de tal forma que los países que mas hayan contaminado en el pasado serán los que mas deban reducir sus emisiones mientras que los demás podrán incluso aumentarlas (como es el caso de España como luego comentaremos). El Protocolo no obliga en una primera fase a los países en desarrollo debido a sus bajas emisiones por habitante.

Se había dado de esta forma un primer y decidido paso para la adopción de objetivos obligatorios y cuantificados de limitación y reducción de gases de efecto invernadero. La ronda de negociaciones para especificar las normas del protocolo no se concretaría hasta la COP 7 con la adopción de los denominados "Acuerdos de Marrakech". En estos acuerdos jurídicamente vinculantes además de detallar las normas de aplicación del protocolo también se adoptaron medidas para la aplicación de la convención, permitiendo que los países partes pudieran iniciar sus respectivos procesos de ratificación.

¿QUÉ ES Y EN QUÉ CONSISTE EL PROTOCOLO DE KYOTO?

Hoy podemos decir que el protocolo de Kyoto y las obligaciones derivadas del mismo son una realidad aunque el proceso no ha sido fácil. El protocolo requería para su entrada en vigor y en consecuencia para que fuera jurídicamente vinculante la ratificación de no menos de 55 países, entre los que debían contarse países desarrollados cuyas emisiones totales representarían por lo menos el 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de 1990. A pesar de la oposición constante de Estados Unidos y Australia la adhesión por parte de Rusia (que

emite el 17, 4%), permitió finalmente su entrada en vigor el 16 de febrero de 2005.

El Protocolo de Kyoto tiene los mismos objetivos y principios generales de la Convención si bien dota de contenido las prescripciones genéricas y refuerza y concreta los compromisos asumidos por las partes del anexo1 (países desarrollados y países en proceso de transición a una economía de mercado) que lo hayan aceptado, para limitar o reducir sus emisiones a través de objetivos individuales y jurídicamente vinculantes. Como se ha citado anteriormente los compromisos contraídos en virtud del protocolo varían de unos países a otros. El objetivo global del 5% para los países desarrollados debe conseguirse mediante recortes en relación a los niveles de emisiones de 1990.

El protocolo no fija límites a las emisiones de gases de efecto invernadero de los países en desarrollo, aspecto muy controvertido en especial en países como India y China muy poblados y con economías en continuo crecimiento.

La Unión Europea de los 15 asume el compromiso de reducir sus emisiones conjuntas en un 8%, lo que significa que aunque globalmente sea ese el objetivo, algunos países como España podrán aumentar sus emisiones (un más 15%), mientras que otros como Alemania o Reino Unido deberán reducirlas significativamente un 21% y un 12,5% respectivamente. Esta redistribución o reparto de la carga o esfuerzo se conoce como la burbuja europea. Otros países como Estados Unidos, aunque no ha ratificado el protocolo, tiene asignada una cuota de reducción del 7%, Japón del 6% Croacia del 5%, Nueva Zelanda, la federación Rusa y Ucrania del 0%, Islandia por el contrario puede aumentarlas un 10%.

El Protocolo prevé un paquete de medidas con el fin de promover el desarrollo sostenible y facilitar la limitación y reducción de emisiones:

- Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía.
- Protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal. Promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, forestación y reforestación.
- Promoción de prácticas agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones sobre cambio climático.
- Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, tecnologías de secuestro de CO₂ y tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.
- Reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y las subvenciones que sean contrarias al objetivo de la convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado.
- Fomento de reformas en los sectores con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, incluidos el sector del transporte.
- Limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de desechos, así como en la producción, el transporte y la distribución de energía.

LOS MECANISMOS DE FLEXIBILIDAD

El protocolo de Kyoto establece los denominados mecanismos de flexibilidad con el fin de facilitar a los países del anexo 1,

el cumplimiento de sus objetivos de reducción y limitación de sus emisiones. Para ello existen tres opciones:

- El comercio de emisiones,
- El mecanismo de desarrollo limpio y
- El mecanismo de aplicación conjunta.

Es importante destacar que estos mecanismos tienen siempre carácter complementario, no se convierten por tanto en un fin en si mismo, sino que tienen como objetivo ayudar a los países para que junto a las necesarias políticas y medidas internas, puedan cumplir más fácilmente los objetivos establecidos por el protocolo. También consiguen otro no menos importante objetivo, como es el de apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo, a través de la transferencia de tecnología, conseguida mediante la ejecución de proyectos "limpios" por parte de los países anexo 1.

