

PREVISIONES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO GLOBAL ¿SON SOSTENIBLES LAS TENDENCIAS OBSERVADAS?

ANTONIO CENDRERO UCEDA^{1,2}, VIOLA MARÍA BRUSCHI², JAIME BONACHEA PICO² Y JUAN REMONDO TEJERINA²

¹ Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

² DCITIMAC, Facultad de Ciencias, Universidad de Cantabria.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está hablando y escribiendo mucho sobre cambio climático y cambio global, con frecuencia como si fueran sinónimos, y también es frecuente ver que se expresan dudas (afortunadamente, cada vez menos) sobre la realidad de ese cambio. Por ello es oportuno formular de entrada algunas preguntas básicas

¿El cambio climático es real? Sí.

¿Hay influencia humana? Sí.

¿Ese cambio es dramático para el planeta? No.

¿Ha de ser motivo de preocupación para las personas? Sí, pero eso no debe hacer olvidar otras dimensiones, no climáticas y de magnitud superior, del cambio global.

Los cambios globales son bastante más que el cambio climático. Esos cambios afectan a una serie de rasgos y procesos de la superficie terrestre, unas veces relacionados de una u otra forma con el clima y otras independientes de este, como veremos más adelante. Pero los cambios ambientales en general son una parte consustancial del funcionamiento de los sistemas naturales. Desde el inicio de su existencia, la Tierra ha experimentado cambios, en ocasiones muy profundos, los sigue experimentando en el momento actual y seguirá haciéndolo en el futuro. Los seres vivos, como es bien sabido, se han ido adaptando a esos cambios, a través de modificaciones evolutivas y de la desaparición y aparición de especies. En ese sentido, desde el punto de vista del estado y el funcionamiento del planeta, no hay nada bueno ni malo en dichos cambios.

Ahora bien, el cambio global actual tiene una peculiaridad que representa una novedad en la historia de la Tierra. Por primera vez existe una especie, evidentemente la especie humana, cuya influencia sobre la biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera puede ser más significativa que la debida a los agentes naturales. Y, además, los cambios que esa especie produce de manera directa o indirecta representan riesgos importantes para el bienestar actual y futuro de, al menos, ciertos sectores o poblaciones de la misma. Por lo tanto, y justificando las respuestas dadas más arriba, aunque el cambio global actual no tenga para el planeta como tal consecuencias significativamente distintas que otros cambios anteriores, sí que puede ser grave desde el punto de vista humano, y por ello debe ser motivo de preocupación.

EL CAMBIO CLIMÁTICO PASADO Y RECIENTE

Ante la pregunta que con frecuencia se formula en tono de duda ¿está cambiando el clima? La respuesta es: sin duda, como siempre. La **figura 1** muestra las variaciones de temperatura acaecidas en distintos lapsos temporales, anteriores a la existencia del *Homo sapiens* o, al menos, a su capacidad de influir sobre el clima. Es evidente que las oscilaciones climáticas, de distinta amplitud y duración, han sido la norma, no la excepción. La **figura 2** muestra las variaciones de la temperatura media (para el planeta y para España) ocurridas desde el siglo XIX, que, como se aprecia claramente, son similares a las anteriores, con las lógicas diferencias de amplitud y duración, dado el lapso temporal considerado. No tiene por tanto ningún sentido expresar dudas sobre el cambio climático, ya

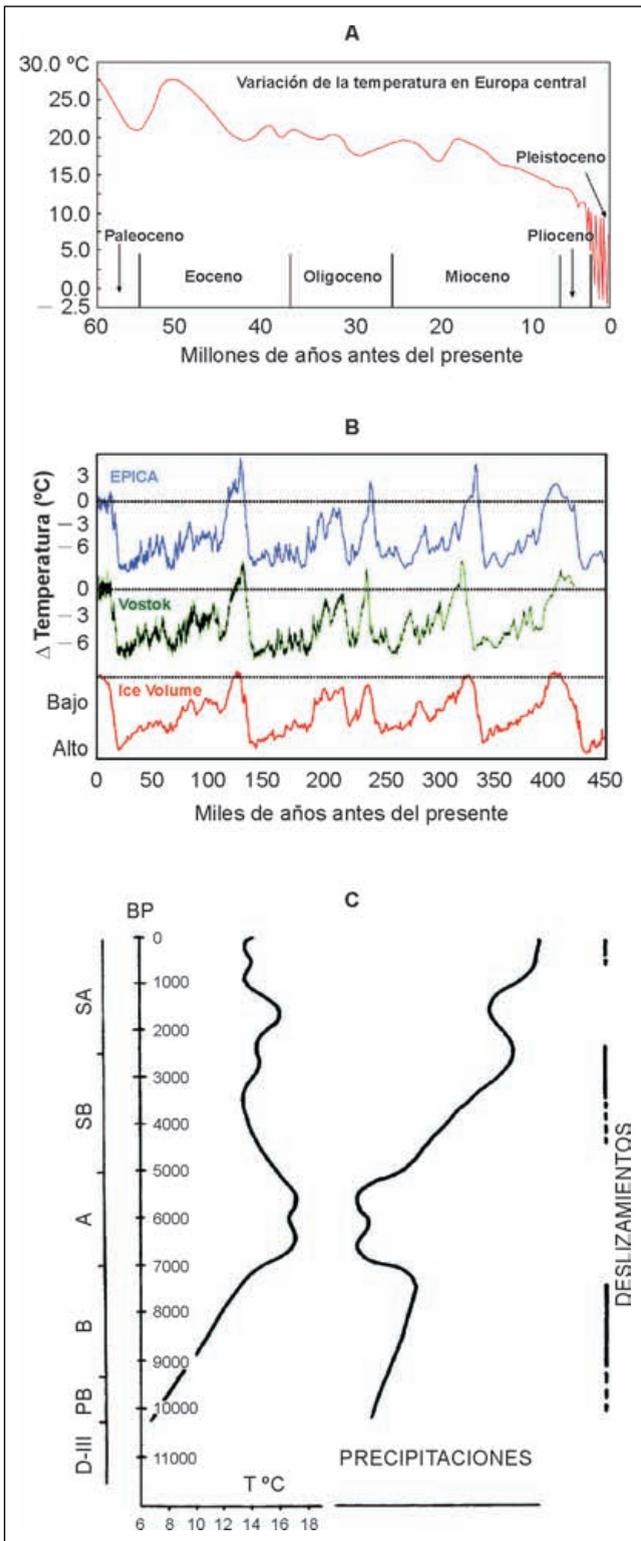


Figura 1. A. Variaciones de temperatura en Europa Central durante los últimos 60 millones de años. B. Cambios de temperatura en dos localidades de la Antártida durante los últimos 400.000 años, comparados con el volumen global de hielo. C. Cambios climáticos en la región cantábrica en los últimos 11.000 años (IPCC, 2007 y González-Díez et al. 1996).

que las gráficas mostradas son el resultado de observaciones y mediciones sobre una realidad objetiva y conocida desde hace tiempo.

Ahora bien, no es lo mismo *determinar* que algo ocurre que *explicar* por qué ocurre. Lo segundo presenta más incertidumbre y, en ese sentido, sí tiene una cierta lógica expresar dudas con respecto al grado de influencia humana en el cambio reciente observado. Las dudas, no obstante, se reducen apreciablemente cuando se observa la **figura 3**. Tal como se muestra en la figura, casi todos los componentes del sistema climático global están siendo modificados por la acción humana. Parece por tanto razonable concluir que esas modificaciones deben de estar afectando al clima. Muy especialmente, en lo que se refiere al efecto invernadero, resulta especialmente significativo el aumento de la concentración (debido a las actividades humanas) de los gases causantes del mismo durante los dos últimos siglos (**Fig. 4**). Si tenemos en cuenta la estrecha relación que ha existido en los últimos cientos de miles de años entre concentración de gases de efecto invernadero (GEI) y temperatura media del planeta (**Fig. 5**), también parece razonable pensar que esa relación debe continuar en la actualidad. Esa suposición, basada en evidencias de tipo empírico, se ve muy reforzada al comparar los resultados de las simulaciones obtenidas por medio de la aplicación de modelos con las observaciones sobre la temperatura media del planeta o de distintas regiones del mismo (**Fig. 6**). En esa figura se muestran las franjas dentro de las cuales se sitúan las variaciones de temperatura *predichas* por distintos modelos con las *constatadas* por medio de mediciones. Es evidente que el grado de coincidencia entre predicción y realidad es mucho mejor cuando se incorporan a los modelos los factores impulsores debidos a la acción humana, no solamente los impulsores naturales. En otras palabras, las evidencias científicas actuales apoyan fuertemente la idea de que la influencia humana es muy probablemente la principal responsable del cambio observado a lo largo del último medio siglo.

¿Cuales son en concreto esos agentes impulsores de origen humano? La **figura 7**, nos muestra las concentraciones atmosféricas de los tres principales GEI a lo largo de los dos últimos milenios, y la **figura 8** las emisiones de los mismos debidas a distintas actividades humanas, desde 1970. Pero no todos los GEI

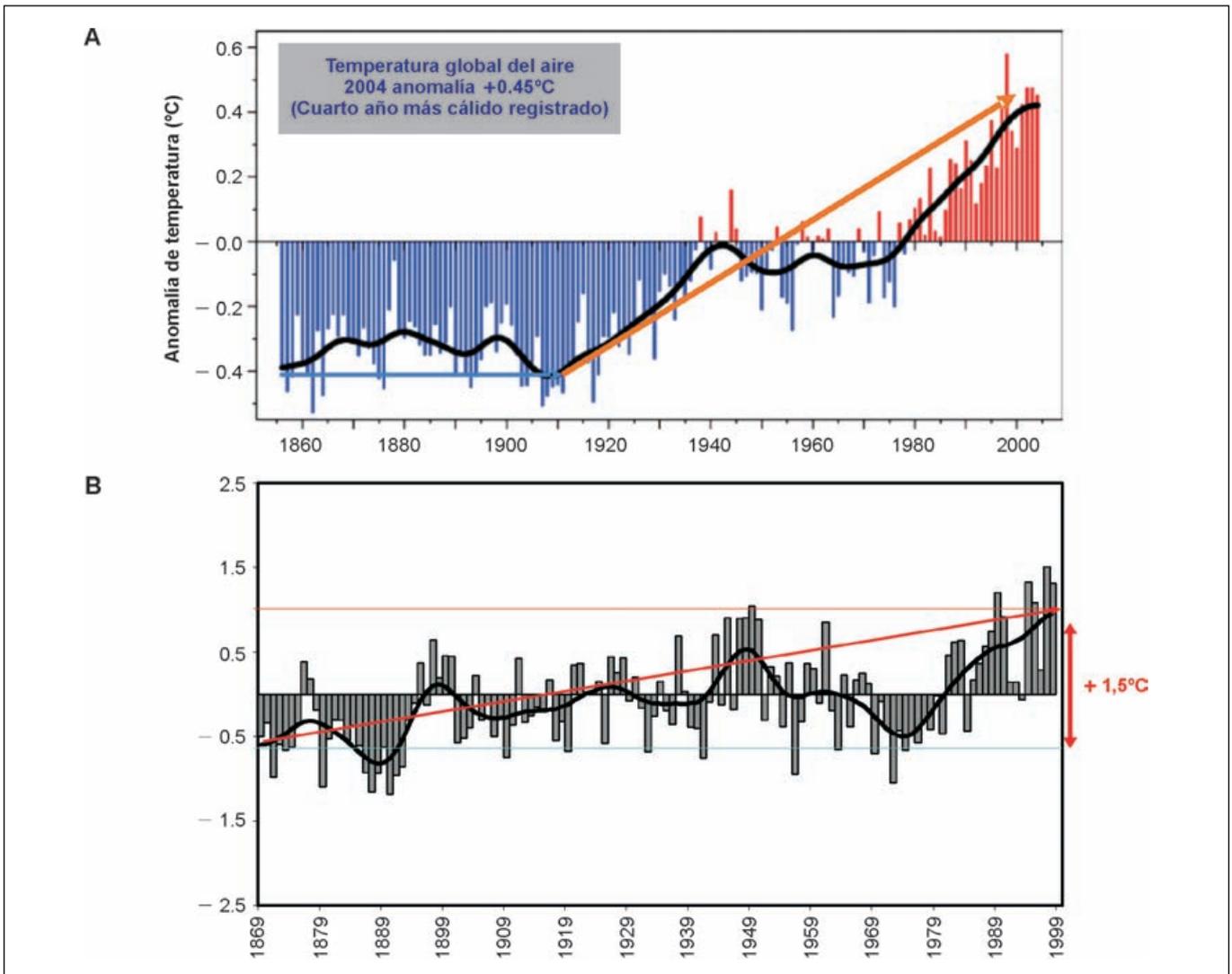


Figura 2. A. Variación de la temperatura media del aire en el planeta desde mediados del siglo XIX (IPCC, 2007). B. Anomalías absolutas de la temperatura media anual (°C) con respecto a la media del período 1961-1990 en el NE de España (1869-1998) (Moreno, 2005).

que se emiten permanecen en la atmósfera, sino que una parte de los mismos es eliminada por medio de “sumideros” naturales. En concreto, en el caso del CO_2 , aproximadamente un 25% de los gases emitidos son eliminados por los océanos y un 30% por los bosques, permaneciendo el 45% restante en la atmósfera. Eso explica la diferencia en las tendencias de aumento entre las *emisiones* y las *concentraciones* de CO_2 en la atmósfera, menos acusado en estas últimas (**Fig. 9**). En relación con las concentraciones de CO_2 , es interesante señalar que han ido aumentando de manera creciente en las últimas décadas. En los años setenta el aumento promedio fue de 1,3 ppm/año, en los ochenta 1,6 ppm/año, en los noventa 1,5

ppm/año y en el periodo 2000-2006 el crecimiento fue de 1,9 ppm/año (Canadell et al., 2007). Ese crecimiento, según los citados autores, se debió en parte a un aumento del 65% en la actividad económica, un 17% de aumento en la intensidad del uso de combustibles fósiles para la misma y una reducción del 18% en la eficiencia de los sumideros naturales.

