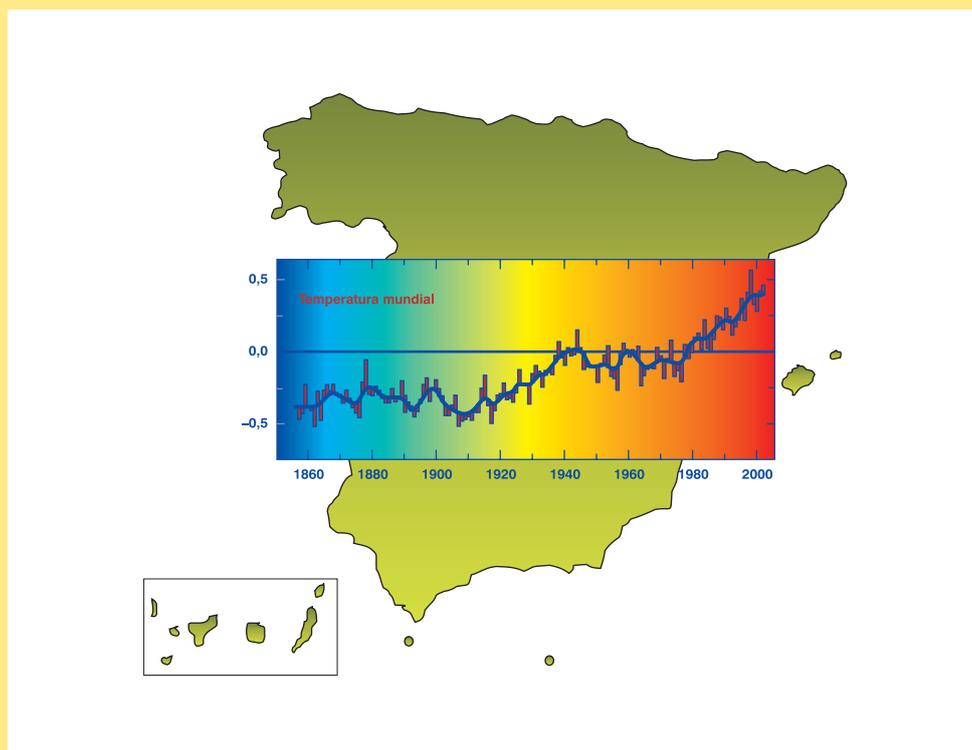


# PRINCIPALES CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS IMPACTOS EN ESPAÑA POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO





# Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático

## Proyecto ECCE

Realizado al amparo del Convenio de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente y la Universidad de Castilla-La Mancha en materia de investigación sobre una «Evaluación preliminar general de los impactos en España por efecto del cambio climático»

### Director/Coordinador

José Manuel Moreno Rodríguez  
Universidad de Castilla-La Mancha

### Comité de Seguimiento del Convenio

Concepción Martínez Lope. Oficina Española de Cambio Climático  
Justo Mora Alonso-Muñoyerro. Dirección General del Agua  
José Ramón Picatoste Ruggeroni. Dirección General para la Biodiversidad.  
José Manuel Moreno Rodríguez. Universidad de Castilla-La Mancha  
Federico Fernández González. Universidad de Castilla-La Mancha  
Alberto Cruz Treviño. Universidad de Castilla-La Mancha



**Direcciones de Contacto:****Oficina Española de Cambio Climático**

Secretaría General para la Prevención  
de la Contaminación y del Cambio Climático,  
Ministerio de Medio Ambiente,  
Plaza San Juan de la Cruz, s/n  
E-28071 Madrid, España  
<http://www.mma.es/oecc>

**Departamento de Ciencias Ambientales**

Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)  
Av. Carlos III, s/n  
E-45071 Toledo, España  
<http://ecce.uclm.es>

Edita: Centro de Publicaciones.  
Secretaría General Técnica.  
Ministerio de Medio Ambiente®

NIPO: 310-05-005-4  
NIPO (internet): 310-05-006-X  
Depósito Legal: M-6467-2005  
Imprime: Sociedad Anónima de Fotocomposición

Impreso en papel reciclado

Esta publicación refleja la opinión de los autores y no necesariamente la del Ministerio de Medio Ambiente

## PRESENTACIÓN

*Esta evaluación preliminar sobre los posibles impactos del cambio climático en los diferentes ecosistemas y sectores socioeconómicos españoles representa un paso más de los esfuerzos que, desde el Ministerio de Medio Ambiente, se vienen haciendo para avanzar en la lucha contra el cambio climático.*

*Todos somos conscientes de que los cambios en el clima que se están produciendo han afectado ya a muchos sistemas físicos y biológicos y que los riesgos proyectados del cambio climático son muy altos, por lo que la adaptación a las futuras condiciones climáticas es inevitable. Las necesidades de adaptación, a corto y largo plazo, deben estar enmarcadas en un contexto más amplio del desarrollo sostenible y ser integradas en las políticas sectoriales. La prontitud con que se realice una adaptación planificada puede disminuir la vulnerabilidad a los impactos así como reducir los costes.*

*Las actuaciones para la adaptación tienen que contemplarse desde una doble vertiente: por una parte, la aplicación de medidas para minimizar los efectos en los sectores socioeconómicos y los ecosistemas más susceptibles de ser afectados por el cambio climático; por otra, la prevención del riesgo de los fenómenos climáticos extremos y sus efectos. Todo ello sin olvidar que la mejor forma de combatir el cambio climático es mitigarlo, es decir, reducir las emisiones de aquellos gases que lo producen.*

*España, por su situación geográfica y características socioeconómicas, es muy vulnerable al cambio climático y se está viendo ya afectada por los recientes cambios. Los impactos del cambio climático pueden tener consecuencias especialmente graves, entre otras, en lo referente a la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, pérdidas de la diversidad biológica y ecosistemas naturales, aumentos en los procesos de erosión del suelo y pérdidas de vidas y bienes derivadas de la intensificación de sucesos adversos asociados a fenómenos climáticos extremos, tales como inundaciones, incendios forestales y olas de calor.*

*Los resultados de esta evaluación preliminar, realizada por cincuenta autores, en colaboración con otros expertos, pertenecientes a una amplia gama de universidades y centros de investigación españoles, constituye sin duda un elemento básico y pieza clave, por una parte para seguir profundizando en el conocimiento de la vulnerabilidad de nuestros ecosistemas y sectores a los impactos del cambio climático, y por otra, para acometer el desarrollo y establecimiento de políticas de adaptación, que permitan la adopción de medidas, por parte de las Administraciones Públicas y el sector privado.*

*Desde mi responsabilidad, como Ministra de Medio Ambiente, no cesaré en el empeño de impulsar —en coordinación y cooperación con las Comunidades Autónomas y con el apoyo de nuestra comunidad científica y académica— las políticas que el desafío del cambio climático nos exige.*

Cristina NARBONA RUIZ  
Ministra de Medio Ambiente



## PRÓLOGO

*El informe Evaluación Preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático es el esfuerzo de un numeroso grupo de expertos para intentar valorar cuáles pueden ser los cambios que ocurrirán a lo largo de este siglo XXI en el clima de España como consecuencia del calentamiento global del planeta y cómo tales cambios pueden impactar al medio natural, sus recursos, a algunos de los principales sectores productivos y a la salud humana en nuestro país. El análisis realizado ha seguido los procedimientos al uso por el IPCC o, en el caso de Europa, por el proyecto ACACIA. Para ello, se formó un grupo de expertos en distintos campos del saber, procedentes de diferentes instituciones y puntos geográficos de España. Además del clima, se seleccionaron quince áreas temáticas de impacto. A cada uno de los temas fueron asignados tres expertos, con el encargo de hacer una revisión exhaustiva de los conocimientos existentes acerca de las interacciones entre el clima y el campo objeto de estudio y, basándose en esto, y en las proyecciones de clima futuro, aventurar cuáles podrían ser las consecuencias del cambio climático conforme discorra el siglo. Para asegurar una visión lo más amplia y contrastada posible de cada tema, los redactores de cada capítulo fueron instados a recabar la opinión de otros expertos, bien en el proceso de redacción, bien en el de revisión, añadiendo, en este caso, a expertos de fuera de España.*