La existencia de este tipo de mecanismos parte de la premisa de que a efectos climáticos es irrelevante donde se reduzcan las emisiones ya que estamos abordando un problema con causas, efectos y escenarios globales. Se rigen por unos principios rectores recogidos en los citados Acuerdos de Marrakech:

* El principio que establece que los Mecanismos del Protocolo de Kyoto no presuponen la creación, para las Partes del Anexo I, de ningún tipo de derecho o título de emisión.

* El principio de complementariedad cualitativo, en virtud del cual la utilización de los mecanismos ha de ser complementaria a las medidas internas para la reducción o limitación de emisiones de gases de efecto invernadero. Este principio responde a la preocupación, como se señalaba anteriormente, de evitar que los mecanismos se convirtieran en un instrumento para la no adopción de políticas y medidas nacionales de lucha frente al cambio climático.

* El principio de la no utilización de la energía nuclear en proyectos desarrollados bajo el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio y de la Aplicación Conjunta.

* El principio de equidad, que pretende que las Partes del Anexo I, adopten políticas y medidas de reducción de emisiones de manera que disminuyan las desigualdades por habitante entre los países en desarrollo, y los países desarrollados.

QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA EL COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN

Mediante este mecanismo los países del anexo1 que emitan por debajo del límite de unidades de emisión impuesto por el protocolo pueden vender sus excedentes de capacidad de derechos de emisión y viceversa, los que lo superen, adquirir créditos de otras partes del anexo1 que hayan emitido por debajo de lo establecido. Este mecanismo pretende por un lado estimular el ahorro de emisiones mediante un beneficio económico derivado de la venta del derecho no consumido y por otro facilitar a la otra parte el cumplimiento mediante una alternativa como es la compra del permiso de emisión.

Este sistema configura el denominado “mercado de carbono”, al ser el dióxido de carbono el gas de efecto invernadero mas emitido y porque los restantes gases se registraran y contabilizaran en forma de “emisiones equivalentes de dióxido de carbono”.

La idea que subyace en todo esto es la de crear una bolsa mundial de compraventa de derechos de emisión. De esta forma se podrán intercambiar en el mercado los distintos tipos de unidades contables reconocidas por el Protocolo de Kyoto: Unidades de reducción de emisiones (UREs), reducciones certificadas de emisiones (RCEs) Unidades de absorción (UDAs) y Unidades de cantidad atribuida (UCAs). En definitiva se pre-

tende alcanzar de una forma más eficiente desde el punto de vista económico, los compromisos adquiridos en el Protocolo.

Mediante la creación y puesta en marcha de este nuevo mercado de activos financieros, según estimaciones del banco Mundial se podría alcanzar un volumen de negocio en torno a los 30.000 ó 40.000 millones de dólares al año. Los países que estarán en mejor disposición de vender el denominado "aire caliente" serán Rusia y Ucrania ya que sus emisiones actuales son más de un 40% inferior a las del año 1990. El pasado año entró en funcionamiento el sistema europeo de comercio de emisiones, de aplicación solo en el ámbito de la UE, pero que previsiblemente será el modelo a seguir en los mercados internacionales.

QUÉ ES Y COMO FUNCIONA EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

Este mecanismo conocido más por su abreviatura MDL o en inglés CDM, es una alternativa creativa para fomentar las inversiones de un país anexo¹ en un país no incluido en dicho anexo mediante proyectos que permitan reducir las emisiones o fijar carbono.

El país inversor recibe las denominadas reducciones certificadas de emisiones (RCEs) en función de las toneladas de CO₂ evitadas o fijadas en el país receptor y que puede computar de forma complementaria para lograr cumplir sus objetivos de reducción o limitación de emisiones. En contrapartida el país receptor de la inversión logra el desarrollo y materialización de proyectos limpios en áreas esenciales para el desarrollo sostenible del país. Para poder desarrollar adecuadamente el proyecto debe existir un acuerdo previo entre las partes y demostrar la existencia de una reducción de emisiones real, cuantificable y prolongada en el tiempo y además tener en cuenta el requisito de la adicionalidad ambiental del proyecto,

que garantiza que la reducción de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero es superior a la que se produciría de no haberse ejecutado el proyecto.

Este mecanismo es un elemento generador de oportunidades de negocio en un número amplio de sectores vinculados a los diferentes procesos industriales, al área de las energías renovables, la eficiencia energética, la gestión de los residuos, el transporte etc. Además abre las puertas a una amplia tipología de empresas que intervienen en las diferentes fases del ciclo de proyecto desde la ingeniería a la consultoría, bienes de equipo, gestión y tramitación, financiación, construcción, así como a las empresas acreditadas para la certificación y validación.

QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA LA APLICACIÓN CONJUNTA

Mediante este mecanismo los países industrializados pueden obtener reducciones de emisiones derivadas de la ejecución de proyectos en otros países del anexo 1 (países en transición hacia una economía de mercado).

Los gobiernos que actúen como promotores recibirán por tanto créditos (unidades de reducción de emisiones) que podrán computar para cumplir sus objetivos de reducción. El funcionamiento es similar e igual de complejo que el del meca-

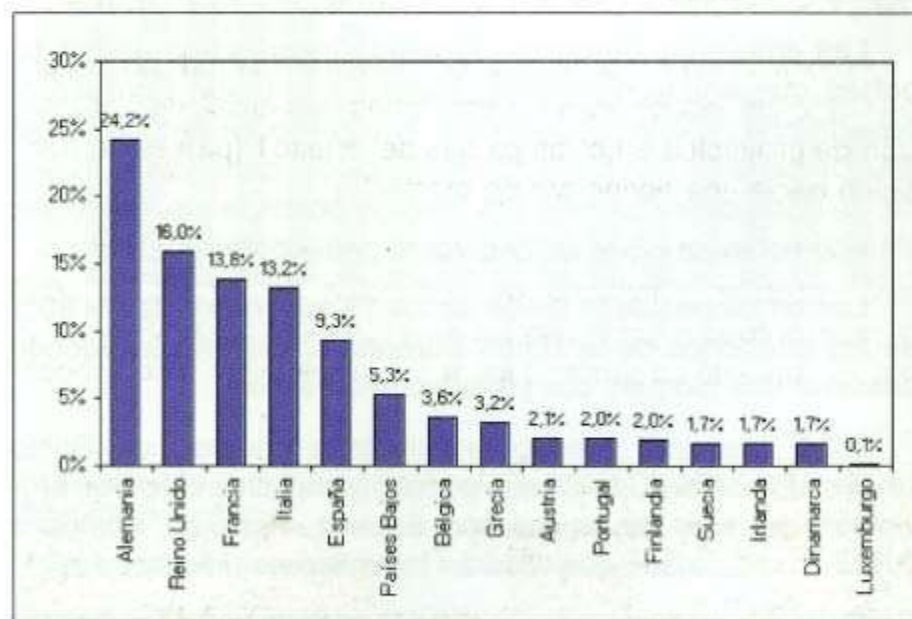
Fuente: Unesco.



nismo para un desarrollo limpio. Presenta las mismas ventajas y esta sometido a parecidos controles y se basa en el enfoque ya comentado, de que la reducción de emisiones a la atmósfera supone un beneficio para todos, con independencia del lugar concreto donde se lleven a cabo los proyectos. Las previsiones apuntan a que serán los países del Magreb, de la Europa del este y los que conformaban la antigua Unión Soviética, los máximos receptores y beneficiarios de proyectos basados en este mecanismo.

LA UNIÓN EUROPEA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

El 31 de mayo de 2002 la Comunidad y sus 15 estados miembros ratificaron el protocolo, liderando el proceso y mani-



Contribución de cada Estado Miembro al total de las emisiones de la UE en el último año disponible

Fuente: Inventarios oficiales enviados a la CMCC. Pag web OECC

festado su firme compromiso en la lucha contra el cambio climático, teniendo en cuenta que la UE es responsable de alrededor del 24% de las emisiones globales.

En la práctica la Unión Europea se acogió a la posibilidad que ofrecía el protocolo para que un grupo de países del anexo1 pudiera cumplir conjuntamente sus compromisos de reducción y limitación de emisiones, notificando los términos del acuerdo e incluyendo los niveles de emisión que corresponde a cada país dentro del conjunto. En todo caso a cada estado se le exige el cumplimiento de los niveles de emisión individualizados definidos en el acuerdo, con independencia del eventual cumplimiento conjunto, gracias a la reducción del resto de los estados miembros. La distribución de porcentajes varía entre los recortes del 28% en Luxemburgo o del 21% en Dinamarca y Alemania a un aumento del 25% en Grecia o del 27% en Portugal.

Las emisiones de gases de efecto invernadero de los 10 países que entraron a formar parte de la Unión Europea el pasado año no computaran para el objetivo de reducción del 8%. De acuerdo con los requerimientos del protocolo la mayoría de ellos debe cumplir sus propios objetivos de reducción situados entre el 6% y el 8% para el periodo 2008-2012.