MANIFESTACIONES Y CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Es decir, estamos ante un indudable aumento de las temperaturas, causado muy probablemente sobre todo

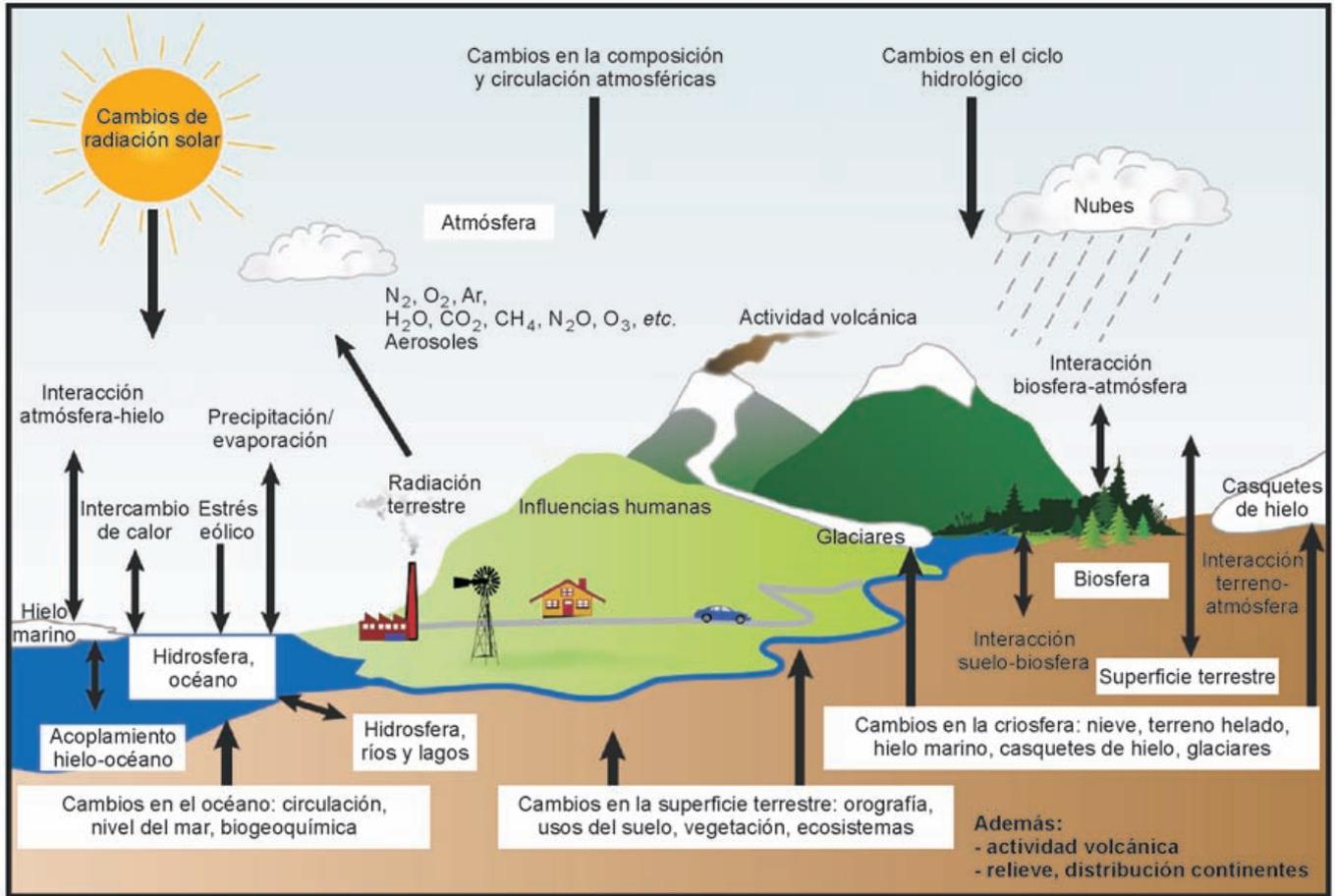


Figura 3. Representación esquemática de los componentes del sistema climático global, sus procesos e interacciones. (IPCC, 2007).

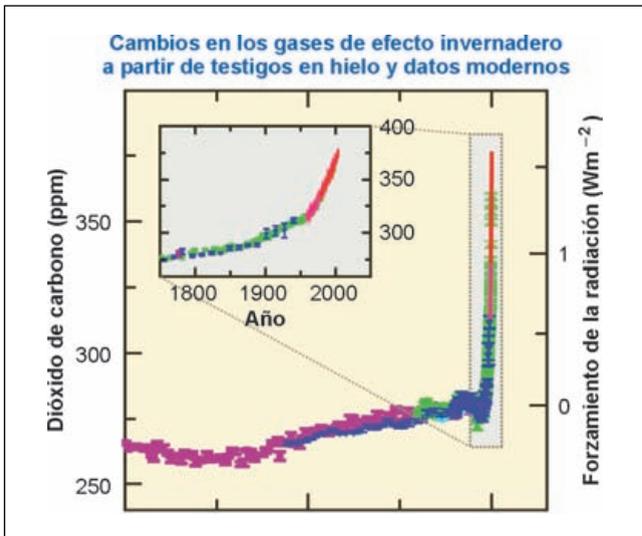


Figura 4. Concentraciones de CO_2 en la atmósfera durante los últimos 10.000 años (el recuadro muestra la ampliación para 1750-2000) y forzamientos correspondientes de la radiación (IPCC, 2007).

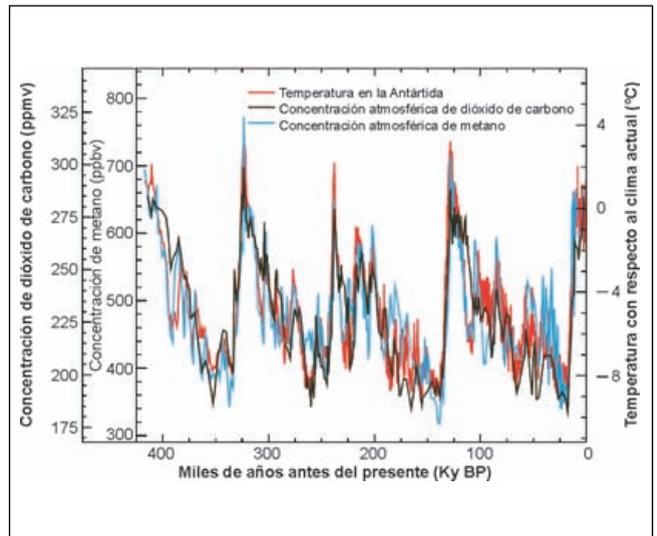


Figura 5. Variaciones de las concentraciones de dióxido de carbono y de metano, así como de la temperatura, deducidas a partir de testigos de hielo extraídos en la Antártida (IPCC, 2001).

por las actividades humanas, especialmente aquellas que dan lugar a las emisiones de GEI. Además, esas emisiones (y las concentraciones que se derivan de las mismas) han seguido en las últimas décadas una tendencia creciente. Ahora bien ¿cuales son las manifestaciones de esos aumentos en tiempos recientes? La **figura 10** muestra algunas de esas manifestaciones, que incluyen la bien conocida gráfica de variación de

la temperatura media del planeta (en la que se ve el aumento de esta es cada vez más rápido), así como el aumento del nivel medio del mar, la reducción de la cobertera de nieve y de la masa de los glaciares y una variación bastante más irregular de las precipitaciones, que se traduce en aumentos en unas regiones y disminuciones en otras. Asociados a lo anterior, como no podía ser de otra forma, se han producido toda una

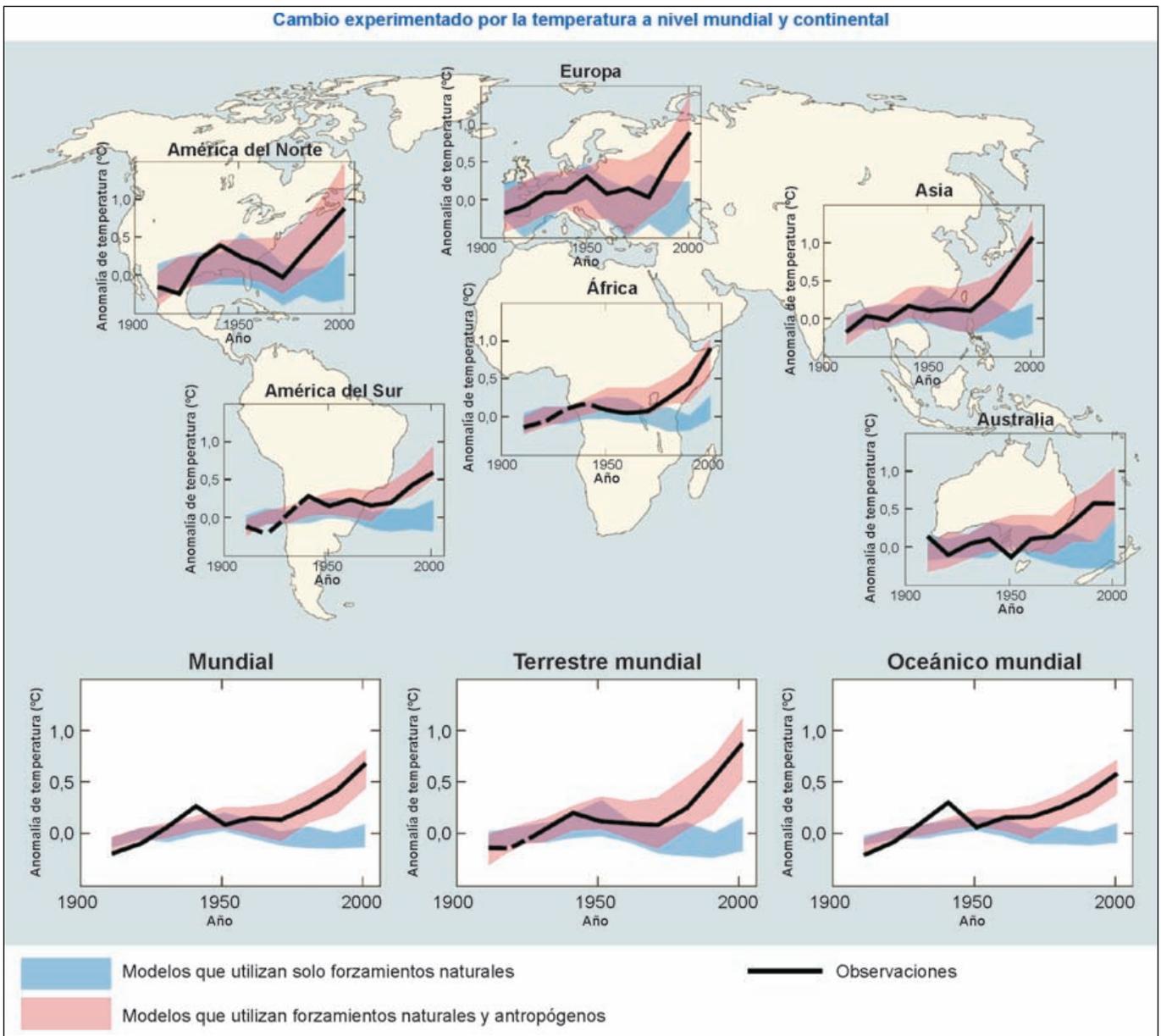


Figura 6. Variaciones de temperatura entre 1906 y 2005, con respecto a la media de 1901-1950, para los continentes y el conjunto del planeta. Las líneas negras muestran los valores medidos y las franjas coloreadas el rango dentro del cual se sitúan el 90% de los valores obtenidos a partir de las simulaciones con modelos. El color rojo corresponde a modelos que incluyen factores naturales y humanos y el azul a modelos que solo incluyen factores naturales. Se aprecia claramente que los primeros coinciden mejor con la realidad en todos los casos (IPCC, 2007).

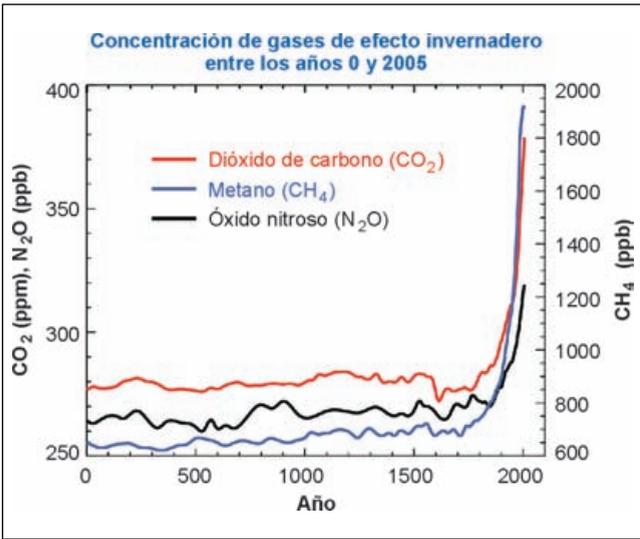


Figura 7. Concentraciones atmosféricas (en partes por millón y partes por billón) de los principales gases de efecto invernadero durante los últimos 2000 años. El aumento a partir de mediados del siglo XVIII se atribuye a las actividades humanas tras la Revolución Industrial (IPCC, 2007).

serie de cambios en los sistemas naturales, tanto en los procesos geológicos superficiales como en los organismos. La **figura 11** muestra, para distintas regiones del

mundo, la variación de temperatura media experimentada desde 1970 y el número de cambios detectados en los sistemas naturales, con indicación de cuales de estos son coherentes con el cambio térmico. Las cifras son elocuentes por sí mismas.