*El capítulo de clima aborda las tendencias de cambio recientes y el clima futuro. Los restantes capítulos han sido estructurados en diez apartados: 1) introducción, 2) relación con el clima actual, 3) impactos previsibles del cambio climático, 4) zonas más vulnerables, 5) principales opciones adaptativas frente al cambio climático, 6) repercusiones de cada sistema o sector sobre los demás, 7) lagunas de conocimiento existente, 8) posibilidades de detectar el cambio, 9) implicaciones para las políticas, 10) principales necesidades de investigación.*

*El marco de referencia climático o socioeconómico del futuro ha sido el elaborado por el IPCC. En algunos casos se han utilizado proyecciones basadas en modelos climáticos regionales. Dado que los estudios específicos sobre los impactos del cambio climático en España son escasos, en la mayoría de casos el juicio que se expresa refleja la opinión de los expertos. Esto es cómo creemos que, conociendo las relaciones del clima con los procesos que nos interesan, y en virtud de los cambios esperables, pueden discurrir las cosas a lo largo de este siglo. La falta de conocimiento existente hace difícil concretar el detalle de los impactos. En todo caso, los impactos que se presume ocurran son tantos y de tan variada naturaleza que de ninguna manera la falta de conocimiento detallado puede servir de excusa para no actuar, aquí y ahora. Antes bien, eventos extremos, como la ola de calor de 2003, muestran que las sorpresas del cambio climático pueden ser insospechadas. El tiempo de espera para actuar, simplemente, se ha acabado. El informe provee elementos suficientes para pensar en lo que debemos hacer para adaptarnos y mitigar las consecuencias del cambio climático en el que, todo indica, estamos inmersos.*

*El informe se ha escrito en español y traducido al inglés. Agradezco la colaboración de los autores, contribuyentes, revisores y personal técnico de apoyo y de la Oficina Española de Cambio Climático que ha posibilitado la realización del proyecto ECCE que ha dado luz al informe.*

José Manuel MORENO RODRÍGUEZ  
Departamento de Ciencias Ambientales  
Universidad de Castilla-La Mancha



## RESUMEN

Este texto contiene las principales conclusiones y recomendaciones que emanan del estudio *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. En aras de la brevedad, y para garantizar una distribución amplia, este resumen es, necesariamente, corto y sólo contiene las conclusiones más sobresalientes acerca de las principales tendencias recientes del clima de España, así como de los cambios climáticos más relevantes que se prevé ocurran en función de diferentes escenarios socioeconómicos. Asimismo, contiene los principales impactos del cambio climático en España, las zonas posiblemente más vulnerables; las recomendaciones primordiales que se derivan para las políticas y las demandas más significativas en materia de investigación para poder avanzar en nuestro conocimiento sobre cómo el cambio climático afectará a España.

Si hubiese que destacar una conclusión ésta es la de que, con un alto nivel de confianza, el clima venidero de España sufrirá cambios más que notorios, sobre todo en su temperatura, y se volverá más cálido. También son esperables cambios significativos en las precipitaciones, con una tendencia a la baja, aunque la certeza de cuánto, dónde y en qué momentos del año cambiará más o menos es menor. Los cambios son más acusados cuanto mayores son los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, mayores los cambios a nivel planetario. En cuanto a los efectos del cambio climático, prácticamente en la mayoría de sectores analizados los impactos serán negativos y, en algunos casos, altamente negativos. Las oportunidades que ofrecen los cambios para mejorar las carencias actuales son más bien escasas, si es que las hay.

Los impactos no serán homogéneos en todo el país, y algunas zonas serán más sensibles al cambio que otras, aunque cada sector analizado tiene sus peculiaridades. No obstante, el nivel de conocimiento actual hace difícil hacer una valoración detallada de qué área o sector será más o menos afectado y dónde. Las posibilidades de adaptación al cambio son, igualmente, variadas: la pérdida de ecosistemas acuáticos, de productividad en los sistemas forestales, de los valores ambientales de la costa, etc., no son fáciles de paliar. En otros casos, las opciones para mitigar un impacto negativo pueden ser mayores: cambiar un cultivo anual por otro es posible, con más o menos coste; la cosa se complica si el cultivo es arbóreo. Por tanto, la importancia de identificar los posibles efectos adversos lo antes posible para poder adaptarse o mitigar sus impactos es crítica.

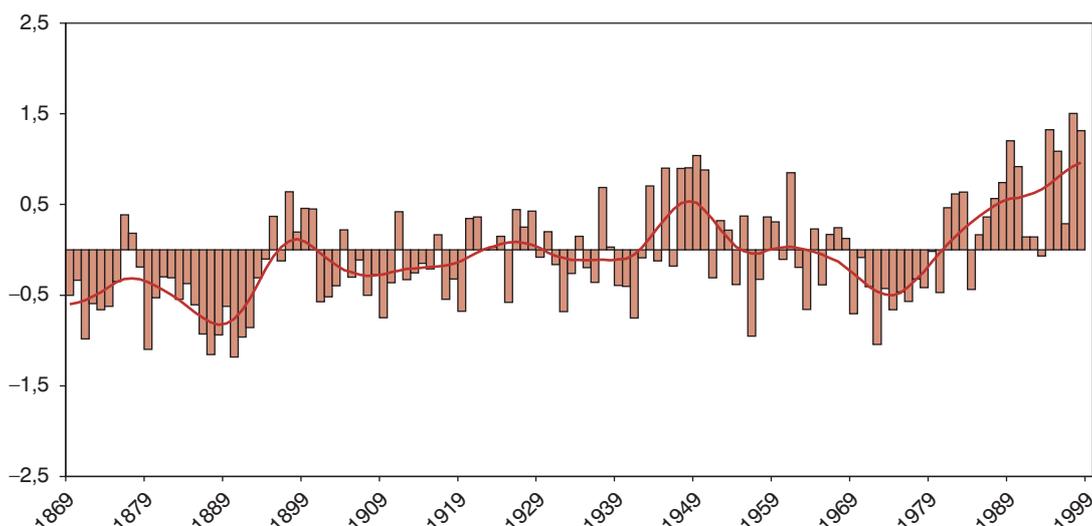
Las conclusiones son, por tanto, generales, y difícilmente pueden aplicarse a sitios concretos porque, el nivel de conocimiento que se tiene y la resolución temporal y espacial a la que se ha podido trabajar es insuficiente. No obstante, sí podemos obtener una visión de las tendencias del cambio, con implicaciones claras para aquellas decisiones cuyo marco de actuación temporal es largo. Por lo demás, la necesidad de seguir avanzando en el conocimiento sobre el cambio climático y sus efectos es imperiosa. El informe contiene numerosas recomendaciones acerca de por dónde deben encaminarse las prioridades. Si hay que destacar una, ésta es la de realizar evaluaciones integradas, que incluyan la aplicación de modelos a las proyecciones climáticas más detalladas, espacial y temporalmente, que empiezan a estar disponibles.