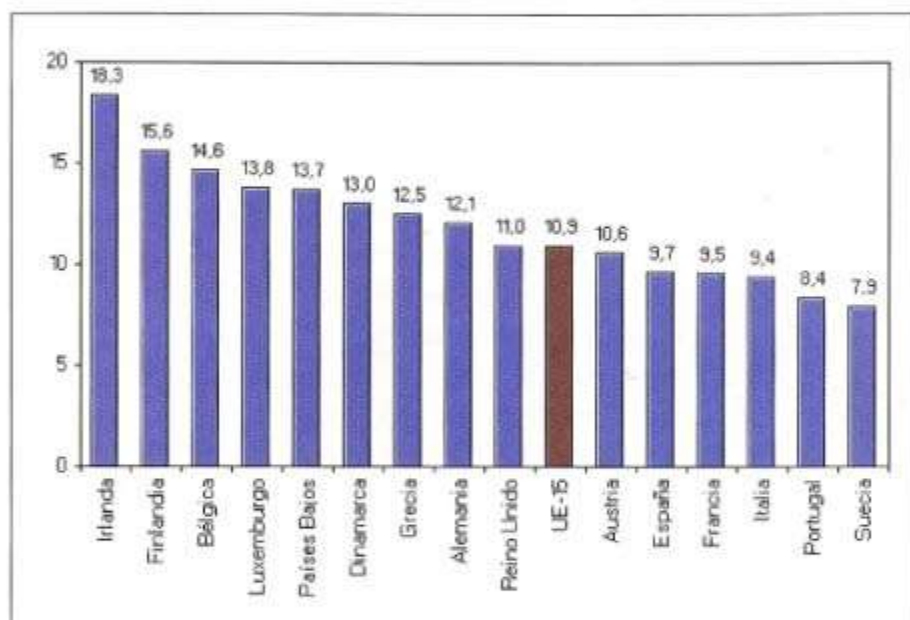
Las emisiones de la Unión de los 15 suponen más del 80% de las emisiones de la Unión Europea ampliada. Se pueden observar dos bloques con países como Francia

(Con una gran producción eléctrica nuclear) de Reino Unido, Alemania y Suecia que podrán cumplir los objetivos previstos y el resto de países con España, Portugal, Austria o Grecia como países que tendrán las mayores dificultades.

Con objeto de contribuir a facilitar este cumplimiento se aprobó una directiva, que entro en vigor en enero de 2005, por la que se crea el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión, que afecta a industrias del sector cementero,

siderúrgico, energético, vidriero, cerámico, papelerero y de refinado de petróleo y que afecta en torno al 50% de las emisiones de CO₂ de la Unión Europea.

Las empresas reducirán sus emisiones si sus costes de reducción son inferiores al derecho. Este mecanismo de mercado permite a las industrias intercambiar los derechos de emisión previamente asignados en los respectivos planes nacionales de asignación. Los precios de la tonelada de CO₂ dependerán de la fluctuación del mercado en base a la oferta y



Emisiones per cápita (t CO₂ equiv/hab) en cada estado miembro de la UE en el último año disponible.

Fuente: Inventarios oficiales enviados a la CMCC.pag web OECC

Esta figura presenta las emisiones per cápita de los Estados Miembros de la UE en el año 2001. Los valores están entre 18,3 y 7,9 toneladas de CO₂ equivalente por habitante, correspondientes a Irlanda y Suecia respectivamente. La media de la UE son 10,9, siendo las emisiones en España 9,7 t CO₂ equivalente por habitante.

demanda y serán únicos a nivel europeo. La verdadera aplicación de esta iniciativa, se producirá cuando las industrias afectadas realicen el inventario de emisiones de 2005. Aquellas que superen los permisos de emisión otorgados se verán en la necesidad de acudir al mercado para comprar su déficit de emisiones o bien pagar la multa establecida de 40 euros por tonelada de más emitida (100 € en el siguiente periodo). En el futuro incluso, si un país no se ajusta al objetivo asignado, será sancionado con un 30% adicional de recorte por las toneladas de CO2 incumplidas y se le prohibirá hacer uso de los mecanismos de desarrollo limpio.