En conjunto, tenemos toda una serie de datos y observaciones que son coherentes entre sí. Se han detectado aumentos de la temperatura en la superficie terrestre y en la troposfera, en los valores de las temperaturas extremas y su frecuencia, en la temperatura de los océanos, en el contenido de vapor de agua en la atmósfera sobre los mismos y en el nivel medio del mar. Por otro lado, se han observado disminuciones de la masa de hielo en los casquetes de Groenlandia y la Antártida, la extensión de los hielos árticos y de la cobertera de nieve en el hemisferio norte, así como las dimensiones de la mayoría de los glaciares de montaña. Otros cambios incluyen variaciones en las trayectorias de las borrascas en el hemisferio norte, con un desplazamiento hacia latitudes superiores, aumento en la intensidad y duración de las sequías en ciertas regiones (como el ámbito mediterráneo), mayor frecuencia de los episodios de precipitaciones intensas,

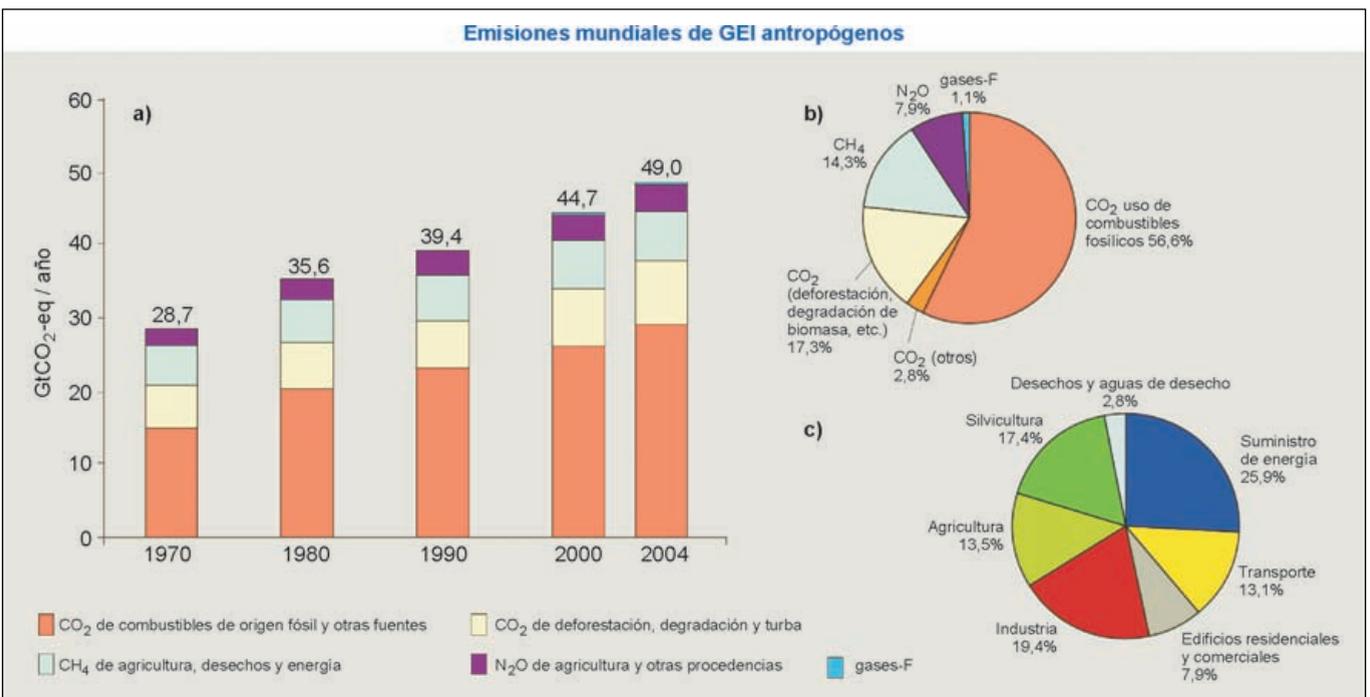


Figura 8. a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropogénicos entre 1970 y 2004.5 b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropogénicos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004, en términos de CO₂ equivalente. En el sector silvicultura se incluye la deforestación (IPCC, 2007).

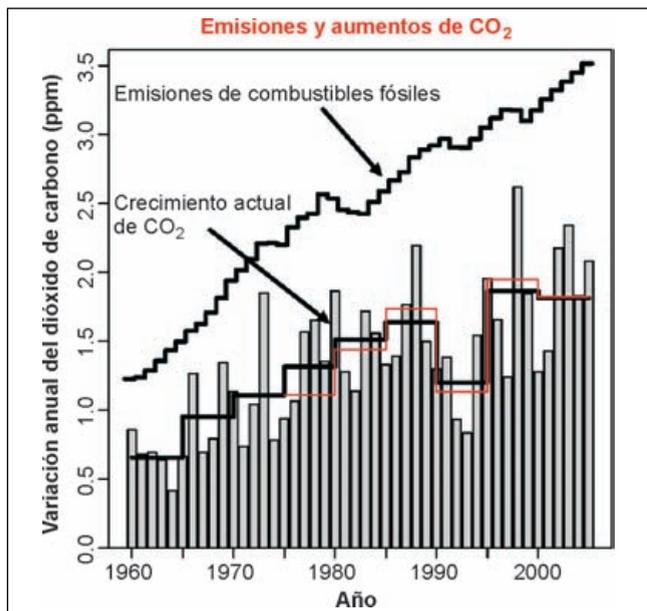


Figura 9. Variaciones anuales de la concentración de CO₂ en la atmósfera (barras) y medias quinquenales, a partir de datos de dos redes de medida distintas. La línea superior muestra las concentraciones que se producirían si todas las emisiones derivadas de los combustibles fósiles permanecieran en la atmósfera y no hubiera otras emisiones (IPCC, 2007).

ciclones tropicales más intensos y, finalmente, toda una serie de modificaciones de tipo biológico que parecen responder a los cambios anteriores.

¿EL FUTURO?

Ahora bien, una cosa es tener una serie numerosa de observaciones sobre hechos ya ocurridos y una explicación bien fundamentada para las mismas, y otra muy distinta estar en disposición de hacer predicciones seguras sobre como va a evolucionar el proceso en el futuro. La incertidumbre con respecto a las observaciones es relativamente pequeña; es algo mayor en lo que se refiere a las causas de los hechos observados si bien, como señala el IPCC (2007), el grado de probabilidad de que la explicación propuesta sea cierta es superior al 90%. Sin embargo, la incertidumbre aumenta considerablemente en lo que se refiere a las extrapolaciones y previsiones para el futuro.

Las razones de esa incertidumbre son varias. La resolución espacial de los modelos climáticos no es todo lo buena que sería de desear. Tampoco se tiene una comprensión completa de algunos de los mecanis-

mos que influyen en los procesos climáticos, por lo que los modelos no los incorporan de manera totalmente satisfactoria. Existe igualmente escasez de datos sobre algunas variables para ciertas zonas del mundo. Pero posiblemente mucho más importante que lo anterior (esas carencias se van paliando progresivamente) es la incertidumbre con respecto a las fuerzas motrices del conjunto del proceso, que son de naturaleza social y económica. El principal impulsor de los cambios descritos son los GEI, y la emisión de los mismos está estrechamente relacionada con los comportamientos sociales y el tipo de modelo productivo existentes. Sobre esto las predicciones son siempre arriesgadas y el margen de incertidumbre considerable. Simplemente echando la mirada hacia la situación existente hace 30 o 40 años podemos darnos cuenta de la dificultad que entraña intentar prever los desarrollos tecnológicos o los cambios político-sociales que pueden producirse de aquí a finales del presente siglo, y esos cambios van a ser los que determinen la evolución del proceso.

Para abordar esa incertidumbre el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha acudido a la formulación de una serie de *escenarios*, de tipo socio-económico (**Fig. 12**), en función del predominio de unos u otros posibles modelos de comportamiento social y de sistemas productivos. Esos escenarios se corresponden con diferentes niveles de emisiones de GEI y, consecuentemente, de aumento de temperatura (**Fig. 13**). Los aumentos de temperatura derivados de los posibles escenarios tendrían su reflejo en el aumento del nivel del mar, precipitaciones, frecuencia, duración e intensidad de las sequías, etc (**Fig. 14**). Algunos de los cambios esperables (si se materializa el escenario correspondiente) pueden tener importantes consecuencias para la población, como se muestra en la **figura 15**. En el caso concreto de España, los análisis realizados por el Ministerio de Medio Ambiente en 2005 (Moreno, 2005), muestran igualmente que las consecuencias de varios de los escenarios citados pueden ser graves (**Fig. 16**).

En cualquier caso, conviene insistir en que es enormemente arriesgado hacer predicciones sobre cual va a ser el escenario que finalmente se materialice. Los procesos de negociación que se están llevando a cabo en el ámbito internacional y las políticas formuladas en una serie de países van encaminados, en principio, a

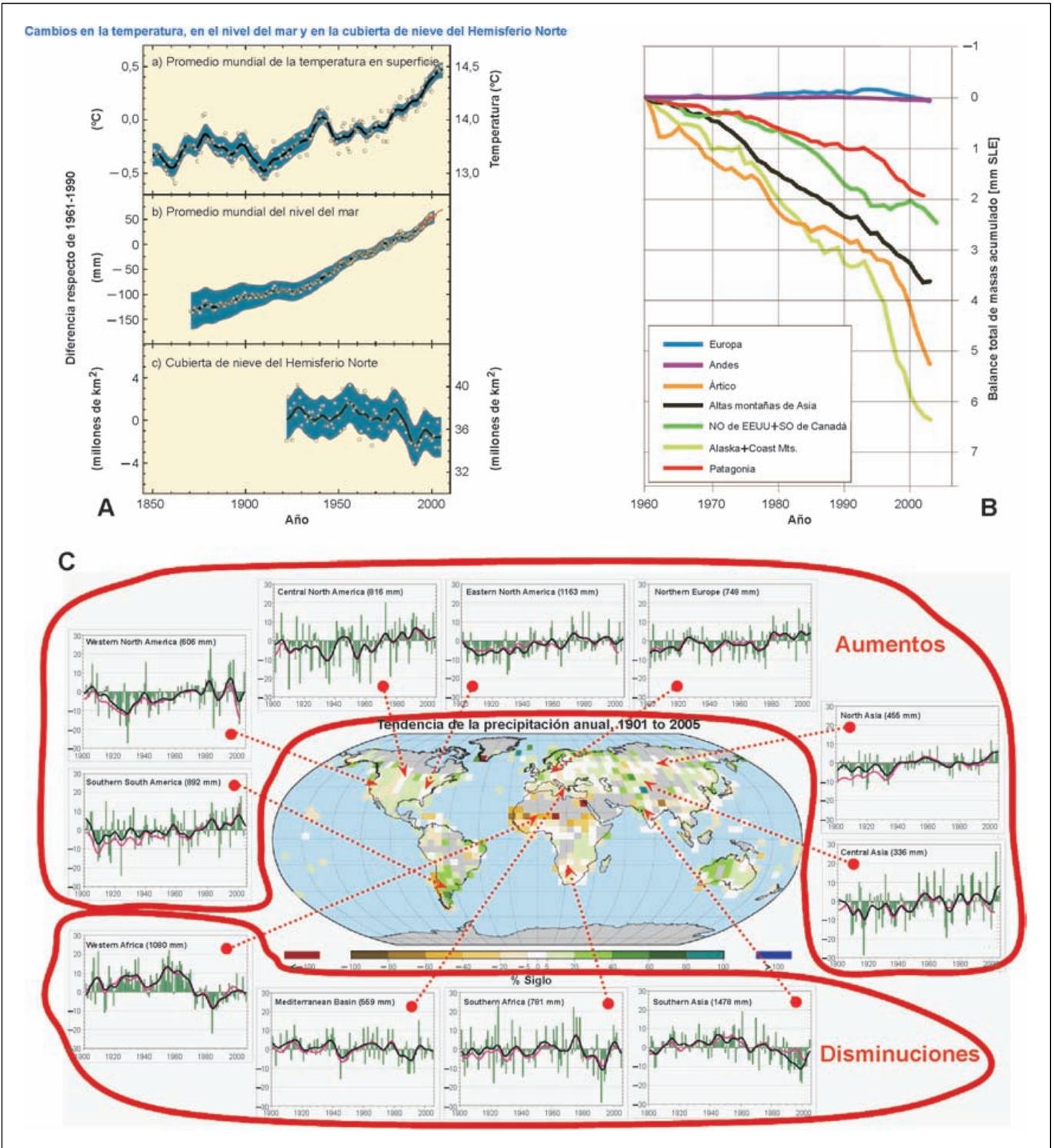


Figura 10. A. Variaciones observadas de: a) promedio mundial de las temperaturas en superficie; b) promedio mundial del nivel del mar a partir de datos de mareógrafos (azul) y satelitales (rojo); y c) la cubierta de nieve del Hemisferio Norte durante marzo-abril. Todas las diferencias han sido calculadas respecto a los promedios correspondientes durante el período 1961-1990. Las curvas alisadas representan los valores promediados decenalmente, mientras que los círculos denotan los valores anuales. Las áreas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre estimados a partir de un análisis completo de las incertidumbres conocidas (a y b) y de la serie temporal c). B. Balance acumulado de la masa de hielo en glaciares y casquetes para distintas regiones. C. Precipitaciones para el período 1900-2005 en distintas regiones. El mapa central muestra las tendencias anuales promedio (% por siglo) (IPCC, 2007).