## EL CLIMA DE ESPAÑA

El clima de España es enormemente variado debido a su compleja topografía y situación geográfica. Las diferencias espaciales de los valores térmicos medios anuales superan los 18 °C en el territorio peninsular; el rango de la precipitación anual promedio abarca desde apenas 150 mm a más de 2.500 mm. A ello hay que añadir la elevada variabilidad climática interanual y la notable amplitud de valores diarios extremos. Así, por ejemplo, la variabilidad pluviométrica anual alcanza coeficientes superiores al 30% en las regiones mediterráneas y el archipiélago canario, y las secuencias de días consecutivos sin lluvia llegan a rebasar los 4 meses en la mitad meridional. Esta variabilidad climática interanual está condicionada, en buena medida, y en concreto en lo que a las precipitaciones se refiere, por los patrones de circulación de la atmósfera en el Hemisferio Norte, en particular por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

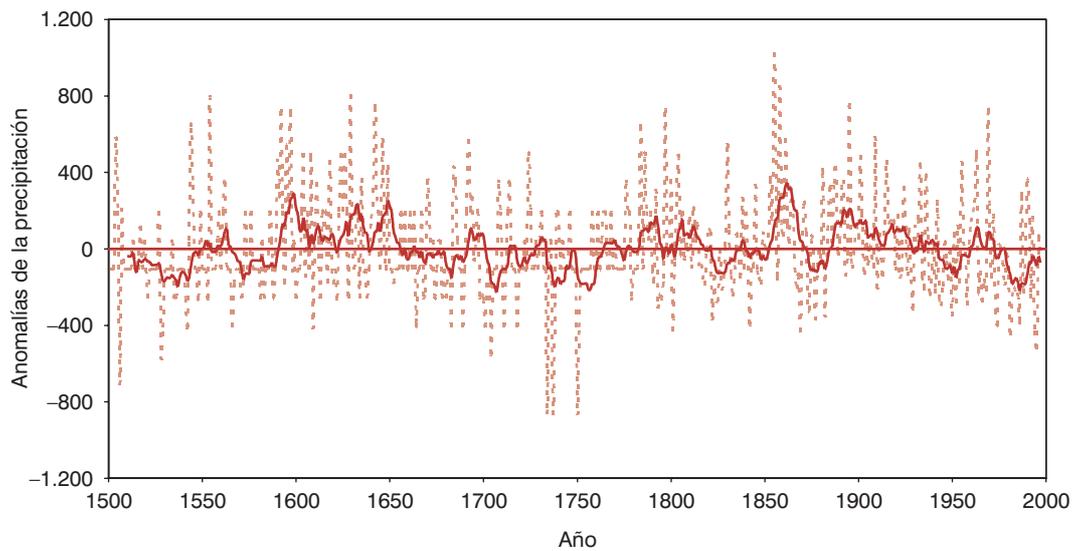
Durante el siglo XX, y particularmente desde la década de los 70 de ese siglo, las temperaturas en España han aumentado de forma general, con una magnitud algo superior a la media global del planeta (Fig. 1). Este aumento ha sido particularmente acusado en invierno. Las precipitaciones durante este periodo han tendido a la baja (Fig. 2), sobre todo en la parte meridional y Canarias, aunque su alta variabilidad impide hacer un juicio más taxativo. Esta tendencia se corresponde, en parte, con un aumento en el índice de la NAO.



**Fig. 1.** Anomalías absolutas de la temperatura media anual con respecto a la media del período 1961-1990 en el NE de España (°C) (1869-1998) —suavizado con un filtro gaussiano de 13 términos—. Modificada a partir de BRUNET *et al.* (2001b): *Detecting and modelling regional climate change*. Springer.

La tendencia del clima futuro que resulta de la aplicación de modelos climáticos globales está condicionada por diversas fuentes de incertidumbre. Entre ellas destaca la propia evolución de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) y de aerosoles azufrados. Por esta razón, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha establecido un conjunto de escenarios de emisiones, en función de diversos supuestos acerca del crecimiento de la población, de la evolución de las actividades socio-económicas y del progreso tecnológico a lo largo del siglo XXI.

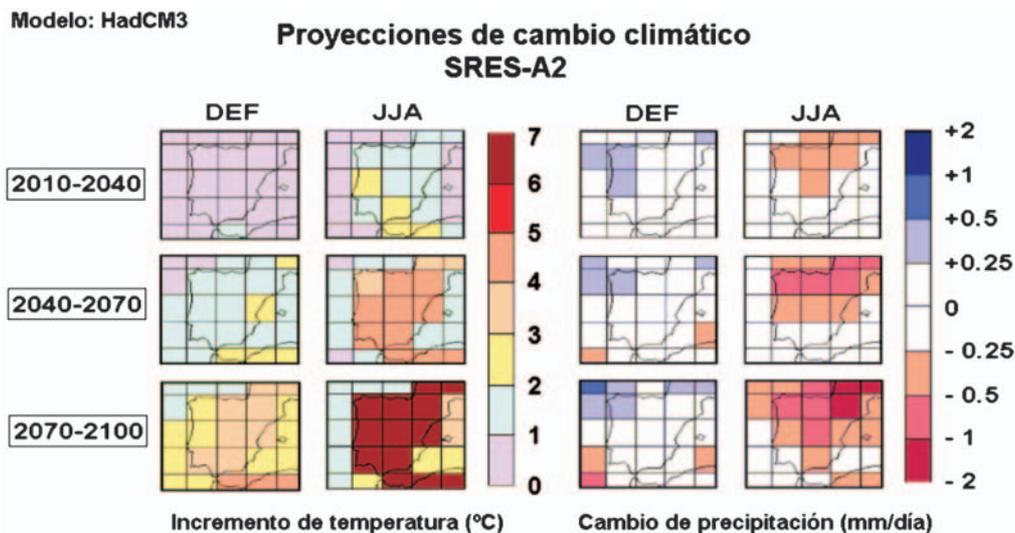
Entre estos escenarios, se han considerado los dos que más se han aplicado a los modelos climáticos. El A2 se corresponde con una evolución de emisiones de GEI tal que en el año 2100 la concentración global media de CO<sub>2</sub> llegaría a 850 ppm, un 120% más que la actual. El escenario B2 contempla un



**Fig. 2.** Anomalías absolutas de la precipitación anual en Andalucía (mm) (1500-2000) —suavizado con medias móviles de 10 años—. RODRIGO et al. (1999, 2000): *Int. J. Climatol.* 19: 1233-1253 y 20: 721-732.

ritmo de emisiones menos acelerado aunque en este supuesto para el fin del siglo la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera llegaría a 760 ppm, esto es, aproximadamente el doble que la actual.

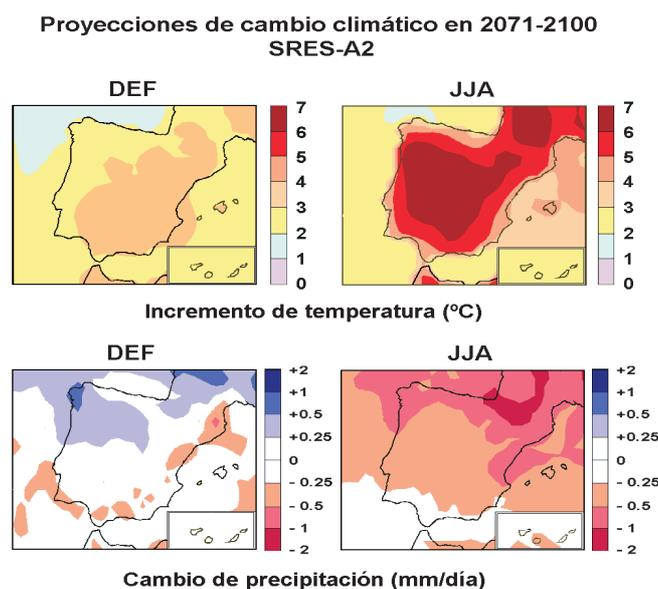
Las proyecciones climáticas que se obtienen utilizando modelos climáticos globales (Fig. 3) muestran que a lo largo del siglo XXI se producirá un incremento relativamente uniforme de la temperatura en la Península Ibérica, con una tendencia media de 0,4 °C/década en invierno y de 0,7 °C/década en verano para el escenario menos favorable (A2 del IPCC), y de 0,4 °C y 0,6 °C/década, respectivamente, para el escenario más favorable (B2 del IPCC).