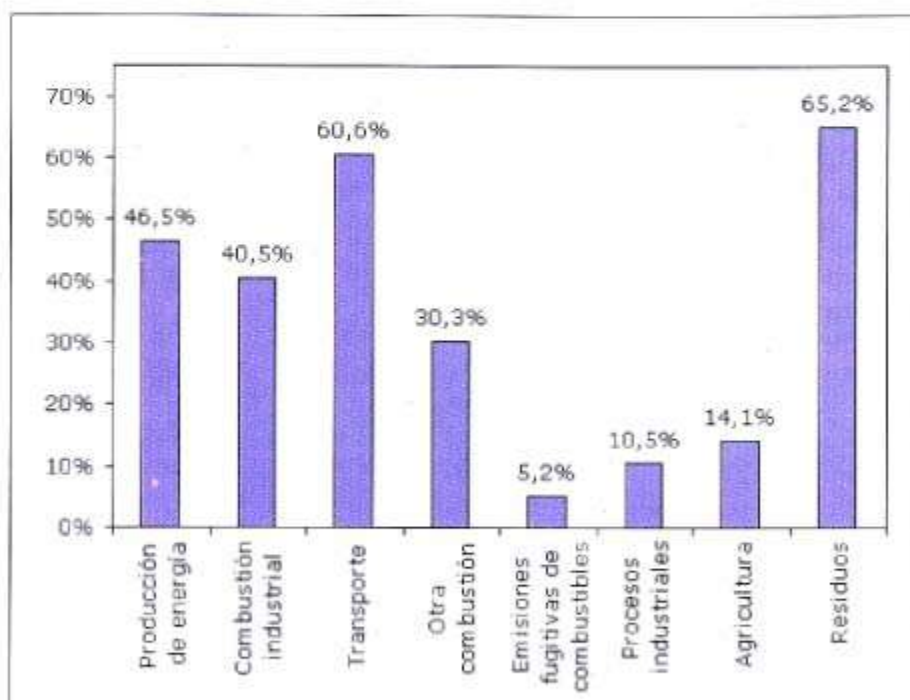
ESPAÑA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO: OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS

El compromiso específico asumido por nuestro país, al margen de los compromisos genéricos derivados de la Convención, es el de limitar el crecimiento de nuestras emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 2008-2012, de tal forma, que estas no aumenten más del 15% sobre la cifra de emisiones del año 1990, que es el año tomado como base de referencia. Ese 15% de crecimiento, es la cuota de emisión resultado del reparto de la carga de reducción del 8% en el ámbito de la UE y que ha tenido en cuenta el grado de desarrollo de los diferentes países.

En todo caso lo que si es evidente es que para poder cumplir este objetivo de limitación del crecimiento de nuestras emisiones, se requiere un esfuerzo decidido y conjunto de todos los actores que interviene en el proceso: administraciones, sectores industriales y sociedad civil. Para ello además de ser mas eficientes en términos energéticos es necesario optimizar determinados procesos industriales (aún cuando curiosamente algunos tienen unos niveles de emisiones por unidad producida inferiores a las de sus homologas del resto de Europa),

actuar más contundentemente en los denominados sectores difusos, (residencial o domestico y transportes), invertir en energías más limpias y modificar progresivamente nuestros hábitos de consumo. Aún así, España a pesar de haber sido el primer país de la Unión en ratificar el protocolo no lo tiene fácil. Los últimos datos continúan la tendencia alcista, las emisiones han crecido un 45% sobre el escenario base, por lo que el esfuerzo de ajuste que tenemos que realizar es probablemente el mayor de todos los países de nuestro entorno.

Por este motivo en el caso de España, los denominados mecanismos de flexibilidad y en particular el comercio de emisiones y el mecanismo de desarrollo limpio se constituyen en un instrumento clave para facilitar el cumplimiento de las obli-



Distribución por sectores de las emisiones de España en el año 2002.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

gaciones asumidas. Además en la segunda opción nos permitirá, mediante las pertinentes inversiones del sector privado, contribuir a un desarrollo más armónico y equilibrado de países con los que nos unen estrechos vínculos históricos y culturales impulsando la transferencia de nuevas y más eficientes tecnologías. Para ello se vienen firmando desde la décima Conferencia de las partes celebrada en Buenos Aires en diciembre de 2004, diferentes memorandos de entendimiento bilaterales con países de América Latina, en relación a diversas iniciativas relacionadas con cambio climático, inclusive proyectos del mecanismo de desarrollo limpio.

El Plan Nacional de Asignación aprobado por el gobierno reparte el esfuerzo de reducción dentro de la industria por sectores y realiza una asignación individualizada de derechos de emisión para las diferentes instalaciones, casi 1000 instalaciones pertenecientes en su mayoría al sector de eléctrico, papel y de fabricación de tejas y ladrillos. Las industrias deben presentar sus informes de emisiones verificados (esto es revisados por una entidad independiente), a las autoridades autonómicas competentes para su validación y posterior envío al registro nacional de derechos de emisión (RENADE) con el fin de comprobar la adecuación a los límites y derechos inicialmente asignados.