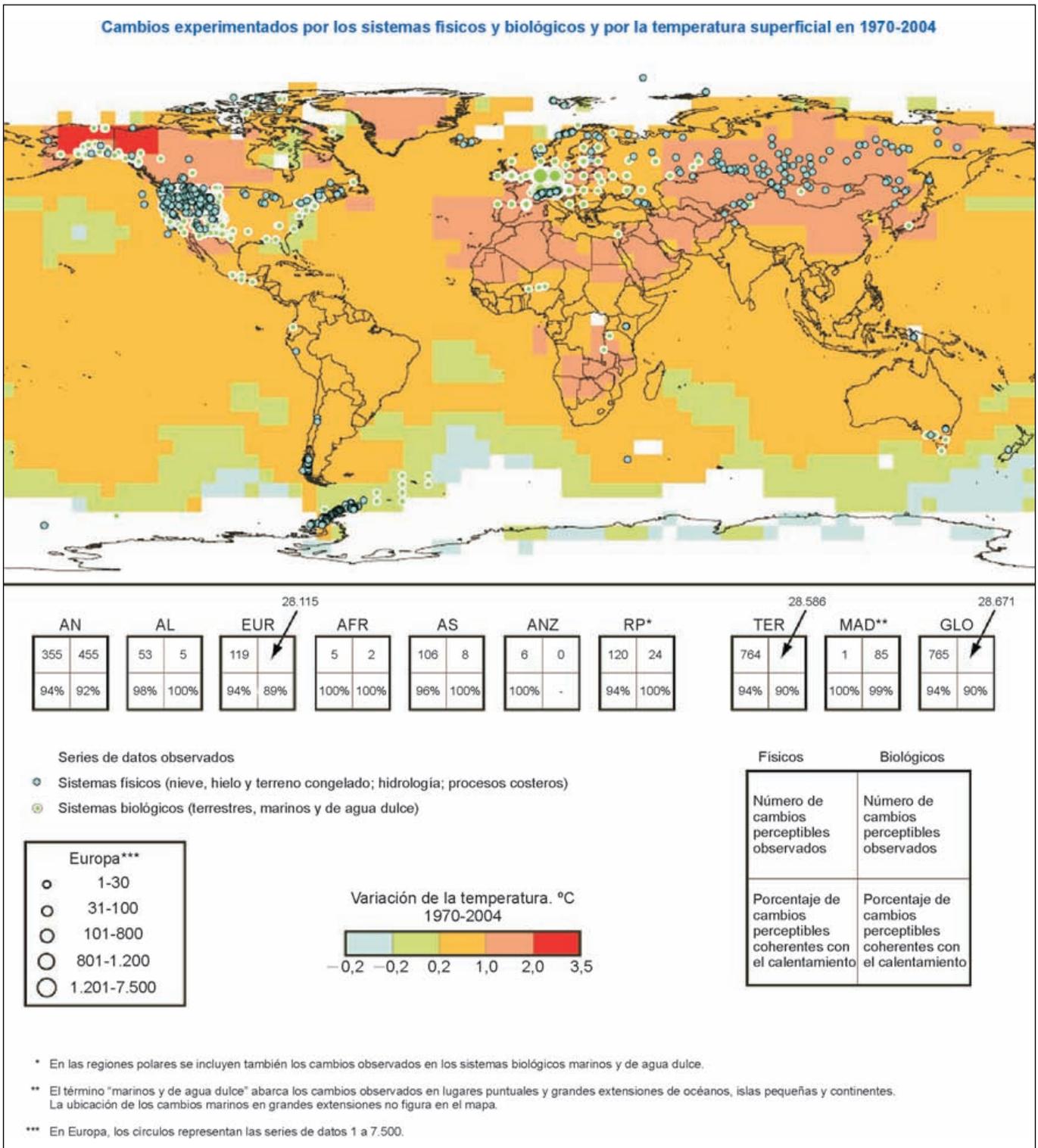


Figura 11. Variación de la temperatura del aire en superficie entre 1970 y 2004 y su comparación con cambios significativos constatados en los sistemas físicos (nieve, hielo y terreno congelado; hidrología; y procesos costeros) y biológicos (sistemas biológicos terrestres, marinos y de agua dulce), basada en 29.000 series de datos. Los recuadros indican, para las distintas regiones del mundo, el número total de series de datos que exhiben cambios significativos (hiler superior) y el porcentaje de ellas que concuerda con el calentamiento (hiler inferior). Regiones continentales: América del Norte (AN), América Latina (LA), Europa (EUR), África (AFR), Asia (AS), Australia y Nueva Zelanda (ANZ), y regiones polares (RP). A escala mundial: extensiones terrestres (TER), marinas y de agua dulce (MAD), y globales (GLO) (IPCC, 2007).



Figura 12. Escenarios de emisiones (SRES) en función de distintas posibles combinaciones de comportamientos socioeconómicos (IPCC, 2007).

lograr que la realidad se aproxime a escenarios tipo B1 (Fig. 13). Pero es bien conocida la diferencia que existe entre la formulación de intenciones y su plasmación en realidades, especialmente en el ámbito de la política internacional y de los intereses de los estados (por no hablar de los comportamientos individuales). Lo que sí es cierto es que algunos datos muestran que la realidad observada en tiempos recientes supera las

previsiones de los escenarios más negativos (Fig. 17). Eso, naturalmente, tampoco quiere decir que la evolución futura vaya a seguir necesariamente esa pauta.

OTRAS DIMENSIONES DEL CAMBIO GLOBAL

Pero además de los cambios anteriores hay otros que afectan al conjunto del planeta y que no se deben a modificaciones del clima, pero producen efectos que pueden contribuir a acentuar las consecuencias de aquel. A modo de ejemplo se puede citar la extinción de especies. Es bien conocido que el cambio climático pone en peligro la supervivencia de algunos ecosistemas y especies animales o vegetales. Sin embargo, actividades que no tienen nada que ver con el clima, como los cambios de uso del suelo, la fragmentación de hábitats, la extensión de la agricultura o silvicultura intensivas, el uso de agroquímicos, la generación de

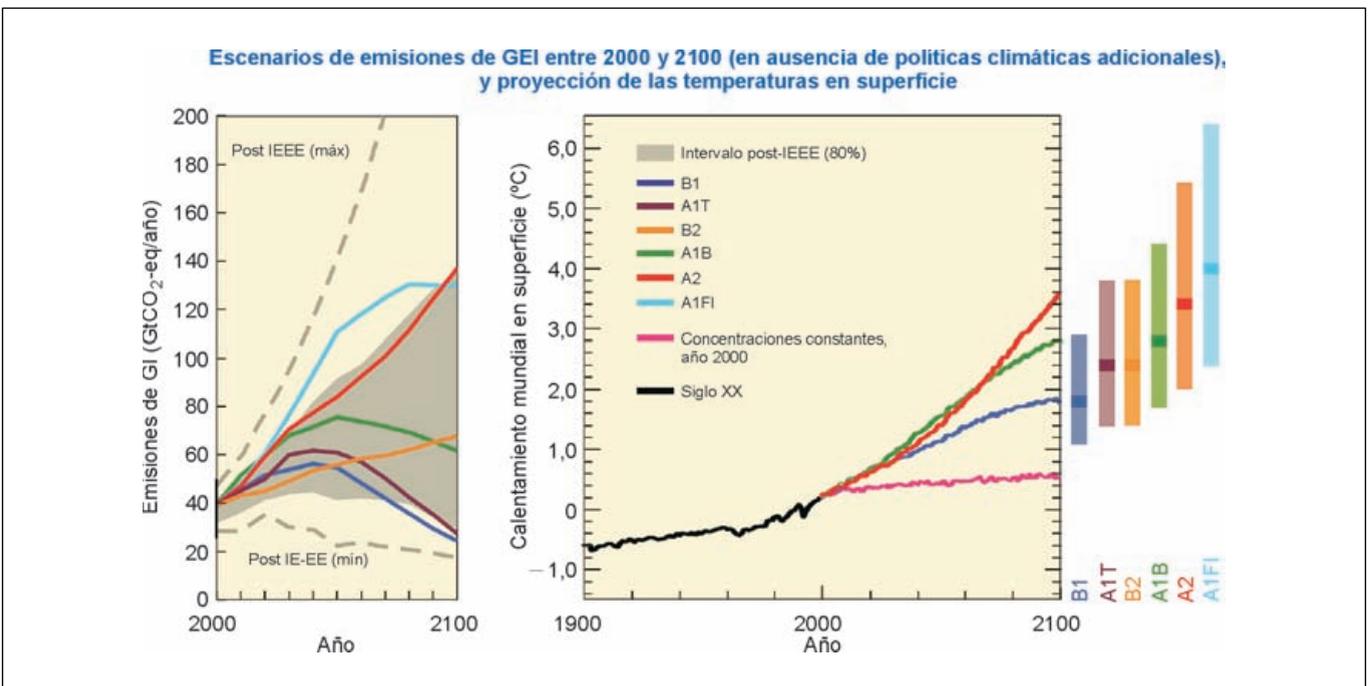


Figura 13. Gráfica izquierda: Emisiones mundiales de GEI (CO₂-eq) en ausencia de políticas climáticas: seis escenarios testimoniales ilustrativos (líneas de color), junto con el percentil 80 de escenarios recientes (área sombreada en gris). Gráfica derecha: las líneas continuas representan promedios mundiales multimodelo del calentamiento en superficie para los escenarios A2, A1B y B1 (Fig. 12), representados como continuación de las simulaciones del siglo XX. Estas proyecciones reflejan también las emisiones de GEI y aerosoles de corta permanencia. La línea rosa no es un escenario, sino que corresponde a simulaciones en las que las concentraciones atmosféricas se mantienen constantes en los valores del año 2000. Las barras de la derecha indican la estimación óptima (línea continua dentro de cada barra) y el intervalo probable evaluado para los seis escenarios testimoniales en el período 2090-2099. Todas las temperaturas corresponden al período 1980-1999. (IPCC, 2007).

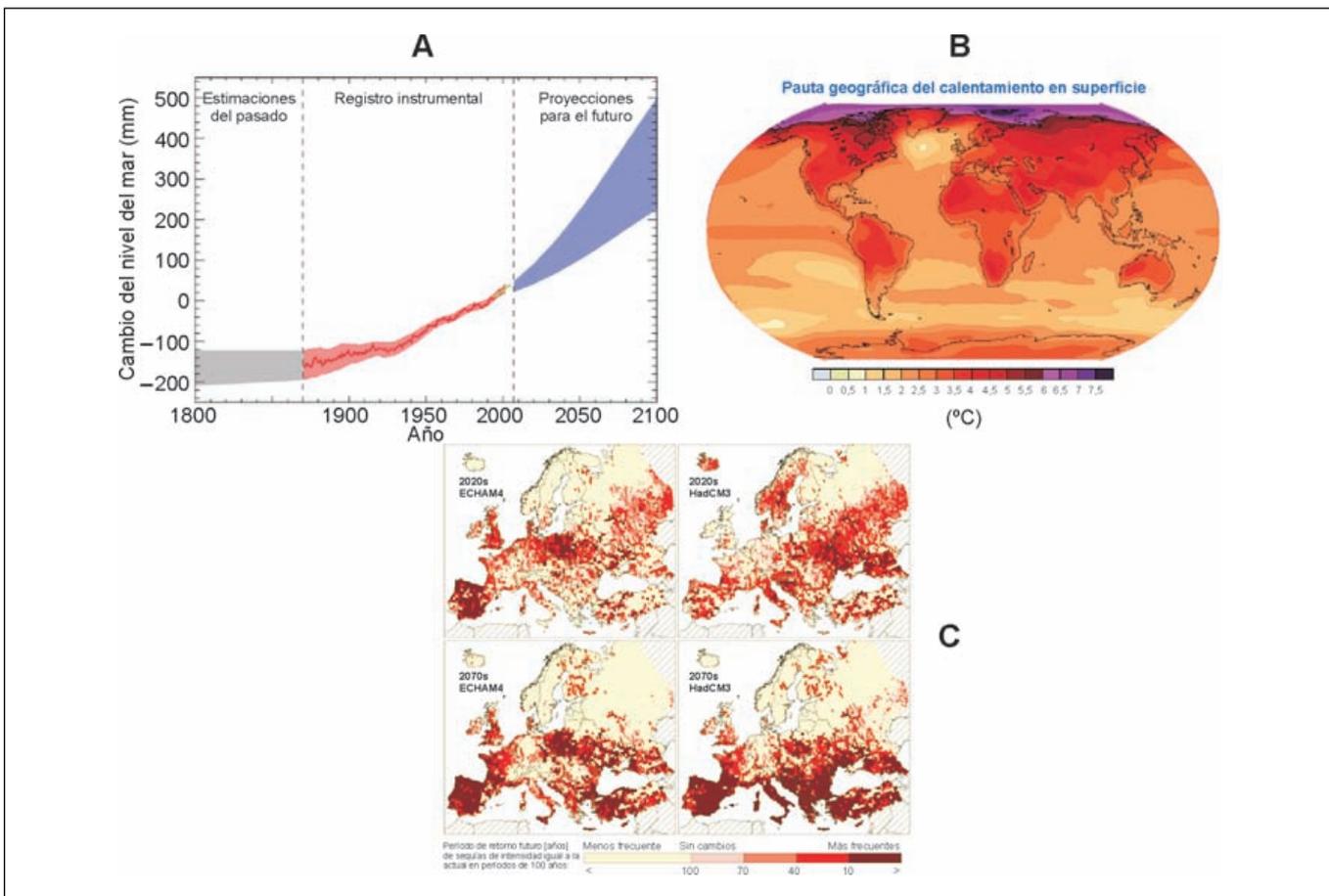


Figura 14. A. Variaciones del nivel medio del mar a nivel global (desviación con respecto a la media de 1980-1999) en el pasado y su proyección hacia el futuro. Para fechas anteriores a 1870 no hay medidas de ámbito global. El sombreado gris muestra la incertidumbre en las estimaciones de la variación del nivel marino pasado. La línea roja es el nivel medio determinado a partir de datos de mareógrafos y el sombreado rojizo el intervalo de variación. El sombreado azul muestra el rango de las proyecciones para el escenario A1B (Fig. 12), en relación con la media de 1980-99, calculado con independencia de las observaciones. **B.** Cambios de la temperatura superficial proyectados para finales del siglo XXI (2090-2099). Se indica en el mapa la proyección multimodelo promediada para el escenario A1B. Todas las temperaturas tienen como referencia el período 1980-1999. **C.** Cambio de la recurrencia futura de sequías por períodos de 100 años, basada en comparaciones entre el clima y el uso de agua en 1961-1990 (IPCC, 2007).

residuos de todo tipo o la sobre-explotación de pastos y caladeros, están teniendo ya sobre los sistemas biológicos, a nivel global, consecuencias mayores que las esperables como consecuencia del cambio climático.

Otro ejemplo es el relativo a los efectos del cambio climático en las costas. Entre las principales consecuencias del cambio climático en estas zonas se encuentran la previsible reducción o pérdida de playas, el retroceso de deltas o la desaparición de humedales como consecuencia de la elevación del nivel del mar. Pero, tal como se ha señalado en el informe ECCE (Moreno, 2005), ciertas actividades humanas, también independientes del clima, están produciendo efectos

similares o superiores a los que se pueden atribuir a un futuro ascenso del nivel del mar. Así, la construcción de embalses y la regulación de cuencas fluviales, está dando lugar en el litoral mediterráneo español a una reducción de los caudales y de la cantidad de sedimento que llega a las costas. Ese déficit de sedimentos hace que los arrastres debidos a la dinámica litoral no se puedan compensar con sucesivos aportes, lo que da lugar a un retroceso importante en numerosas playas o en el delta del Ebro (Sánchez Arcilla et al., 1998). Situaciones similares se han descrito en numerosos lugares del mundo (Slaymaker et al., 2009).