**Fig. 3.** Proyecciones de cambio de temperatura del aire junto al suelo (a 2 m) y de cambio de precipitación media (en mm/día), promediadas para dos estaciones del año (DEF invierno y JJA verano), correspondientes a tres periodos del siglo XXI: 2010-2040 2040-2070 y 2070-2100, y al escenario SRES de emisiones A2. Las simulaciones se realizaron con el modelo HadCM3 y los resultados se tomaron del IPCC-DDC.

Por lo que respecta a las precipitaciones, las tendencias de cambio a lo largo del siglo no son, por lo general, uniformes, existiendo notables discrepancias entre los diferentes modelos globales, lo que resta fiabilidad al resultado. No obstante, todos ellos coinciden en una reducción significativa de las precipitaciones totales anuales, algo mayor en el escenario A2 que en el B2. Dichas reducciones resultan máximas en la primavera y algo menores en el verano.

La aplicación de modelos climáticos regionales a los resultados obtenidos con los modelos globales permite ampliar el detalle de las proyecciones climáticas. Los resultados de uno de estos modelos (*PROMES*) para el último tercio del siglo XXI muestran lo siguiente (Fig. 4):



**Fig. 4.** Proyecciones de cambio de temperatura media diaria del aire superficial (°C) y de cambio de precipitación (en mm/día), promediadas para dos estaciones del año (DEF invierno y JJA verano) en la Península Ibérica, Baleares y Canarias (esquina inferior derecha en cada mapa), correspondientes al escenario SRES de emisiones A2. Los valores corresponden a diferencias entre la simulación del periodo 2071-2100 y la de control (1961-1990). De MOMAC (Grupo de Modelización numérica para el medio ambiente y el clima, UCLM, Toledo) (datos no publicados).

- En el interior peninsular los incrementos de temperatura con respecto al clima actual en el escenario A2 alcanzan valores de 5 °C a 7 °C en verano y de 3 °C a 4 °C en invierno. En el escenario B2 la distribución del calentamiento es similar a la del escenario A2, pero generalmente 1 °C menos intenso. En la periferia de la Península e Islas Baleares, el calentamiento proyectado es unos 2 °C menor que en el interior, y en Canarias unos 3 °C menor que en el interior en verano y de 2 °C menor en invierno.
- Los cambios proyectados para la precipitación acumulada son más heterogéneos espacialmente. En invierno resultan leves incrementos en el noroeste y leves disminuciones en el suroeste en ambos escenarios de emisiones. En primavera resultan mayores disminuciones de forma generalizada, aunque algo superiores en el escenario A2 que en el B2. En verano el descenso de precipitación es máxima en todo el territorio, excepto en Canarias. En otoño se proyecta para el escenario A2 un ligero incremento en el noreste y una disminución en el suroeste, resultando ambos menos intensos en el escenario B2.
- Se proyecta un aumento en la amplitud y frecuencia de las anomalías térmicas mensuales en el clima futuro en relación con el clima actual. Aunque este incremento no se observa de for-

ma regular en todo el territorio, en todas las estaciones del año y en los dos escenarios de emisiones, los incrementos en la amplitud se mantienen en torno al 20%. Por otra parte, no se aprecian alteraciones significativas en la frecuencia de anomalías mensuales de precipitación, aunque esta conclusión resulta notablemente más cuestionable.

- La frecuencia de días con temperaturas máximas extremas en la Península Ibérica tiende a incrementarse muy significativamente en primavera y en menor medida también en otoño, mientras que en Baleares y Canarias no se observan cambios apreciables, al igual que ocurre en las otras dos estaciones del año en todo el territorio. La frecuencia de días con temperaturas mínimas extremas en la Península tiende a disminuir.

Considerando el conjunto de resultados del cambio climático proyectado a lo largo del siglo XXI para España por los diferentes modelos climáticos considerados en este informe, es posible ordenar su grado de fiabilidad en sentido decreciente de la siguiente manera:

1. Tendencia progresiva al incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo.
2. Tendencia a un calentamiento más acusado en el escenario con emisiones más altas.
3. Los aumentos de temperatura media son significativamente mayores en los meses de verano que en los de invierno.
4. El calentamiento en verano es superior en las zonas del interior que en las costeras o en las islas.
5. Tendencia generalizada a una menor precipitación acumulada anual.
6. Mayor amplitud y frecuencia de anomalías térmicas mensuales.
7. Mayor frecuencia de días con temperaturas máximas extremas en la Península, especialmente en verano.
8. Para el último tercio del siglo, la mayor reducción de precipitación en la Península se proyecta en los meses de primavera.
9. Aumento de precipitación en el oeste de la Península en invierno y en el noreste en otoño.
10. Los cambios de precipitación tienden a ser más significativos en el escenario de emisiones más elevadas.

## **EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA: IMPACTOS, VULNERABILIDAD, ADAPTACIÓN Y NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN**

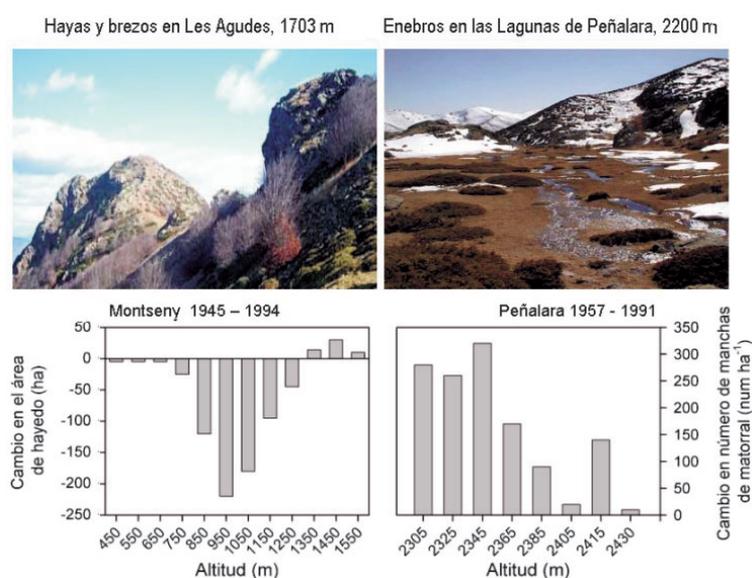
### ***Ecosistemas terrestres***

El cambio climático acelerado está dando lugar a un abanico de efectos directos e indirectos que se ven acentuados por la interacción con otros motores del cambio global (cambios de uso del territorio, contaminación, intercambio biótico).

Los efectos del cambio climático difieren para los ecosistemas de la región Atlántica, limitados por temperatura, y para los de la región Mediterránea, limitados por agua. Mientras la productividad podría aumentar con el cambio climático en los primeros, posiblemente disminuya en los segundos.

El cambio climático alterará la fenología y las interacciones entre especies, favorecerá la expansión de especies invasoras y plagas, aumentará el impacto de las perturbaciones, tanto naturales como de origen humano, y afectará a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres.

Con el cambio climático disminuirá la capacidad de secuestro de carbono atmosférico de los ecosistemas y se producirán migraciones altitudinales de especies (Fig. 5) así como extinciones locales.



**Fig. 5.** Migración altitudinal de formaciones vegetales en dos montañas (Macizo del Montseny, Barcelona, y Peñalara, Sierra de Guadarrama, Madrid) durante la segunda mitad del siglo XX. En Montseny se muestran los cambios en la superficie de los bosques de hayas para un periodo de 49 años de progresivo calentamiento y cambios en los usos del suelo (tomado de Peñuelas y Boada 2003, *Global Change Biol.* 9: 131-140), mientras que en Peñalara se muestra el incremento en el número de manchas de arbustos por hectárea tras 34 años (elaborado a partir de promedios de los transectos SW-NE y W-E, De SANZ ELORZA *et al.* (2003): *Ann. Bot.* 92: 273-280).

Por el contrario, es actualmente incierto si las especies serán capaces de evolucionar y adaptarse a tiempo al cambio climático, si las plantas aumentarán la eficiencia en el uso del agua con la sequía y el calentamiento, y si estos procesos acelerarán los ciclos biogeoquímicos.