CÓMO AFECTA A LOS SECTORES DE ACTIVIDAD ECONÓMICA

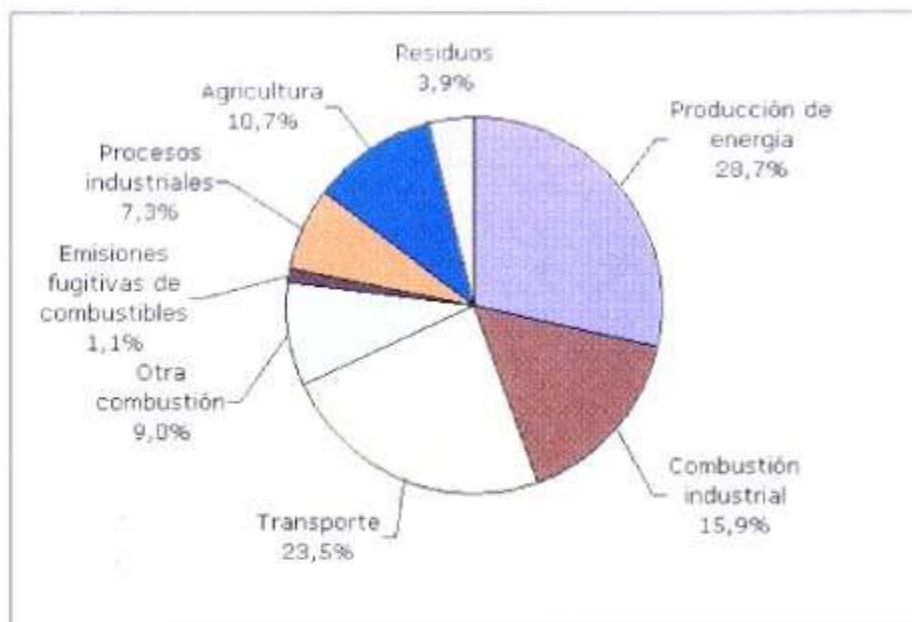
En España la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector energético al no haber podido o sabido dissociar el binomio consumo de energía y crecimiento económico. Si bien los esfuerzos inversores de las empresas del sector en el uso del gas natural como combustible y el crecimiento en el mix de generación de las energías renovables, especialmente la eólica, de la que España con



La mayor dificultad de actuación se encuentra en los denominados sectores difusos y en especial en el sector de los transportes. Las medidas para este último sector pasan con toda probabilidad por una revisión de la fiscalidad, algo políticamente complejo e impopular y por el fomento masivo del transporte público sostenible. (Foto: cin.tv.).

incrementos de producción considerables es la segunda potencia mundial, deberían ayudar a modificar nuestro modelo energético hacia uno menos dependiente del carbono.

El sector industrial en su conjunto y en concreto aquellos distintos a la combustión, como la producción de cemento o la industria química también están llevando a cabo importantes modificaciones en sus procesos productivos para conseguir mayor ahorro y eficiencia lo que debería dar sus frutos en términos de reducción de emisiones. La estrategia en este sector debe estar basada en el carbono como un elemento que debe estar integrado en la política empresarial y que en última instancia determinara el balance y la cuenta de pérdidas y ganan-



Distribución por sectores de las emisiones de España en el año 2002.

España es el país desarrollado que más ha incrementado en los últimos años las emisiones de gases de efecto invernadero: en 2003 nuestras emisiones habían aumentado un 41% respecto a los niveles de 1990. En ese mismo periodo de tiempo, las emisiones de todos los países desarrollados, en conjunto han descendido un 5,9%. En España generamos, de media, 9,7 toneladas de CO₂ por persona y año. La industria de la energía y el transporte son los principales productores de gases de efecto invernadero.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

cias de las empresas. Para ello es necesario fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación tecnológica como garantía de futuro en términos de sostenibilidad de la producción.

La mayor dificultad de actuación se encuentra en los denominados sectores difusos y en especial en el sector de los transportes. Las medidas para este último sector pasan con toda probabilidad por una revisión de la fiscalidad, algo políticamente complejo e impopular y por el fomento masivo del transporte público sostenible.

En el ámbito residencial las nuevas disposiciones normativas aplicadas en algunas autonomías y municipios en materia de ahorro y eficiencia energética con el fomento de la energía solar y los avances en vivienda sostenible y arquitectura bioclimática, pueden suponer un cambio de tendencia y el respaldo definitivo para la integración y consideración del medio ambiente, en este importante sector de actividad económica.