El ascenso del nivel del mar también puede implicar la pérdida, por anegamiento, de humedales

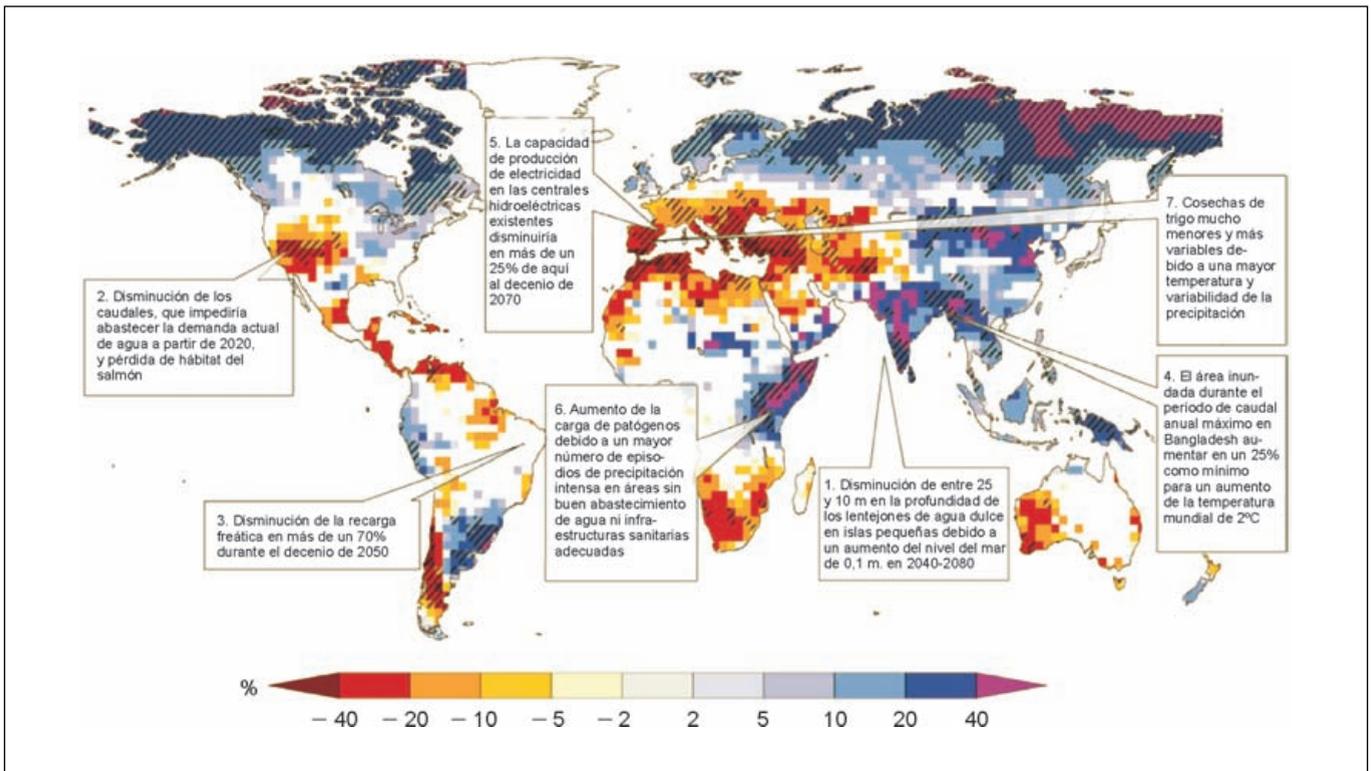


Figura 15. Mapa indicativo de los impactos futuros del cambio climático relacionados con el agua dulce que amenazan el desarrollo sostenible de las regiones afectadas. Las áreas de color azul (rojo) denotan un aumento (disminución) de la escorrentía anual (IPCC, 2007).

litorales que no tengan capacidad de migrar tierra adentro, por estar confinados por barreras naturales o artificiales. No obstante, la principal causa del deterioro o desaparición de humedales es la desecación o relleno de los mismos para distintos usos, especialmente los que se relacionan con la expansión de los centros urbano-industriales y turísticos. En el caso concreto de Cantabria y País Vasco, dichos procesos han implicado la ocupación, desde la segunda mitad del siglo XIX, de aproximadamente el 50% de los humedales y zonas intermareales existentes en esa fecha (Rivas y Cendrero, 1991), con la consiguiente desaparición de los que seguramente son los ecosistemas de más alta productividad biológica de la región (Cendrero et al., 1981). Este tipo de proceso no es en absoluto excepcional, sino que se ha dado en muchas otras zonas costeras (Cendrero y Charlier, 1989).

Otra consecuencia del proceso de ocupación de humedales y zonas intermareales es el aumento de los riesgos ante el eventual ascenso del nivel del mar. La **figura 18** muestra las zonas sujetas a relleno, desecación o aislamiento en los litorales de Cantabria,

Vizcaya y Guipúzcoa, que se sitúan a menos de 1 m de altura sobre el nivel de la pleamar. Se ha estimado que una elevación del nivel medio del mar de 50 cm (que está dentro de lo considerado probable para el presente siglo por parte del IPCC) afectaría a unos 24 km², sobre los que existen bienes por un valor total de unos 820 millones de dólares (Rivas y Cendrero, 1995). Se trata de la situación y los valores correspondientes a 1990; los valores actuales serían muy superiores. Si el ascenso fuera de 1 m (poco probable dentro de este siglo) las cifras serían, respectivamente, 79 km² y 8370 millones de dólares (también valores de 1990). Este ejemplo ilustra claramente como algunos cambios debidos a procesos humanos que no afectan al clima pueden incrementar los efectos negativos del cambio climático.

En resumen y tal como se señala en el informe sobre “Evaluación del impacto del cambio climático en España (ECCE; Moreno, 2005), aunque hay incertidumbres sobre la magnitud de los cambios futuros en las zonas costeras, y aún más sobre sus efectos, estos son potencialmente serios y deben tomarse con antici-

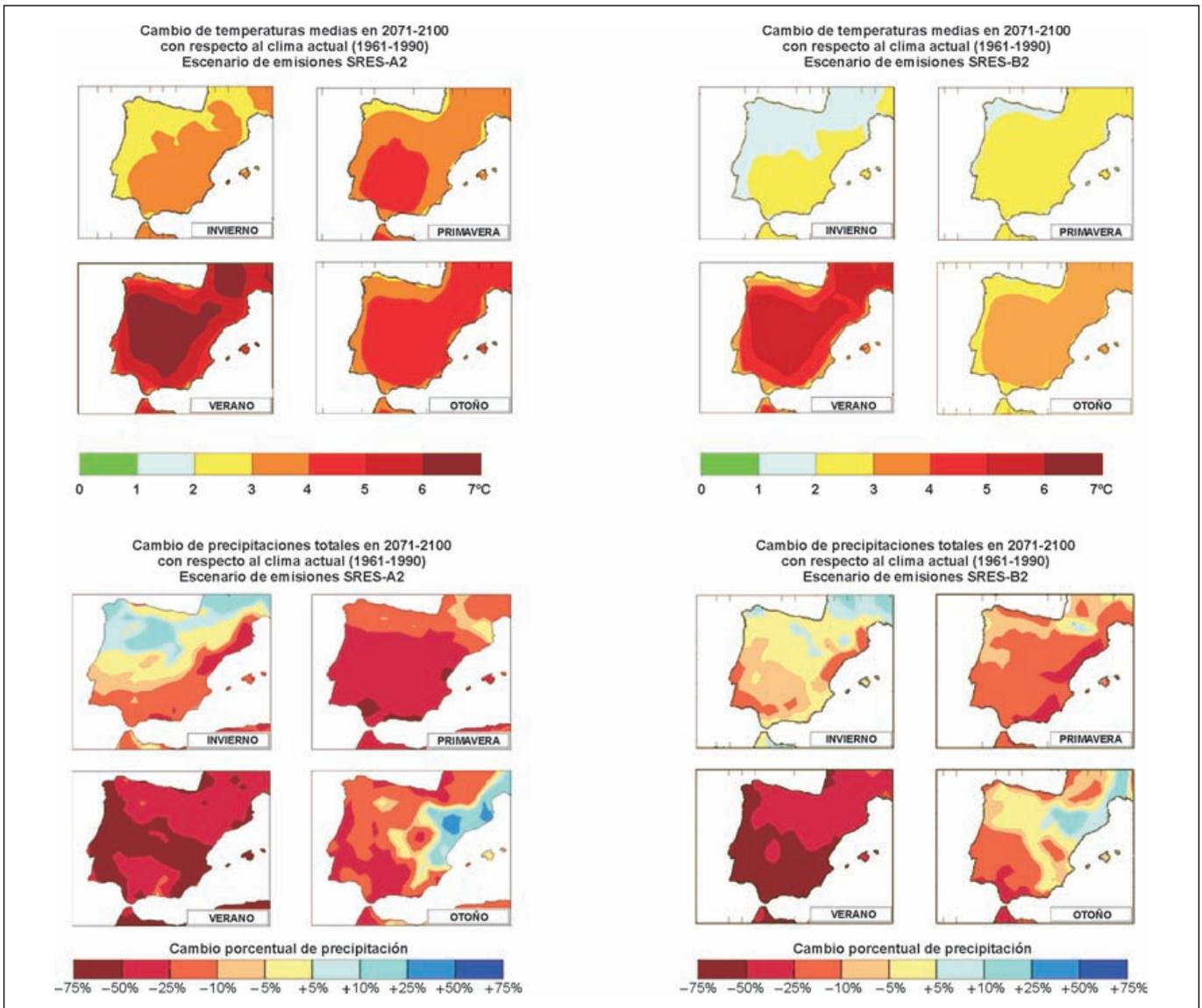


Figura 16. Previsiones de cambios de temperatura y precipitación en España según el modelo PROMES anidado en HadCM3. (Moreno, 2005).

pación medidas para mitigarlos. Sin embargo, es indudable el efecto positivo de atajar otros procesos de origen humano (sobre los que la incertidumbre es mucho menor), lo que muy probablemente sería más importante para un uso sostenible de esas zonas.

La otra dimensión del cambio global que merece ser considerada es la dimensión geomorfológica y sus implicaciones para los riesgos naturales. De acuerdo nuevamente con lo que se indica en el análisis ECCE (Moreno, 2005), el cambio climático muy probablemente dará lugar en España a mayor irregularidad en las precipitaciones, con un aumento en la frecuencia o

la intensidad de los episodios de fuertes lluvias. Esto, evidentemente, incrementaría el peligro debido a deslizamientos de tierras e inundaciones, los que se ha dado en llamar “riesgos hidrogeomorfológicos”. Nuevamente nos encontramos con procesos muy sujetos a la influencia de actividades humanas ajenas al clima. En concreto, todas las actividades que implican cambios de uso del suelo y destrucción de la cobertura vegetal, muy especialmente las relacionadas con la extracción de rocas y minerales, la expansión urbano-industrial y la construcción de infraestructuras, ocasionan una fuerte modificación de los procesos hidrológicos superficiales y de la estabilidad de la capa

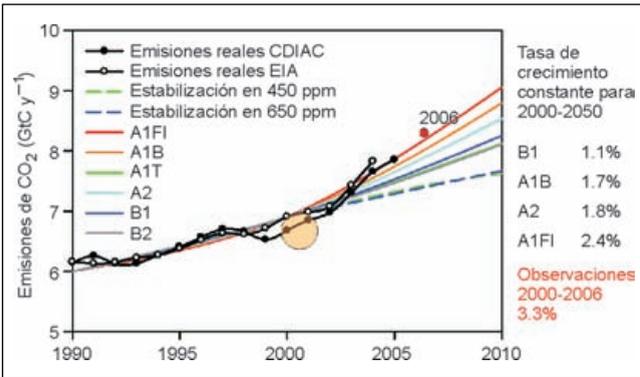


Figura 17. Variaciones observadas en las emisiones de CO₂ y proyecciones de acuerdo con distintos escenarios, considerando crecimientos constantes hasta 2050. Los datos observados en 2006 superaron la previsión más pesimista (Canadell et al. 2007).

superficial del terreno, con consecuencias en los procesos de denudación, deslizamiento de laderas, generación de sedimento e inundaciones (Cendrero et al., 2006a).

Estas son algunas de las consecuencias de lo que se ha llamado la “huella geomorfológica humana (HGH, o HGF si se utiliza el acrónimo en inglés)” (Rivas et al., 2006; Cendrero et al., 2006b), un concepto que se relaciona con el de “huella ecológica” pero que tiene un significado muy distinto. La HGH se expresa como superficie de geoformas de origen antrópico construidas y como volumen de materiales geológicos movilizados directa o indirectamente por las citadas actividades (por excavación/acumulación deliberada o

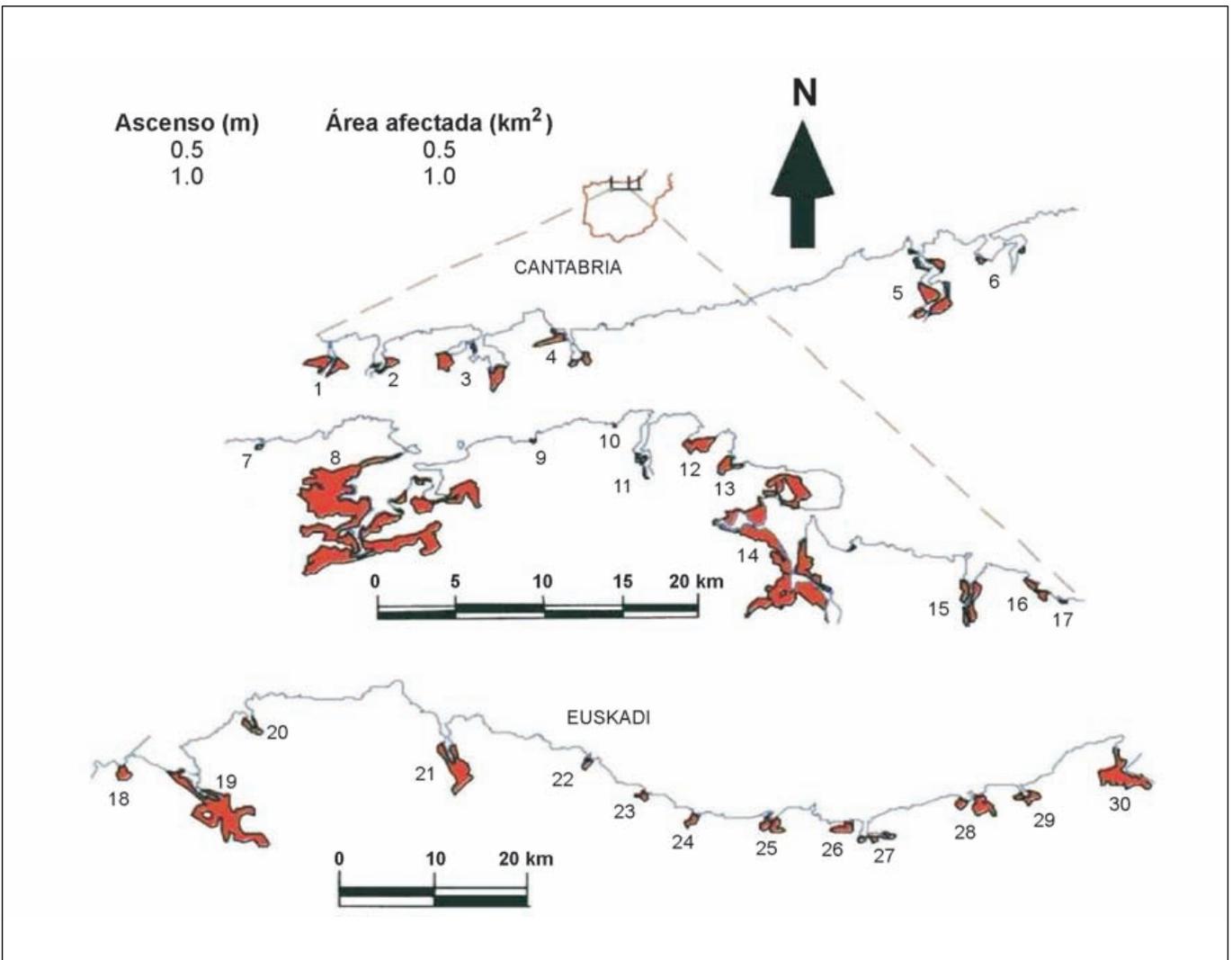


Figura 18. Zonas costeras de Cantabria y País Vasco afectables por ascenso del nivel del mar. La mayoría de ellas corresponden a antiguas marismas y zonas intermareales desecadas o rellenadas (Rivas y Cendrero, 1991).