Las zonas y sistemas más vulnerables al cambio climático son las islas y los ecosistemas aislados, como son las islas edáficas y los sistemas de alta montaña, y los ecotonos o zonas de transición entre sistemas.

La gestión de los ecosistemas terrestres debe implicar a la sociedad en su conjunto y buscar fórmulas creativas para la financiación de actividades de mitigación de efectos, restauración e investigación.

La conservación de los ecosistemas terrestres en un escenario de cambio climático entra en conflicto con numerosas actividades humanas, sobre todo en relación con el uso de recursos naturales como el agua. Es precisa una gestión integrada de los múltiples bienes y servicios que nos prestan los ecosistemas terrestres.

Entre las principales necesidades de investigación destaca la consolidación de redes de seguimiento ecológico a largo plazo, aprovechando en lo posible las ya existentes y favoreciendo la parti-

cipación interdisciplinar de la comunidad científica, el estudio de las interacciones tanto entre factores ambientales como entre especies y niveles tróficos, y la determinación de valores mínimos de tolerancia (climáticos, estructurales, funcionales) en sistemas vulnerables al cambio climático.

### ***Ecosistemas acuáticos continentales***

Los ecosistemas acuáticos continentales españoles son muy diversos, generalmente de pequeño tamaño, están incluidos en cuencas hidrográficas muy grandes, a menudo dependen de las aguas subterráneas y experimentan intensas fluctuaciones hídricas, relacionadas con el balance hídrico local, que afectan a su funcionamiento ecológico.

Su importancia radica, entre otros motivos, en que son, en su mayoría, ambientes distintos de los europeos templados y fríos, con multitud de lugares endorreicos y ecosistemas temporales, así como floras y faunas singulares y muy específicas.

Con un gran nivel de certeza se puede asegurar que el cambio climático hará que parte de los ecosistemas acuáticos continentales españoles pasen de ser permanentes a estacionales; algunos desaparecerán.

La biodiversidad de muchos de ellos se reducirá y sus ciclos biogeoquímicos se verán alterados. La magnitud de estos cambios aún no puede precisarse.

Los ecosistemas más afectados serán: ambientes endorreicos, lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 m), humedales costeros y ambientes dependientes de las aguas subterráneas (Fig. 6).

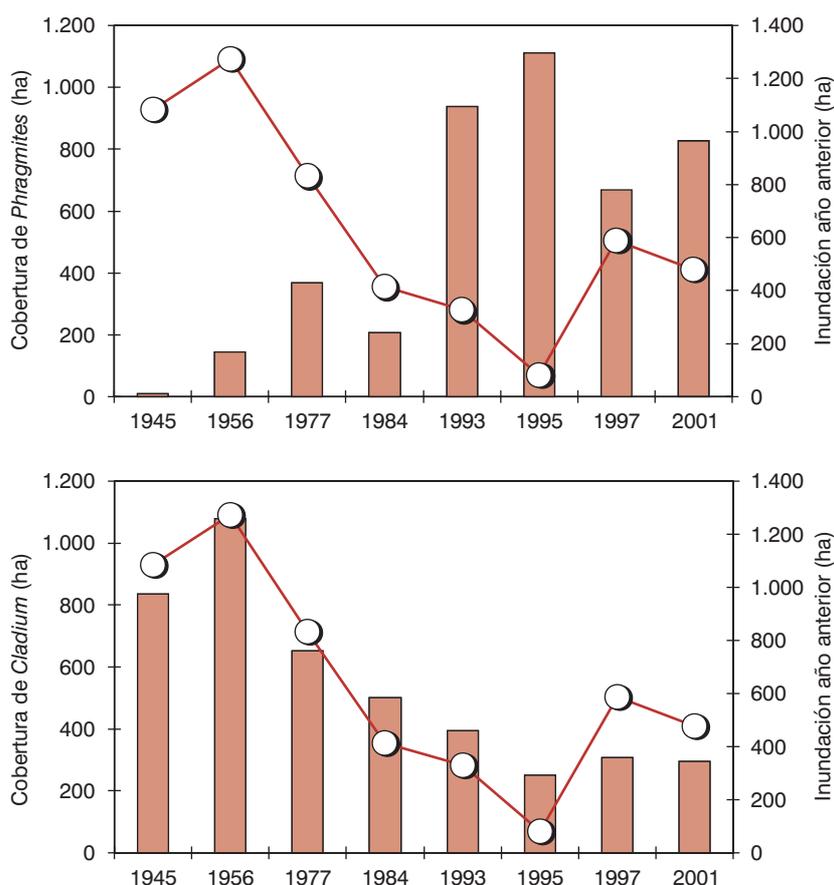
Las posibilidades de adaptación de los ecosistemas acuáticos continentales españoles al cambio climático son limitadas. Para paliar los efectos hacen falta políticas de ahorro de agua, mejora de su calidad e intensificación de las medidas de conservación de los ambientes terrestres que los rodean.

Puesto que se prevén nuevos conflictos por el agua debidos al cambio climático, hay una certeza razonable de que la conservación de los ecosistemas acuáticos continentales españoles será la prioridad más fácil de ignorar.

Los cambios que verosíbilmente experimentarán los ecosistemas acuáticos continentales españoles afectarán a la conservación ambiental y a los sectores del turismo, la protección civil, el abastecimiento de aguas y la pesca continental.

Las lagunas en el conocimiento se deben a: 1.º carencia de series de datos fiables a largo plazo; 2.º información aún escasa sobre el estado ecológico y la biología de las especies más importantes; 3.º desconocimiento de los procesos de histéresis y 4.º desconocimiento de los efectos que sobre los ecosistemas acuáticos continentales españoles pueden tener los cambios abruptos o graduales de las comunidades vegetales terrestres y de la geología de las cuencas hidrográficas en que se enclavan.

Las necesidades de investigación son grandes, pues prácticamente no se ha abordado aún el conocimiento de los ecosistemas acuáticos continentales españoles en relación con el cambio climático.



**Fig. 6.** Cobertura anual (barras verticales, escala izquierda) de las dos especies principales de la vegetación emergente en Las Tablas de Daimiel e inundación en el año precedente (círculos blancos, escala derecha) durante el periodo 1945-2002. Las coberturas representadas se basan en la fotografía aérea disponible para el periodo 1945-1997. Aunque no se muestre aquí, hay también una relación distinta entre la inundación del humedal en el año precedente y la cobertura de cada especie, que es directa en el caso de la masiega (*Cladium*) e inversa en el caso del carrizo (*Phragmites*). En condiciones de aridez creciente, resultantes del cambio climático, la expansión del carrizo se vería favorecida. De CIRUJANO y ALVAREZ COBELAS (datos no publicados).