QUÉ PODEMOS HACER

Pues podemos y debemos hacer mucho más de lo que en principio podríamos pensar,

al margen de los debates, indicios científicos y previsiones de los modelos computacionales sobre las consecuencias del cambio climático, el Protocolo de Kyoto es real y con independencia de que nos compartamos más o menos su enfoque y objetivos, va a estar presente en nuestras vidas en los próximos años. La primera fase de Kyoto termina en 2012, pero ya se habla de la etapa de compromiso 2013-2017, con nuevas obligaciones y planteamientos probablemente aun más exigentes y ambiciosos. Así las cosas respondamos al desafío y aprovechemos la oportunidad para optimizar nuestro modelo de desarrollo, para innovar con calidad, para buscar nuevas alternativas energéticas y avanzar en un uso mas racional, para mejorar nuestra competitividad y generar mas y mejores empleos adecuados a los nuevos escenarios. Con seguridad todo esto supondrá un esfuerzo por el cambio y la adaptación, pero mirar para otro lado y no actuar supondría un coste aun mayor.

Pero además en el plano individual también podemos hacer mucho, la suma de millones de decisiones personales que afectan a nuestro estilo de vida y a nuestras pautas de consumo (en casa, en la oficina, en nuestras compras, en los desplazamientos) deberían tener en cuenta como contribuyen

a agravar este problema (como dice el refrán, grano no hace granero pero ayuda al compañero). Por ello debemos ser conscientes actuando de forma ambientalmente más responsable y contribuir decididamente a impulsar el consumo de productos y servicios limpios en términos ambientales: energía verde, transporte público, vehículos menos contaminantes, electrodomésticos más eficientes, etc...

CADA UNO DE NOSOTROS DEJA DIARIAMENTE UNA HUELLA ECOLÓGICA EN EMISIONES DE CO₂, DEMOSTRAR NUESTRO INTERÉS POR RESOLVER ESTE PROBLEMA ES EL MEJOR COMIENZO PARA ENCONTRAR LA SOLUCIÓN.

PARA SABER MÁS

Fuentes de información

En el complejo, politizado y dinámico campo del cambio climático y sus efectos la información existente puede disuadir e incluso confundir por su cantidad y variedad. Es recomendable que se consulten las fuentes originales de información y, ante la duda, es preferible siempre indagar en fuentes con base científica como las que se indican a continuación.

LO MÁS BÁSICO PARA COMPRENDER UN POCO MÁS: BIBLIOGRAFÍA

European Environment Agency (2004). *Impacts of Europe's changing climate*. EEA Report N°2/2004

Moreno Rodríguez, J. M. (coord.) (2005). Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, OECC.

UNFCCC. *El calor aprieta*. Disponible en el portal español de la Convención sobre Cambio Climático: www.unfccc.int (ver "Información básica")

UNFCCC (2003). *Cuidar el clima. Guía de la Convención sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto*. www.unfccc.int

UNEP/UNFCCC (2002). *Cambio climático. Carpeta de información*. www.unfccc.int

VVAA (2005) El cambio climático. Proyecto CLARITY. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. CD Rom

...y para profundizar y conocer más datos:

a) **Internet.** Dado la naturaleza dinámica de la información en este campo es muy recomendable visitar periódicamente alguna de las siguientes páginas.

- La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 1988. Se trata de un grupo abierto a todos los Miembros de las Naciones Unidas y de la OMM. El IPCC es el principal órgano internacional de referencia en cambio climático y hace una evaluación periódica del estado del conocimiento. Actualmente está disponible el tercer informe realizado en 2001 y que se articula en tres secciones, la base científica, impactos y su mitigación. Los documentos originales están en inglés, pero hay buenos resúmenes en castellano en <http://www.ipcc.ch/languageportal/spanishportal.htm>
- La página de la Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC de las siglas en inglés) presenta información en inglés sobre el marco internacional, los convenios, acuerdos y protocolos como el de Kyoto que quedan bajo su directa responsabilidad (<http://unfccc.int>). Tiene una sección en español en http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php
- La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millenium Assessment, MA) es un programa de trabajo internacional diseñado para dar a gestores, políticos y público en general información científica sobre las consecuencias de los

cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las opciones de respuesta frente a esos cambios. El cambio climático queda enmarcado dentro de los demás motores del cambio global. Los informes están en inglés, pero hay versiones en español. Acaba de hacerse pública una evaluación integrada (Synthesis report) que puede consultarse en <http://www.millenniumassessment.org/>