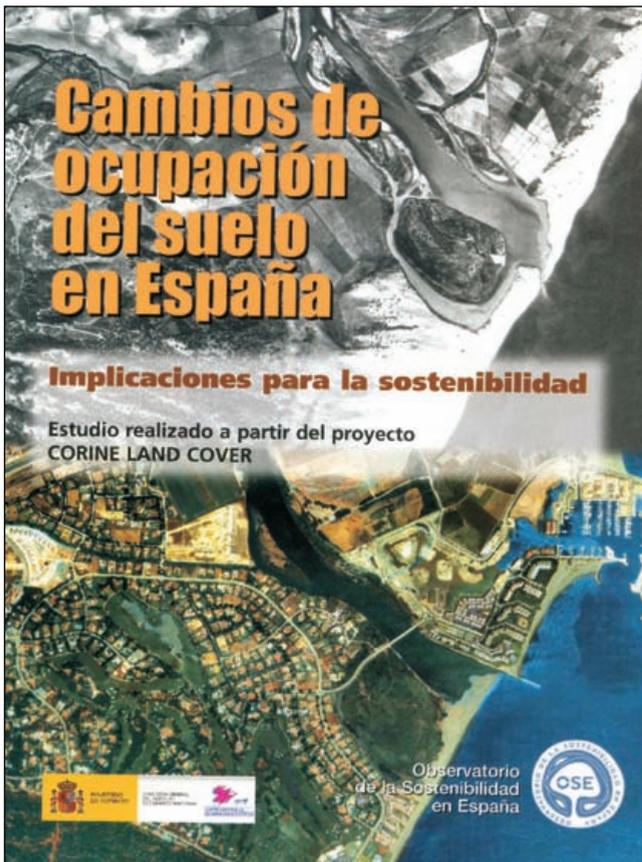


Figura 19. Portada de una obra sobre los cambios de uso del suelo en España, publicado por el OSE (Observatorio para la Sostenibilidad en España), en el que se muestra un ejemplo de la transformación experimentada en una zona litoral desde los años 50.

por aumento de la erosión en las superficies perturbadas) y proporciona un elemento de comparación, en términos cuantitativos, de la importancia relativa de los procesos naturales y humanos que contribuyen a la evolución del relieve. La magnitud de esa HGM se ha estimado a nivel mundial (Rivas et al., 2006) en $45.000 \text{ km}^2/\text{año}$ y $280.000 \times 10^6 \text{ t/año}$ respectivamente. Esta cantidad de materiales movilizados por acción humana equivale, suponiendo una distribución uniforme (cosa que evidentemente no es cierta) a una denudación de 0.8 mm/año para el conjunto de las zonas emergidas. Es lo que Brown (1956) denominó “denudación tecnológica”. Esas cifras probablemente son solo una grosera aproximación a los valores reales, pero son muy elocuentes cuando se comparan con las relativas a la acción de los procesos naturales (que también son groseras, como se pone de manifiesto al comparar las estimaciones de los distintos autores), según datos recopilados por Rivas et al. (2006). Si,

siendo conscientes de las dudas existentes, aceptamos como válidos ambos conjuntos de cifras, tenemos que la denudación tecnológica es del orden de 1 mm/año , mientras que los valores obtenidos para la denudación natural oscilan, según los distintos autores, entre 10^{-1} y 10^{-2} mm/año . Algo similar ocurre si consideramos la masa de sedimentos que los ríos del mundo transportan a los océanos con la movilización producida por acción humana. La segunda, según se ha señalado, es del orden de 10^{17} t/año , mientras que la primera es de 10^{15} - 10^{16} t/año . En otras palabras, si las cifras anteriores son correctas (y parece razonable admitir que por lo menos el orden de magnitud lo sea), la *huella geomorfológica humana* representa un cambio muy significativo de los procesos geomorfológicos a nivel global, siendo en el momento actual, con diferencia, el principal agente causante de la evolución del relieve.

Evidentemente, esa huella geomorfológica crecerá con el tiempo, puesto que depende del número de personas en el planeta y de su capacidad económica y tecnológica, las cuales aumentan. Haciendo una extrapolación conservadora (la tasa anual promedio durante los próximos 100 años tendrá un valor entre el actual y el doble de este), nos encontramos con que las superficies de nuevas *antropogeofomas* sería entre 5 y 10 millones de km^2 ; esto es, alcanzaría dimensiones continentales.

Parece por tanto que la modificación que los seres humanos estamos produciendo en los procesos geomorfológicos es de una magnitud muy superior a la que producimos sobre el clima ¿Puede esa modificación tener consecuencias negativas para las personas? Hay razones para pensar que, efectivamente, eso es así. La modificación de la superficie terrestre por excavación y acumulación de materiales geológicos, la impermeabilización de extensas áreas como consecuencia de la construcción de edificios o infraestructuras y la alteración o destrucción de la cobertura vegetal influyen en los procesos hidrogeomorfológicos, aumentando la escorrentía y también la sensibilidad de la capa superficial del terreno ante agentes desestabilizadores, naturales o humanos. Es por tanto de esperar que esos cambios se traduzcan en aumentos de la frecuencia e intensidad de procesos peligrosos tales como los deslizamientos de tierras y las inundaciones. Esto es, cambios como los que se ilustran en la **figura 19**, pueden estar detrás del

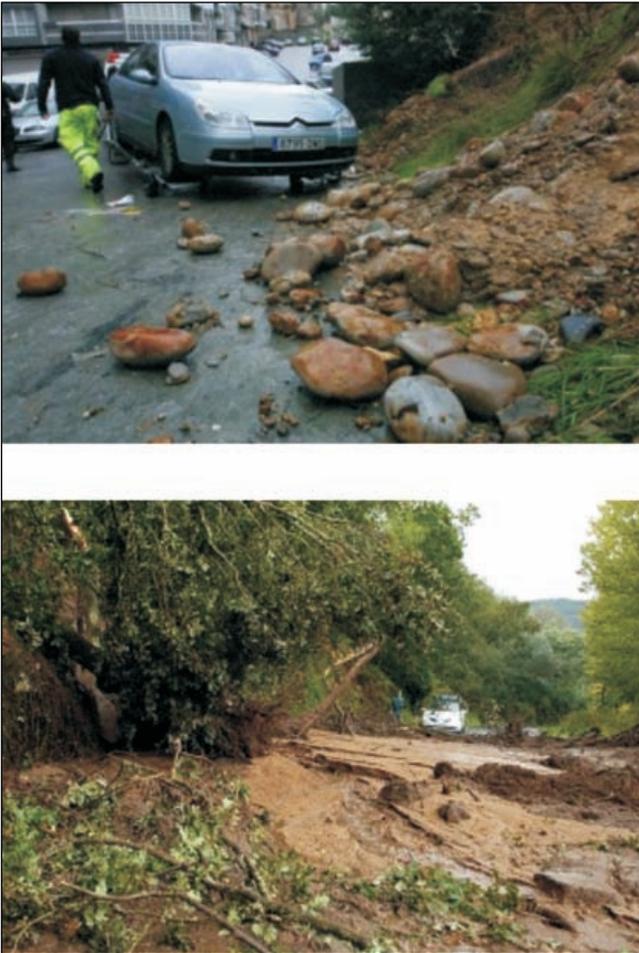


Figura 20. Ejemplos de deslizamientos e inundaciones ocurridos en España en 2005-2006. Transformaciones del tipo mostrado en la Figura 19 están dando lugar a una intensificación de los procesos de este tipo.

aumento de episodios como los que se muestran en las fotografías de la **figura 20**. Los datos obtenidos en zonas del N de España por Remondo et al. (2005, 2008) o en Italia por Guzzetti y Tonelli (2004), así como los relativos a catástrofes naturales de distintos tipos a nivel mundial, sugieren que esto puede ser así (Bruschi et al., 2008).

Ese tipo de datos llevó a plantear la posibilidad de que el conjunto de las relaciones descritas obedezca a un modelo como el que se representa en la **figura 21**. Si el modelo es correcto, la modificación creciente de la superficie terrestre por las actividades humanas producirá un aumento de la frecuencia de episodios tales como deslizamientos de tierras e inundaciones, que además también tenderían a aumentar como consecuencia del cambio climático, tal como se ha señalado

más arriba. Inundaciones y deslizamientos son manifestaciones de la dinámica hidrogeomorfológica, por lo que si el modelo es válido y existe una aceleración de la misma, esta se debería manifestar también en aumento de la generación de sedimento y, consiguientemente, de la deposición de este.

Con el fin de obtener datos adicionales que permitan contrastar la validez del modelo, se ha acometido un proyecto de investigación (CAMGEO) cuya finalidad es analizar si existe un aumento de las tasas de sedimentación que pueda tener extensión global y, caso de que exista, en que medida dicho aumento puede deberse a agentes impulsores naturales o humanos (Cendrero et al., 2006 a,b; Bruschi et al., 2008). Nuevamente, si el modelo es válido y esa aceleración de la sedimentación se constata, sería indicativa de una aceleración de la dinámica hidrogeomorfológica, y eso debería corresponderse también con un aumento de los procesos peligrosos citados. El proyecto CAMGEO se está llevando a cabo en el N de España y la cuenca del Río de la Plata, con la participación de investigadores de España, Argentina y Brasil.

Los resultados obtenidos hasta ahora muestran que, en efecto, las tasas de sedimentación han aumentado a lo largo del siglo XX, por un factor de 5-14 según las zonas. Ese aumento es muy superior al mostrado por las precipitaciones (ya sean totales anuales o fre-

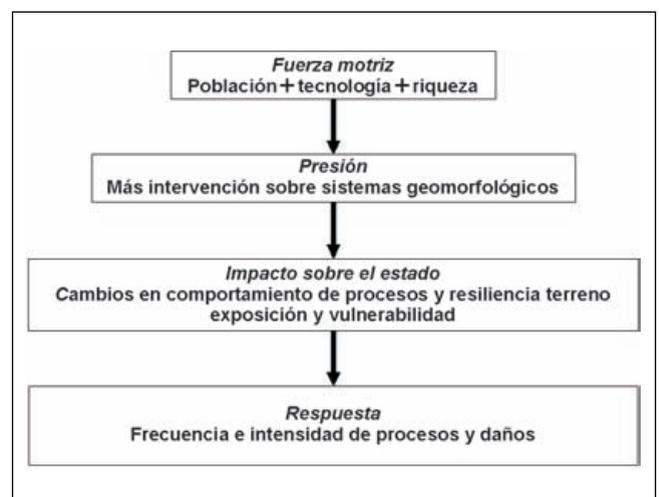


Figura 21. Posible cadena de efectos crecientes entre factores impulsores socioeconómicos y respuesta de los sistemas geomorfológicos. Cada paso probablemente representa un efecto multiplicador (Cendrero et al., 2006 a).

cuencia de episodios de lluvias intensas), que en el N de España no muestran cambios significativos y en la cuenca del Río de la Plata, aumentaron 5-8%. Por el contrario, los potenciales impulsores humanos, muy especialmente aquellos que en principio se pueden relacionar más directamente con alteraciones de la superficie terrestre que pueden influir más directamente en la dinámica hidrogeomorfológica (PIB, como indicador de síntesis del conjunto de las actividades humanas, consumo de energía o consumo de cemento) muestran aumentos muy marcados, con

magnitudes y tendencias “grosso modo” comparables con las anteriores. Esas relaciones se muestran en la **figura 22** para la Cuenca del Río de la Plata y varias cuencas dentro de la misma. Por otro lado, datos relativos a la menor frecuencia de desastres por inundaciones en distintos continentes o en países de extensión continental, muestran también aumentos muy considerables, con magnitudes que difícilmente se pueden atribuir a cambios de tipo climático, aunque sí que siguen tendencias que se asemejan mucho a las de los PIB respectivos (**Fig. 23**).