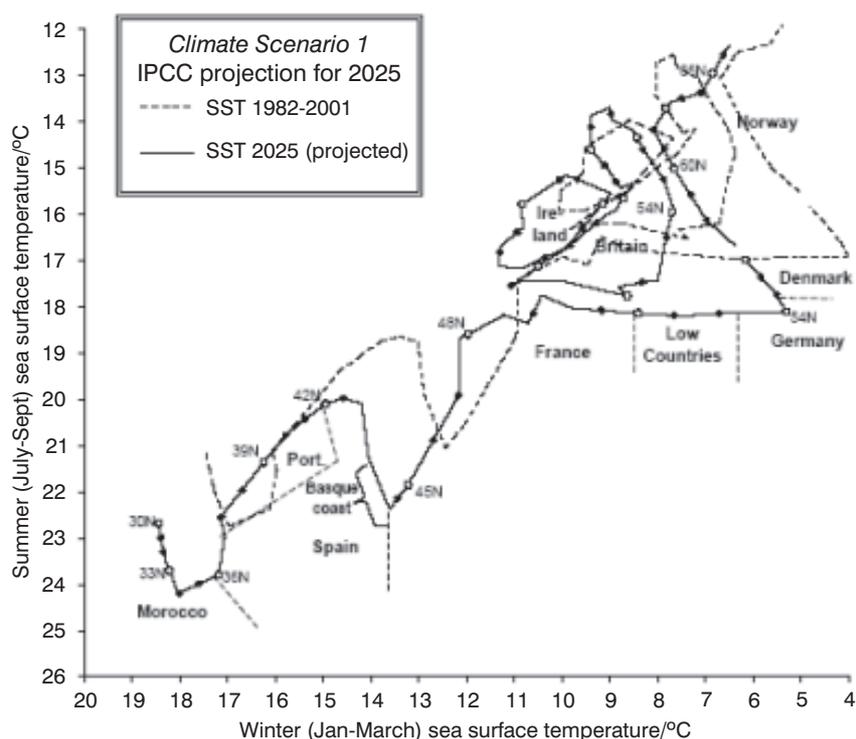
## Ecosistemas marinos y el sector pesquero

Los efectos del cambio climático diferirán para ecosistemas de afloramiento o de zonas estratificadas, así como de zonas costeras u oceánicas.

Se prevé una reducción de la productividad de las aguas españolas, dadas sus características de mares subtropicales o templados cálidos.

Los cambios afectarán a muchos grupos de organismos, desde fitoplancton y zooplancton a peces y algas. Habrá cambios en las redes tróficas marinas, afectando a las especies recurso, sobre todo en su fase larvaria y en el reclutamiento.

La distribución de las especies cambiará, con aumento de especies de aguas templadas y subtropicales y disminución de especies boreales (Fig. 7). Es posible un aumento de especies invasoras.



**Fig. 7.** Proyección de la temperatura superficial del mar (°C) en la costa noreste del Atlántico en invierno (enero-marzo)(abscisa) y en verano (julio-septiembre)(ordenada). El trazado discontinuo representa las temperaturas medidas en las dos últimas décadas (1982-2001) y en trazado continuo se representan las proyecciones para 2025. De ALCOK (2003).

Los cultivos marinos no subsidiados con alimento pueden verse afectados por la reducción de la productividad marina.

Son esperables incrementos en la aparición de especies de fitoplancton tóxico o de parásitos de especies cultivadas, favorecidas por el incremento térmico de las aguas costeras.

Las zonas y sistemas más vulnerables al cambio climático son las comunidades bénticas, siendo las praderas de fanerógamas de las más sensibles.

La gestión de los ecosistemas marinos costeros y de las especies marinas, debe ser considerada desde un punto de vista multiespecífico y ecosistémico. Debe favorecerse la búsqueda de soluciones que mitiguen los efectos generados por la actividad humana directa, y el seguimiento a medio o largo plazo de las actuaciones.

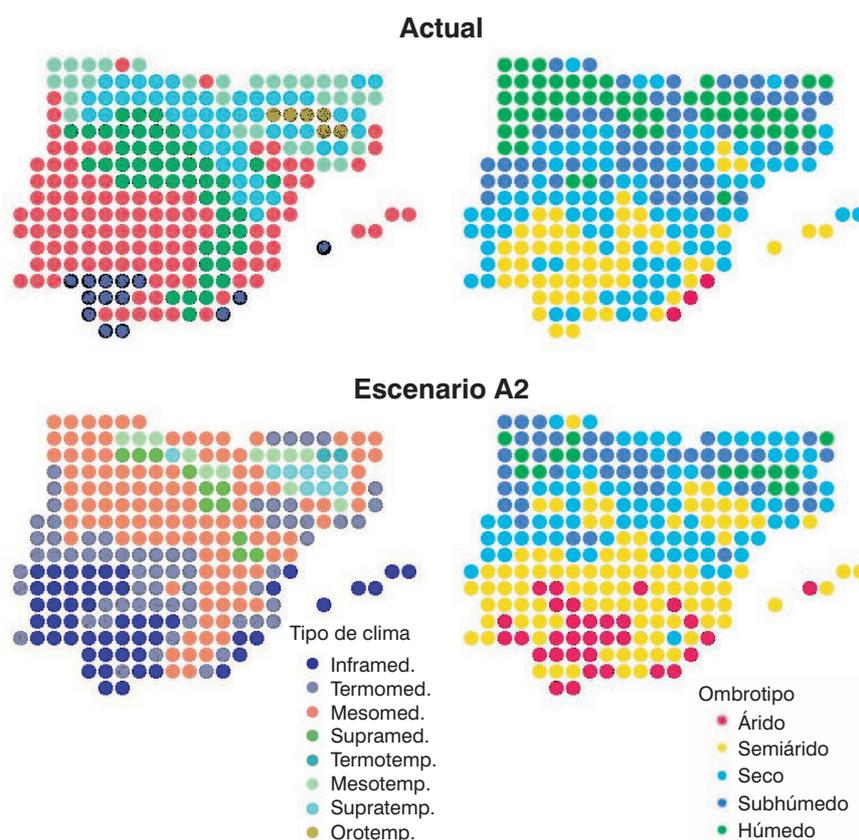
Es necesario consolidar las redes de seguimiento ambiental y ecológico a largo plazo, aprovechando y mejorando las ya existentes. Se deben potenciar las bases de datos accesibles.

Se debe potenciar la participación española en programas internacionales y promover planes de investigación dedicados a conocer los impactos generados por el cambio oceánico en especies y ecosistemas, desde un punto de vista tanto retroactivo como prospectivo.

## Biodiversidad vegetal

Los impactos directos del cambio climático sobre la diversidad vegetal se producirán a través de dos efectos antagónicos: el calentamiento y la reducción de las disponibilidades hídricas.

La «mediterraneización» del norte peninsular y la «aridización» del sur son algunas de las tendencias más significativas (Fig. 8).



**Fig. 8.** Cambios en la distribución de los pisos bioclimáticos de acuerdo con las proyecciones de PROMES para el escenario SRES A2. A la izquierda, termotipos mediterráneos (infra-, termo-, meso- y supramediterráneo) y templados (termo-, meso-, supra- y orotemplado). A la derecha, ombrotipos (árido, semiárido, seco, subhúmedo y húmedo). Arriba, distribución actual (1960-1990); abajo, distribución de acuerdo con las proyecciones de PROMES para el escenario SRES A2 y el período 2070-2100. De FÉRNÁNDEZ-GONZÁLEZ (datos no publicados).

Los impactos indirectos más importantes son los derivados de cambios edáficos, cambios en el régimen de incendios y ascenso del nivel del mar para la vegetación costera.

Las interacciones con otros componentes del cambio global y la modificación de las interacciones entre especies constituyen otra fuente potencial de impactos sobre los que empiezan a acumularse evidencias.

La vegetación de alta montaña, los bosques y arbustadas caducifolios sensibles a la sequía estival, los bosques esclerofilos y lauroides del sur y suroeste peninsular y la vegetación litoral se cuentan entre los tipos más vulnerables.

La simplificación estructural de la vegetación y el predominio de las extinciones locales sobre las recolonizaciones son tendencias recurrentes de los distintos impactos. Las pérdidas de diversidad florística tienen una relevancia especial en el caso español, puesto que nuestro país alberga una proporción muy elevada de la diversidad vegetal europea.

Evitar las pérdidas de biodiversidad causadas por los impactos del cambio climático, requiere respuestas globales. Las estrategias sectoriales que se elaboren requieren un marco geográfico más amplio que el de las administraciones regionales o locales de las que dependen en la actualidad.

La red de espacios protegidos y la política de conservación, la restauración ecológica, la gestión forestal, la regulación de los usos ganadero y cinegético, la ordenación del territorio, la evaluación ambiental y la educación ambiental son las políticas más involucradas en el reto de aportar respuestas a los impactos del cambio climático.