- La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, <http://www.eea.eu.int>) publica informes periódicos de gran interés, algunos traducidos al castellano. Particularmente útil es el informe de cambio climático publicado en agosto de 2004 (EEA Report 2 2004). Información en español se puede obtener en <http://reports.es.eea.eu.int/>
- La Oficina Española de Cambio Climático, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente, tiene una página web con información actualizada (<http://www.mma.es/oecc>). De momento lo más interesante es la extensa Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático de la que pueden descargarse los capítulos en <http://www.mma.es/oecc/impactos2.htm>
- El informe sobre el cambio climático y sus impactos realizado en Portugal, muy completo, en inglés, y cuya segunda fase está en curso, puede consultarse (y descargarse los capítulos) en <http://www.siam.fc.ul.pt>
- La página de Greenpeace (<http://archivo.greenpeace.org/Clima/cambioclim.htm>) contiene buenos resúmenes sobre los tres informes del IPCC y también sobre el Protocolo de Kyoto.
- Una revista mensual en inglés sobre noticias variadas en relación al cambio climático gratuita y muy recomendable es Greenhouse Effect Research Today (<http://greenhouse-effect.researchtoday.net>)

b) Libros

Las bases para entender el clima y su variabilidad

- Uriarte-Cantolla, A. 2003. Historia del clima de la Tierra. Servicio General de Publicaciones del Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza, Bilbao. (*Detallada y amena explicación de las variaciones climáticas en nuestro Planeta. Una visión geológica y científica de las causas de variación y sus efectos así como de las técnicas para investigar climas pasados*).
- Aupí, V. 2004. Guía del clima de España. Editorial Omega, Barcelona. (*Un libro esencial para comprender la variabilidad climática de nuestro País, tanto en el tiempo como en el espacio, y algunas de sus causas últimas*).

Sobre el cambio climático. Los tres libros que se citan a continuación son buenas obras de iniciación a la complejidad del cambio climático, sus causas y sus efectos.

- Llebot, J. E. 1998. El cambio climático. Rubes Editorial S.L., Barcelona. (*Una guía corta, fresca y muy clara de los conceptos clave*)
- Chivelet, J. M. 1999. Cambios climáticos. Una aproximación al sistema Tierra. Mundo Vivo Libertarias, Madrid. (*Una buena revisión geológica y científica de los cambios ambientales de nuestro Planeta*).
- Velazquez de Castro, F. 2005. 25 preguntas sobre el cambio climático Ediciones Libertarias. Mundo Vivo, Madrid. (*Un excelente y actual repaso de las preguntas mas importantes y habituales*)

Informes del cambio climático y sus efectos. Con los tres informes que se mencionan a continuación, cuya información es muy concordante entre si y ha inspirado en buena medida este libro, se podrá profundizar en los impactos del cambio climático en nuestra región.

- Llebot, J. E., J. J. Sánchez, A. Queralt, J. Rodó y J. Roca. 2005. Informe del cambio climático en Cataluña: resumen ejecutivo. Generalitat de Catalunya, Barcelona. (*Un informe muy breve, más cargado de recomendaciones que de datos precisos*).
- Varios autores. 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. (*Un libro voluminoso y detallado que se puede descargar de internet capítulo a capítulo sin coste, ver enlaces arriba*).
- Santos, F. D., K. Forbes y R. Moita. 2002. Climate change in Portugal: scenarios, impacts and adaptation measures. Gradiva, Lisboa. (*El libro se puede descargar de internet sin coste, ver enlaces arriba*).

Políticas, convenios y el marco jurídico. Recomendable la revisión reciente: Martín-Arribas, J. J. 2005. La Unión Europea frente al fenómeno del cambio climático. Estudios y Monografías de la Universidad de Burgos, Burgos.

- Ayala-Carcedo, F.J. (2004). La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. RAM, Revista del Aficionado a la Meteorología, 21.Mayo de 2004.

En internet: <http://www.meteored.com/ram/numero21/cambio-climatico.asp>

- 2 Serrano, E.; Martínez de Pisón, E., Lampre, F. (2004) Desaparición de glaciares pirenaicos españoles. Cambio Climático a la vista. Greenpeace, Madrid
- 3 IPCC (2001). Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- 4 Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. Ver página X.
- 5 Moreno Rodríguez (coord.) (2005). Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, OECC
- 6 Munich Re, Annual review: Natural catastrophes 2004, disponible en internet: www.munichre.com/publications/302-04321_en.pdf
- 7 Ayala-Carcedo, F.J. (2004). Ya citado.
- 8 Peñuelas, J. Y Boada, M. (2003). A global change induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* (2003) 9, 131-140
- 9 Ver otros artículos de este mismo libro.
- 10 Estimación realizada para el periodo comprendido entre el 1 y el 20 de agosto