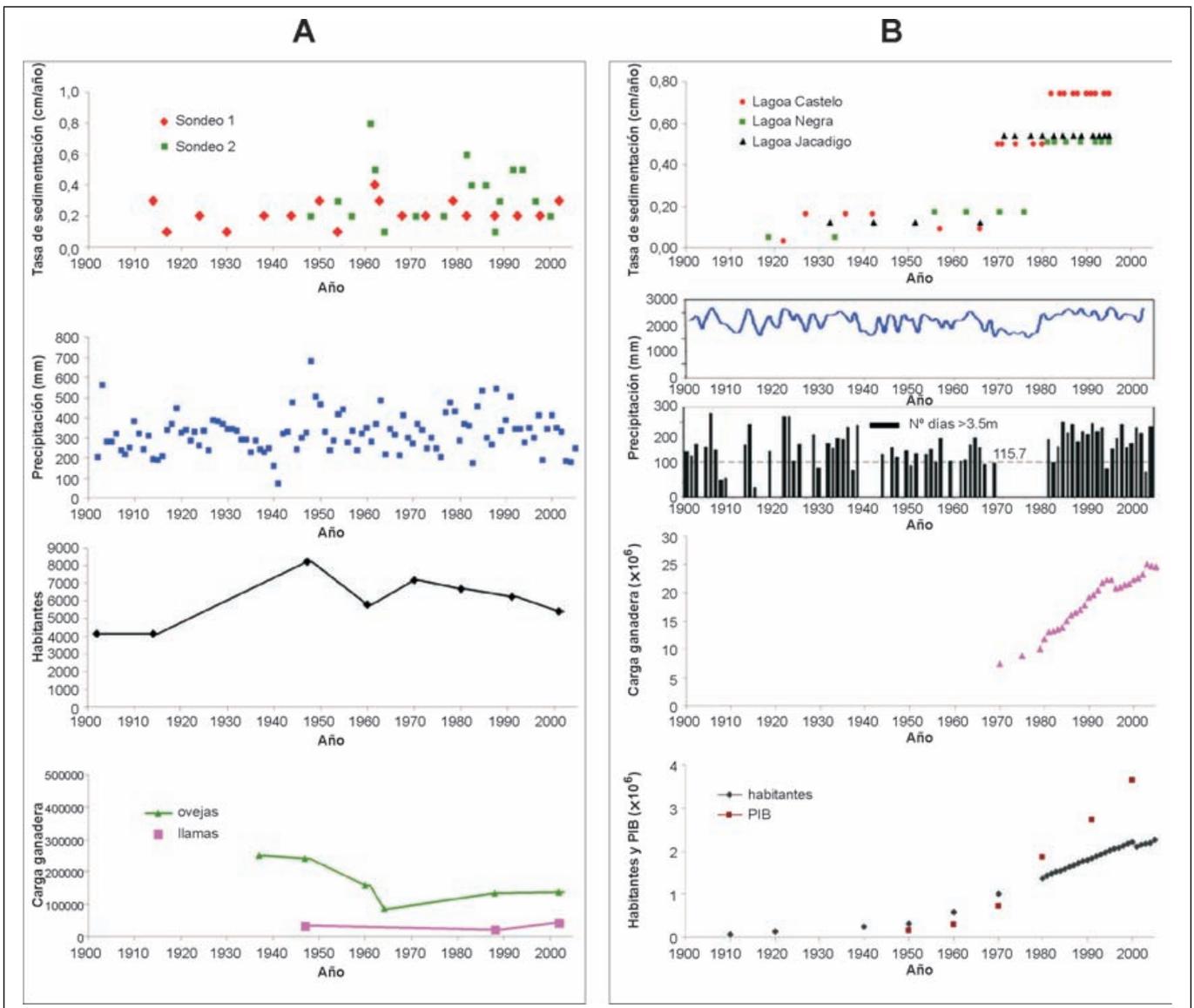


Figura 22 A, B. Variaciones de las tasas de sedimentación en dos subcuencas de la cuenca del Río de la Plata (A, Laguna de Pozuelos, Argentina; B, Pantanal, Brasil), comparadas con las variaciones en las precipitaciones y caudales o nivel de los ríos, así como con distintos impulsores humanos. Se aprecia que los cambios en la sedimentación se asemejan mucho más a los de los impulsores humanos que a los de los naturales. Datos del Proyecto CAMGEO.

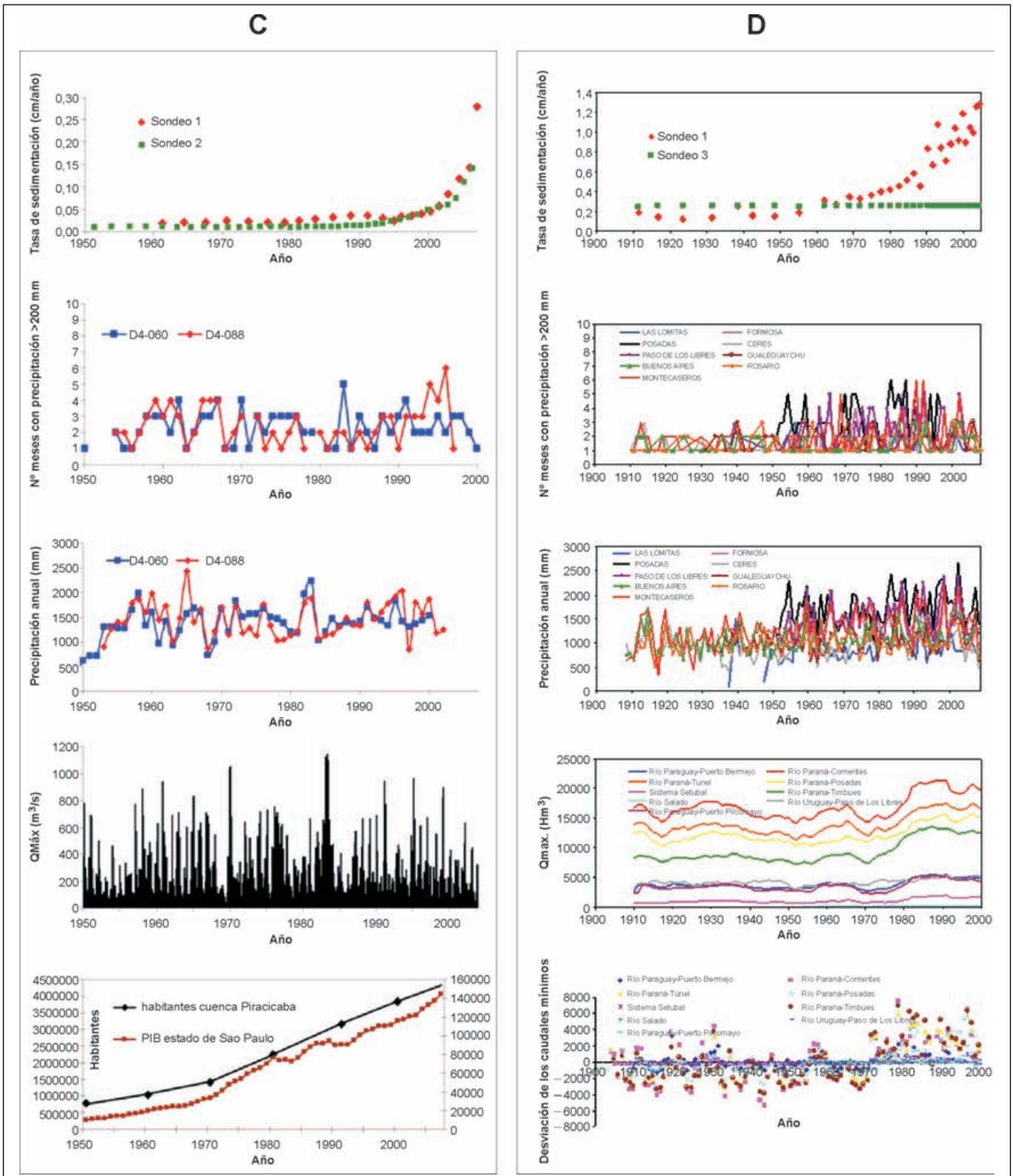


Figura 22 C, D. Variaciones de las tasas de sedimentación en otra subcuenca del Río de la Plata (C, Barra Bonita, Brasil) y en el propio estuario (D), comparadas con las variaciones en las precipitaciones y caudales a nivel de los ríos, así como con distintos impulsores humanos. Se aprecia también que los cambios en la sedimentación se asemejan mucho más a los de los impulsores humanos que a los de los naturales. Datos del Proyecto CAMGEO.

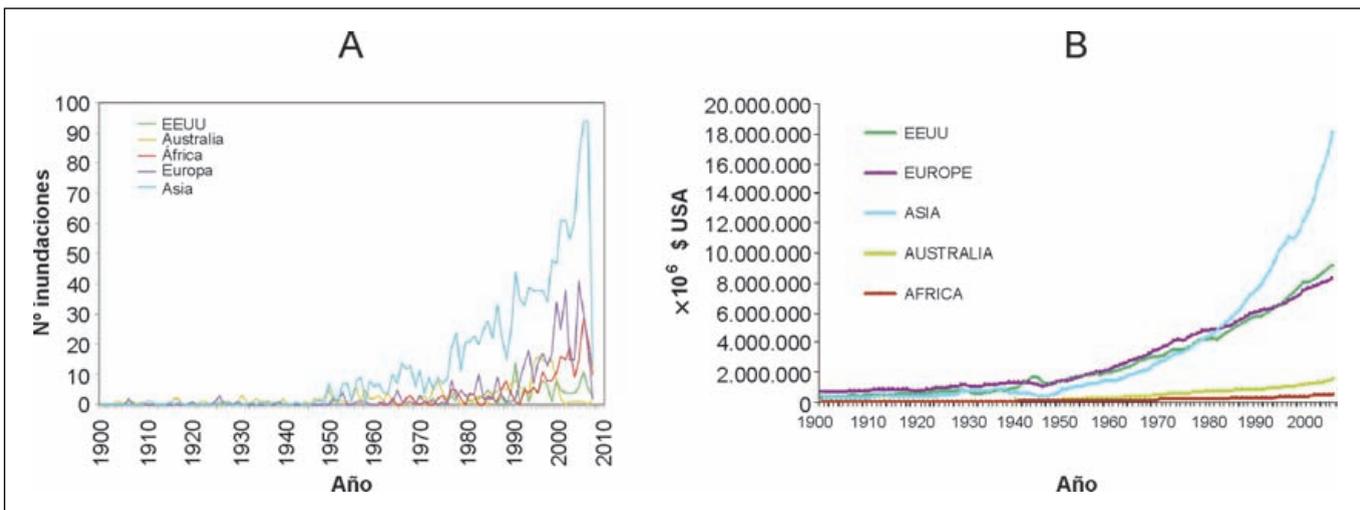


Figura 23. A. Número de desastres ocasionados por inundaciones en distintos continentes y países de extensión continental. B. Evolución del PIB para las zonas anteriores (EM-DAT, 2005 y Historical Statistics for the World Economy, 2006).

Es interesante comentar que en mayo de 2009 el anterior Secretario General de Naciones Unidas, Kofi Annan, en la presentación de un informe sobre las consecuencias del cambio climático, señalaba que este “está afectando ya a 300 millones de personas, matando 300.000 y costando 125.000 millones de dólares USA cada año, como consecuencia de malnutrición, enfermedades y aumento de los desastres naturales”. De acuerdo con los datos presentados más arriba, el responsable del aumento de los desastres naturales, más que el cambio climático parece ser el cambio geomorfológico.

¿QUÉ SE PUEDE HACER Y QUE ESFUERZO REPRESENTA?

Volviendo a la pregunta que se formula en el título ¿son sostenibles las tendencias observadas? La respuesta, de acuerdo con las previsiones realizadas por el Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), es que, aunque hay una incertidumbre considerable con respecto a la extensión y velocidad de los cambios del clima y sus consecuencias, ciertos cambios parecen ya inevitables, tanto si se toman medidas de mitigación como si no se hace. De no tomarse medidas de suficiente envergadura, y a tiempo, los resultados pueden ser graves, dramáticos para ciertas regiones del mundo o ciertos sectores de la sociedad. Esto parece todavía más evidente en el caso de las consecuencias del cambio geomorfológico.

Suponiendo que no se tomaran medidas que para cambiar las tendencias que se muestran en la **figura 13**, una extrapolación de las mismas para finales de siglo nos llevaría a situaciones de enorme gravedad en lo relativo a los riesgos de tipo hidrogeomorfológico (que son los que anualmente producen, con diferencia, más víctimas y daños prácticamente en todos los países, aunque no den lugar a catástrofes concentradas y de alto impacto mediático como ocurre con los terre-

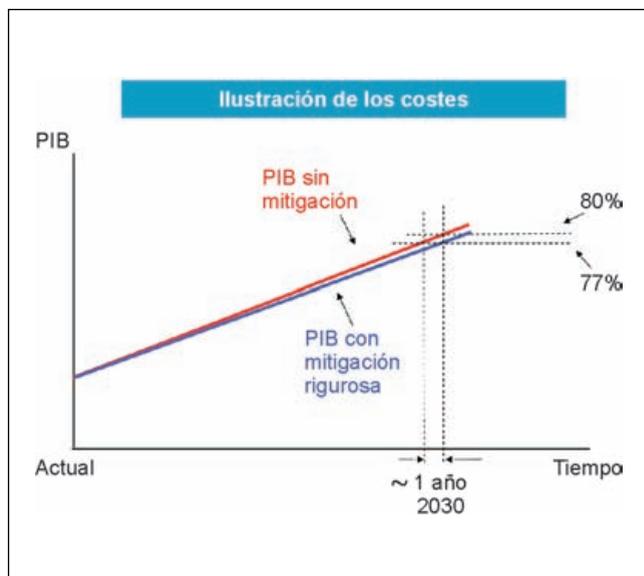


Figura 24. Variación estimada del PIB mundial hasta 2030, con y sin la introducción de medidas encaminadas a estabilizar las emisiones de GEI. Las medidas estrictas implicarían simplemente un retraso de un año en el crecimiento del PIB para el periodo considerado (IPCC, 2007).

motos o los tsunamis). Las tendencias observadas, por tanto, implican pagar un precio que no parece aceptable, y en ese sentido no se pueden considerar sostenibles. Que se materialicen o no dependerá de nuestra capacidad (social, política, económica) para poner en marcha medidas de mitigación.

¿Se pueden implantar esas medidas de mitigación con costes abordables por la economía mundial? De acuerdo con las estimaciones del IPCC (2007), el coste de aquí a 2030 para estabilizar las concentraciones de CO² en la atmósfera en 445-535 ppm (en comparación con las 383 ppm actuales o las 280 ppm de la época pre-industrial), sería anualmente equivalente a poco más del 0,1 % del PIB mundial (**Fig. 24**). La estabilización en esos niveles implicaría, si las previsiones de los modelos son correctas, que la temperatura global aumentaría no más de 2° C a finales del presente siglo. Con ese aumento habría efectos importantes, pero se podrían mitigar también y no serían dramáticos. El coste indicado significaría que el crecimiento del PIB en esa fecha sería del 77% con respecto al actual, en vez del 80%, lo que equivale a un año de retraso en el crecimiento. Si tenemos en cuenta los cambios experimentados durante la presente crisis, con reducciones muchísimo más acusadas de los indicadores económicos, parece claro que esos costes se pueden asumir sin especiales distorsiones de la economía mundial. No existen estimaciones similares del coste de mitigación del cambio geomorfológico global y de sus consecuencias sobre los riesgos higrogeomorfológicos. Sin embargo, sí hay algo que se puede decir con seguridad; la lucha contra el cambio climático requiere necesariamente una acción de ámbito global. La actuación de un país cualquiera servirá de muy poco si los demás no actúan. En el caso del cambio geomorfológico, aunque también parece ser de ámbito global, las medidas de mitigación pueden aplicarse (y dejar sentir sus efectos) a menor escala, por ejemplo un país o una cuenca hidrográfica.