Las tres líneas principales de investigación que deben fomentarse son: el seguimiento de los cambios en curso, incluyendo programas a largo plazo de medidas sobre el terreno; las respuestas de las especies y comunidades a los cambios, y la elaboración de modelos predictivos, basados en la información suministrada por las anteriores y en las proyecciones de los modelos del clima.

### ***Biodiversidad animal***

España es, posiblemente, el país más rico en especies animales de la UE, y es el que posee el mayor número de endemismos, por lo que los cambios en la diversidad animal tienen una especial relevancia.

El cambio climático producirá cambios fenológicos en las poblaciones, con adelantos (o retrasos) en el inicio de actividad, llegada de migración o reproducción (Fig. 9).

Cabe esperar desajustes entre predadores y sus presas debidos a respuestas diferenciales al clima.

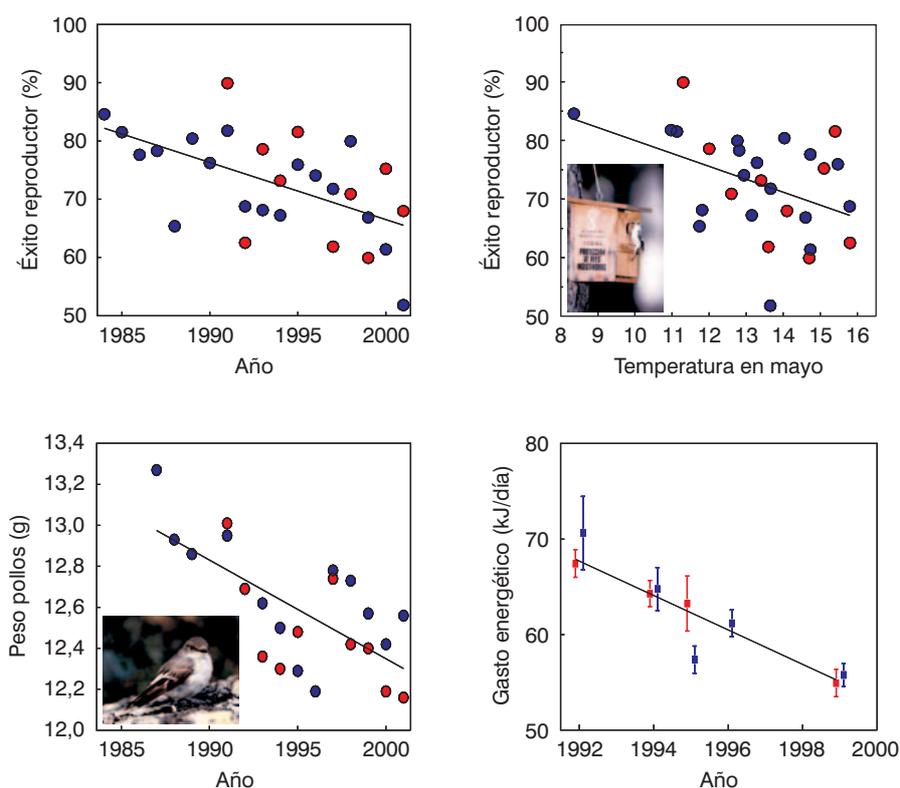
Otro efecto previsible es el desplazamiento en la distribución de especies terrestres hacia el Norte o hacia mayores altitudes, en algunos casos con una clara reducción de sus áreas de distribución; en los ríos las especies termófilas se desplazarán aguas arriba y disminuirá la proporción de especies de aguas frías; en lagunas y lagos, la altitud, la latitud y la profundidad tienen efectos similares sobre las comunidades en relación con la temperatura.

Asimismo, el cambio climático puede producir una mayor virulencia de parásitos y un aumento de poblaciones de especies invasoras.

Las zonas más vulnerables al cambio climático son las zonas costeras, humedales, cursos de agua permanentes, que pasarán a estacionales, y estacionales, que tendrán un caudal más irregular o incluso desaparecerán, zonas de alta montaña y pastizales húmedos.

En respuesta al cambio climático, podría esperarse bien un desplazamiento de las áreas de distribución de las especies o bien una adaptación rápida de los organismos a las nuevas condiciones ecológicas. Ninguna de las dos posibilidades parece factible para la mayoría de las especies estudiadas en el contexto actual.

Las principales soluciones de gestión deben incluir el diseño de reservas y parques naturales con la inclusión de corredores biológicos entre ellas. La red de áreas protegidas debería incorporar gradientes latitudinales y altitudinales para proteger a poblaciones en vías de desplazamiento geo-



**Fig. 9.** Cambios temporales a lo largo de más de una década en el éxito reproductor en dos poblaciones de Papamoscas cerrojillo del Sistema central (puntos azules: La Hiruela, Madrid; puntos rojos: Valsaín, Segovia) y en el gasto energético diario de los adultos durante la fase final de la crianza de los pollos (símbolos azules: hembras, símbolos rojos: machos). De SANZ et al. (2003): *Global Change Biol.* 9: 461-472.

gráfico debido al cambio climático. Las zonas o áreas especialmente sensibles al cambio climático deben identificarse, sobre todo para especies que no tengan opción para desplazar su hábitat.

Es necesario potenciar la investigación en taxonomía y la que incluya series temporales largas, tanto a nivel específico como de comunidades. Se requiere un mayor y mejor conocimiento de la diversidad faunística y de su distribución para el estudio de patrones eco/geográficos de biodiversidad.

No debe permitirse el deterioro o progresiva desaparición de fuentes de información como la base fenológica de plantas y animales (aves e insectos) que se inició en 1940 por el Servicio de Meteorología Agrícola del Instituto Nacional de Meteorología (INM).

## Recursos hídricos

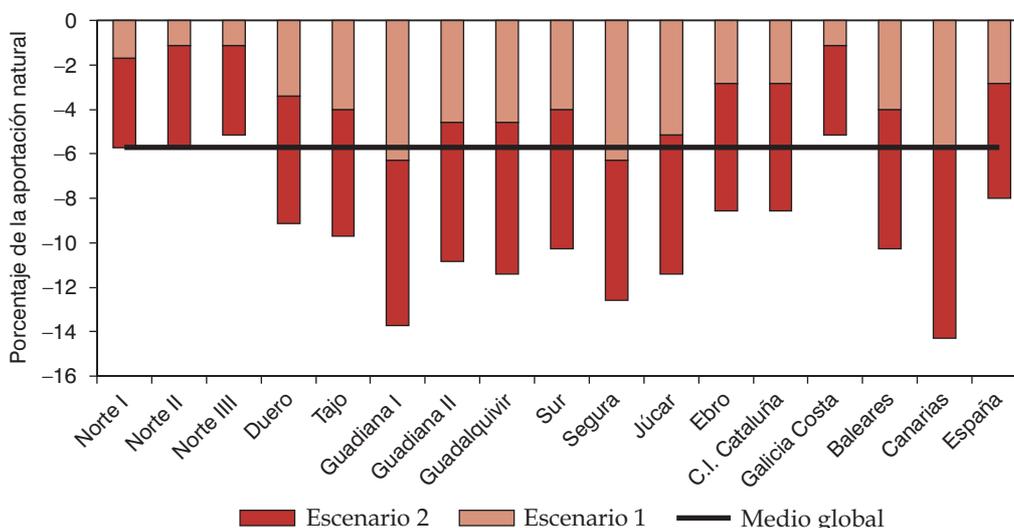
El cambio climático, con aumento de la temperatura y, en España, disminución de la precipitación, causará una disminución de aportaciones hídricas y un aumento de la demanda en los sistemas de regadío.

Los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos no sólo dependen de las aportaciones procedentes del ciclo hidrológico, sino que es el sistema de recursos hidráulicos disponible y la forma de manejarlo un factor determinante de la suficiencia o escasez de agua frente a la demanda de la población.