Lo anterior se relaciona con un importante problema que aqueja a las medidas de mitigación, el desfase temporal existente entre la puesta en marcha de las mismas y la consecución de los efectos buscados. Los sistemas naturales tienen con frecuencia tiempos de respuesta largos. En el caso concreto del cambio climático, incluso si hoy mismo se estabilizara el contenido de GEI en la atmósfera, los efectos de la

acumulación ya producida se dejarían sentir durante décadas, y algunos de ellos siglos (**IPCC, 2007**). Eso, teniendo en cuenta que los cambios observados recientemente son más rápidos de lo que se pensaba, pone claramente de manifiesto la urgencia de tomar medidas cuanto antes. En lo que respecta al tiempo de respuesta a las medidas de mitigación del cambio geomorfológico, la situación parece más favorable. La adopción de medidas encaminadas a una mejor gestión del territorio y a la introducción de buenas prácticas en actividades de extracción de materiales geológicos, construcciones de distinto tipo y agro-silvicultura, permitiría lograr una estabilización de la dinámica hidrogeomorfológica en cuestión de pocos años en la mayoría de los casos.

Finalmente, un comentario sobre la importancia de tener en cuenta otros desfases temporales que afectan a los cambios globales, que son los de los factores impulsores de los mismos, de origen humano. El problema del cambio climático es conocido en los ámbitos científicos correspondientes desde hace algunas décadas, y ha pasado a ser generalmente conocido y asumido como un problema por el público en general y por los gobiernos desde hace bastantes años. No obstante, todavía no se ha alcanzado a nivel internacional un acuerdo político sobre las medidas de mitigación a implantar. Si, como es esperable, ese acuerdo se alcanza, todavía pasarán bastante años para que las medidas se implanten realmente y para que los sistemas productivos y los estilos de vida se adapten a los cambios requeridos. Piénsese, a modo de ejemplo, que el cambio de una economía basada en el carbón como fuente de energía a otra basada en el petróleo supuso muchas décadas. No parece probable que el paso de los combustibles fósiles como fuente de energía principal a energías renovables no emisoras de GEI pueda hacerse en un tiempo mucho menor. Esto no hace sino subrayar la importancia de que las decisiones necesarias se tomen y se hagan efectivas cuanto antes.

COMENTARIO FINAL

A modo de comentario final, resulta apropiado reproducir aquí la declaración suscrita por el conjunto de los participantes en un Simposio Internacional celebrado en abril de 2008.

SIMPOSIO INTERNACIONAL: ANÁLISIS CRÍTICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO; UNA PERSPECTIVA CIENTÍFICA.

Los ponentes y participantes en el simposio, realizado en colaboración entre la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Fundación Ramón Areces, el 2 y 3 de abril de 2008, desean hacer llegar a la opinión pública en general y a los responsables de la toma de decisiones en particular, las siguientes opiniones:

ESTADO DEL PROBLEMA

1. Existe una preocupación generalizada sobre el cambio climático, basada en hechos bien establecidos y en previsiones apoyadas en las tendencias observadas y en la aplicación de modelos. Esas previsiones son razonables, pero presentan algunas incertidumbres.

2. Durante el último siglo se ha observado un aumento de 0,74°C en la temperatura media global, calentamiento del océano, fusión de glaciares y hielos oceánicos y subida del nivel del mar, con tasas de aumento crecientes, mayores que las determinadas para los últimos milenios. Paralelamente, se han detectado cambios en los sistemas naturales en todo el planeta, coherentes en más de un 90% de los casos con el calentamiento global. Esos efectos, más que el calentamiento en sí, tienen consecuencias potenciales graves, si bien se han detectado también algunos efectos positivos (por ejemplo, para determinadas especies).

3. Los modelos indican que el calentamiento observado no puede explicarse solo por factores naturales, pero si incluyen la contribución humana la coincidencia entre observaciones y predicciones es notable. La probabilidad de que los gases de efecto invernadero (GEI, debidos principalmente, pero no exclusivamente, al uso de combustibles fósiles) sean la causa del calentamiento es superior al 90%.

4. Otros cambios, no debidos al clima sino a transformaciones del territorio y uso ineficiente de los recursos, están produciendo efectos similares, pero en ocasiones de magnitud muy superior a los debidos al calentamiento. Entre otros, se señalan: problemas de disponibilidad de agua, por contaminación y demanda creciente; erosión y retroceso de playas y deltas, degradación de humedales, aumento de desastres debidos a inundaciones y deslizamientos, degradación de tierras agrícolas, pérdida de hábitats y especies, etc.

5. Las previsiones indican que para finales del presente siglo es de esperar un calentamiento en el entorno de 3°C, siendo muy improbable que sea menor de 1,5 y sin que se

puedan excluir valores superiores a 4,5. Es de esperar que ese calentamiento persista durante décadas o siglos y que sus efectos sobre los sistemas naturales sean mayores que los ya observados.

6. Sin embargo, hay varias fuentes de incertidumbre en las previsiones: escasez de datos sobre ciertas variables y zonas del mundo; insuficiencias en la capacidad de computación, lo que dificulta la elaboración de modelos de escala detallada, necesarios para los análisis a nivel nacional-regional; limitaciones en la comprensión del funcionamiento de algunos mecanismos (efectos de aerosoles y partículas de polvo o cambios en la reflectividad de la superficie, que podrían amplificar o reducir la respuesta térmica; papel de los cambios de los ecosistemas terrestres en la proporción de CO₂ que permanece en la atmósfera; etc.); cambios en la circulación termohalina; capacidad de predicción de las herramientas de modelización existentes, etc. Además, los registros geológicos muestran que en siglos y milenios pasados ha habido importantes fluctuaciones climáticas y de otros tipos, que no pueden atribuirse a influencia humana y que deben tenerse presentes al analizar los cambios actuales.

7. Los cambios ambientales futuros dependen en gran medida del funcionamiento de los sistemas sociales, económicos y tecnológicos, sobre los cuales la capacidad de predicción a unas décadas vista es extremadamente limitada (¿habríamos imaginado Internet hace 40 años?). Por tanto, los escenarios futuros, y las emisiones correspondientes, pueden variar considerablemente.

Los puntos anteriores nos llevan a la siguiente:

DECLARACIÓN

A. A pesar de las incertidumbres, hay algunas predicciones bastante sólidas: a) un calentamiento de unos 2°C parece inevitable en este siglo, incluso en el escenario de emisiones más favorable. Eso implicará unas decenas de cm de ascenso del nivel mar, problemas para el funcionamiento de ciertos ecosistemas, disponibilidad de agua, estabilidad costera, riesgos naturales, etc. b) Estudios recientes muestran que algunos cambios se acercan o superan los escenarios más pesimistas; la velocidad de los cambios futuros probablemente superará la de los ya vistos. c) Se debe tener presente que puede transcurrir un tiempo considerable (décadas o siglos) entre la acción sobre la causa de un proceso natural y el efecto correspondiente. Además, también hay retrasos importantes en los procesos de toma de decisiones y de adaptación de los sistemas productivos. Por tanto, es urgente tomar medidas para adaptarse a la nueva situación prevista.

B. Debe actuarse cuanto antes. Los retrasos se pagarán en forma de pérdidas cuantiosas. Hay que tomar medidas de adaptación a cambios que parecen inevitables. También se debe reducir el consumo energético (España tiene una dependencia energética del 85%) y las emisiones de GEI. Pero igualmente hay que atajar otras causas no climáticas de los importantes cambios ambientales detectados, relacionadas con procesos mejor conocidos y más fáciles de gestionar (por ejemplo, la disponibilidad de agua está más afectada por su gestión y por los usos del suelo que por el cambio climático). Las medidas contra el calentamiento han de aplicarse a escala global para que produzcan resultados, pero las otras son controlables a escalas nacional y local, y sus efectos se dejarán sentir de manera más inmediata, en el tiempo y en el espacio.

C. Sean cuales sean las medidas adoptadas, es de crucial importancia poner en marcha sistemas de seguimiento de los escenarios climáticos y no climáticos, a fin de evaluar la eficacia de aquellas. Esos sistemas se deben basar en indicadores cuantitativos que permitan el establecimiento de metas. Todo ello debe realizarse con transparencia e ir acompañado de mecanismos de información a la opinión pública, para que se conozcan con exactitud los términos del problema y las posibles soluciones.

D. Se ha estimado que los costes de estabilizar las concentraciones de GEI en niveles aceptables serán el 10%, o mucho menos, que los costes de los daños debidos a los cambios esperables. Pero aún más, el cambio global es un desafío y una oportunidad de futuro para el necesario cambio de hábitos de la sociedad en su consumo abusivo de energía, agua y recursos, y permitirá el desarrollo de nuevas tecnologías y empresas. La comunidad científico-tecnológica española, que ha contribuido de manera apreciable al avance del conocimiento en estos campos, está en condiciones de abordar los desafíos que se plantean, con potencial de liderazgo en varios de ellos.

SÍNTESIS DE LA DECLARACIÓN

Hay cambios climáticos indudables y medidos. Se han detectado numerosos cambios en los sistemas naturales que son coherentes con el cambio climático.

Hay una tendencia a que los cambios se aceleren con el tiempo.

Existe una altísima probabilidad de que la actividad humana, a través de la emisión de gases de efecto invernadero, sea la causa principal del calentamiento actual.

Paralelamente, hay otros cambios ambientales de tipo no climático, relacionados con la transformación del terri-

torio y el uso inadecuado de los recursos, que están produciendo efectos similares, en ocasiones de magnitud muy superior.

Las previsiones existentes ponen de manifiesto que, si no se actúa, los efectos de los cambios globales cambios citados pueden acarrear graves consecuencias.

Es urgente actuar, por supuesto reduciendo las emisiones de GEI, pero también sobre las otras causas no climáticas, de más fácil control. Igualmente, resulta imprescindible tomar medidas para adaptarse a ciertos cambios que parecen ya inevitables, incluso en los escenarios más optimistas.

El coste de las medidas a implantar representa una pequeña fracción de las pérdidas esperables si no se actúa y es perfectamente abordable por parte del sistema económico. Además, esa adaptación representa una oportunidad para ir hacia modelos más eficientes de uso de los recursos, que permitirán el desarrollo de nuevas tecnologías y empresas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se apoya en parte en presentaciones realizadas por distintas personas durante el Simposio Internacional “*Critical assessment of climate change predictions from a scientific perspective*”, organizado en Madrid por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Fundación Ramón Areces, 2-3 abril de 2008. También en datos obtenidos por el Proyecto CAMGEO (CGL2006-11431; Plan Nacional de I+D+i).

REFERENCIAS

1. Brown, H. **1956**. Technological denudation. In: Thomas, W.L. (ed.). *Man's role in changing the face of the Earth*. Chicago: University of Chicago Press. Pp. 1023-1032.
2. Bruschi, V.M., Bonachea, J., Remondo, J. Rivas, Gómez Arozamena, J., Salas, L., Fernández, G., Soto, J. Cendrero, A., Méndez, G., Naredo, J.M., Hurtado, M., Forte, L.M., da Silva, M., Etcheverry, R., Cavalloto, J.L., Dantas Ferreira, M., Pejon, O.J., Zuquette, L.V. **2008**. ¿Existe un cambio geomorfoló-

- gico acoplado a la actividad económica? In: Contribuciones científicas en memoria del Profesor Jesús Soto Torres. Eds A. Cendrero, J. Gómez Arozamena, P.L. Fernández Navarro, L.S. Quindós, C. Ródenas & C. Saiz Fernández. PubliCan, Santander: 31-54.
3. Canadell, J.G., Pataki, D., Pitelka, L. (eds) **2007**. Terrestrial Ecosystems in a changing world. IGBP Series. Springer-Verlag, Berlin.
 4. Cendrero, A., Charlier, R.H. **1989**. Coastal zone resources, occupation and land-use problems; a review and assessment. *Geolis*. 3 (1-2): 40-60.
 5. Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R., Salinas, J.M. **1981**. Environmental economic evaluation of the filling and reclamation process in the Bay of Santander, Spain. *Environmental Geology*, 3: 325-336.
 6. Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V., Soto, J. **2006 a**. Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geografía Física e Geodinámica Cuaternaria*, 29 (2): 125-137.
 7. Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V., Soto, J. **2006 b**. Acción humana y procesos geológicos superficiales ¿qué le estamos haciendo a la faz de la Tierra? *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat.*, 100 (1): 187-209
 8. EM-DAT. The OFDA/CRED International Disaster Database. www.em-dat.net- Université Catholique de Louvain-Brussels, Belgium, 2005
 9. González-Díaz, A., Salas, L., Díaz de Terán, J. R., Cendrero, A. 1996. Late Quaternary climate changes and mass movement frequency and magnitude in the Cantabrian region, Spain. *Geomorphology*, 15 (3-4):291-310.
 10. Guzzetti F, Tonelli G. **2004**. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*; 4: 213-232.
 11. Historical Statistics for the World Economy. Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen 2006. <http://www.ggdc.net/>.
 12. IPCC. 2001. Climate change 2001: Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge.
 13. IPCC. **2007**. Climate change 2007: Synthesis report. Cambridge University Press, Cambridge.
 14. Moreno, J.M. (ed.) **2005**. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático en España. Ministerio de Medio Ambiente – UCLM.
 15. Remondo, J., González-Díez, A., Soto, J., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A. **2005**. Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas. *Geomorphology*. , 66: 69-84.
 16. Rivas, V., Cendrero, A. **1991**. Use of natural and artificial accretion in the north coast of Spain; historical trends and assessment of some environmental and economic consequences. *Journal of Coastal Research*. 7(2): 491-507.
 17. Rivas, V., Cendrero, A. **1995**. Human influence in a low-hazard coastal area; an approach to risk assessment and proposal of mitigation strategies. *Journal of Coastal Research*., Special Issue No.12: 289-298.
 18. Rivas, V., Cendrero, A., Hurtado, M., Cabral, M., Giménez, J., Forte, L.M., del Río, L., Cantú, M., Becker, A. **2006**. Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina. *Geomorphology*, 73 (3-4): 185-206.
 19. Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J.A., Valdemoro, H. **1998**. The Ebro Delta: morphodynamics and vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 14 (4), 754-772.
 20. Slaymaker O, Spencer T, Embleton-Hamann (eds) **2009**. C. Geomorphology and global environmental change. Cambridge U. Press, Cambridge.