La sensibilidad de los recursos hídricos al aumento de la temperatura y disminución de precipitación es muy alta, precisamente en las zonas con temperaturas medias altas y con precipitaciones bajas. Las zonas más críticas son las semiáridas, en las que las aportaciones pueden reducirse hasta un 50% sobre el potencial actual.

Frecuentemente, la temporalidad en la distribución de precipitaciones y temperaturas incide en la generación de recursos hídricos con mayor entidad que los mismos valores medios de estos parámetros.

Los recursos hídricos sufrirán en España disminuciones importantes como consecuencia del cambio climático. Para el horizonte de 2030, simulaciones con aumentos de temperatura de 1 °C y disminuciones medias de precipitación de un 5% ocasionarían disminuciones medias de aportaciones hídricas en régimen natural de entre un 5 y un 14% (Fig. 10)



**Fig. 10.** Porcentajes de disminución de la aportación total, para los escenarios climáticos considerados, en el largo plazo de la planificación hidrológica. Los escenarios 1 y 2 representan simulaciones de aumento de la temperatura de 1 °C, sin cambio en las precipitaciones o con una disminución del 5% de éstas, respectivamente. De MIMAM 2000, *El Libro Blanco del Agua en España*.

Para 2060, simulaciones con aumentos de temperatura de 2,5 °C y disminuciones de precipitación de un 8% producirían una reducción global media de los recursos hídricos de un 17%. Estas cifras pueden superar el 20 a 22% para los escenarios previstos para final de siglo.

Junto la disminución de los recursos se prevé un aumento de la variabilidad interanual de los mismos. El impacto se manifestará más severamente en las cuencas del Guadiana, Canarias, Segura, Júcar, Guadalquivir, Sur y Baleares.

El cambio implicará necesariamente la remodelación y redefinición de nuevas políticas como la científico-tecnológica, hidráulica, energética, agrícola, medioambiental y planificación del territorio.

Es recomendable continuar con el hábito de medidas establecido en España mediante los sistemas de control. Se resalta, sin embargo, la conveniencia de diseñar e implantar, o mejorar la implantación, de las redes de control de usos del agua, superficial y subterránea, y de la red de medidas de caudales en fuentes y surgencias.

Es prioritario avanzar las investigaciones tendentes a mejorar las previsiones de precipitación y temperatura, así como de su distribución espacial y temporal.

Asimismo, se necesita investigación para mejorar los métodos de generación de series de datos climáticos basadas en escenarios, para disponer de métodos mejores y más fiables en el cálculo de evaporaciones y evapotranspiraciones, así como sobre el papel del agua en el suelo, la interceptación y reserva de agua utilizable por las plantas, y para conocer con más fiabilidad la recarga de acuíferos. Es necesario desarrollar modelos para la automatización del cálculo de aportaciones y de gestión en cuencas.

## **Recursos edáficos**

Una parte importante de la superficie del territorio español está amenazada actualmente por procesos de desertificación, especialmente como consecuencia de los incendios forestales y de pérdida de fertilidad en suelos de regadío por salinización y erosión.

Las proyecciones del cambio climático agravarían dichos problemas de forma generalizada y, especialmente, en la España de clima mediterráneo seco y semiárido.

Uno de los componentes esenciales de la fertilidad natural de los suelos es su contenido en carbono orgánico. Su variabilidad en los suelos españoles es enorme: desde menos de 4 kg m<sup>-2</sup> en zonas del Valle del Ebro o en la costa Sur mediterránea, hasta 30 kg m<sup>-2</sup> en suelos forestales de Galicia.

Se estima que, en promedio, por cada aumento de temperatura de 1 °C la pérdida de carbono orgánico en el suelo puede ser del 6-7 %, valor que puede aumentar o disminuir según sea el cambio en la precipitación y también según las características propias del suelo y sus usos.

Con el cambio climático el contenido en carbono de los suelos españoles disminuirá, lo cual afectará de forma negativa a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos.

Las zonas donde cabe esperar pérdidas mayores de carbono orgánico serán las más húmedas (N de España) y en los usos de suelo que comportan contenidos en carbono orgánico más elevados (prados y bosques).

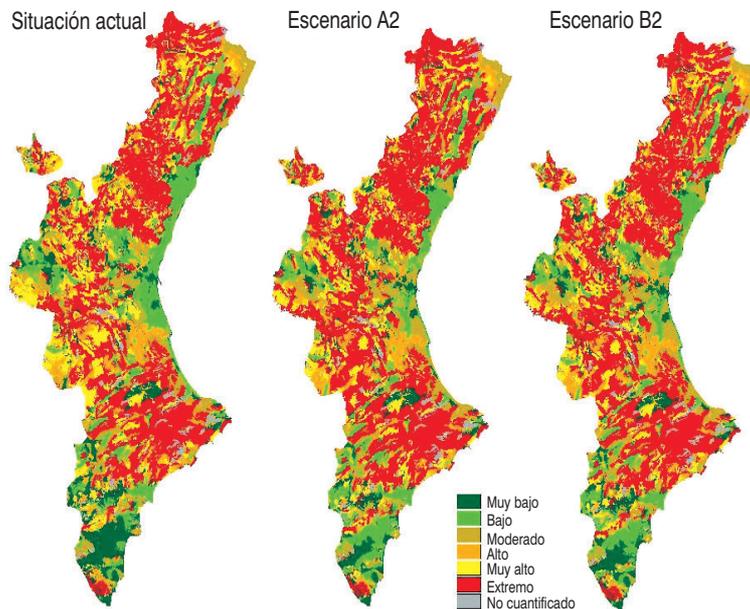
El cambio en el régimen de precipitaciones inducirá incrementos en el grado de erosión potencial de los suelos, aunque estos no sean generalizable, pues dependen del tipo de suelo.

En general, el riesgo de erosión será mayor en aquellas zonas que ya presentan un riesgo alto (Fig. 11) y será igual, o incluso puede disminuir, en aquellas zonas de suelos más ricos.

La reforestación de tierras marginales y yermas, y la práctica de una agricultura orientada a la conservación del suelo y al aumento del contenido de carbono orgánico y la mejora de la fertilidad edáfica ofrecen grandes posibilidades de contrarrestar los efectos negativos del cambio climático.

La reforma de la Política Agraria Común (Agenda 2000) ofrece posibilidades de aplicación de estos principios. La calidad del suelo debería tomarse en consideración en los planes urbanísticos y en cualquier reclasificación de usos. La elaboración de la *Estrategia Europea de Conservación de Suelos* debe poner las bases para el desarrollo de normativas europeas sobre conservación y uso sostenible del suelo.

## GRADO DE EROSIÓN POTENCIAL



**Fig. 11.** Estimación del grado de erosión según las predicciones de cambio climático para la Comunidad Valenciana. Se ha modificado el factor R (erosividad de la lluvia en el modelo USLE) de acuerdo con las previsiones de cambio del régimen de precipitaciones. De VALLEJO (datos no publicados).

Una primera necesidad básica sobre los recursos edáficos es el inventariado de los mismos a una escala útil a la gestión (al menos 1:50.000), sobre el cual plasmar la evaluación de su estado, planificar su gestión y proyectar las tendencias de cambio. Es necesario recopilar la información existente, dispersa en distintas instituciones, a distintas escalas y formatos, y proceder a su homogeneización e informatización siguiendo los criterios de la base de datos de FAO-CSIC.

Deberían promoverse estudios básicos a largo plazo para intentar detectar las tendencias en la evolución de los suelos y sus respuestas a las perturbaciones y al cambio climático, especialmente en relación con los eventos de baja periodicidad.

### **Sector forestal**

El origen de las especies arbóreas es antiguo, y todas ellas han pasado por numerosos avatares. No obstante, si los ejemplares adultos son resistentes, los más jóvenes, cuando el bosque está en fase de regeneración, no lo son tanto. El cambio climático, junto a la regresión del medio, puede aumentar la sensibilidad de muchas especies, dado que no podrán ocupar terrenos en los que estuvieron con anterioridad, debido a erosión u otros cambios.

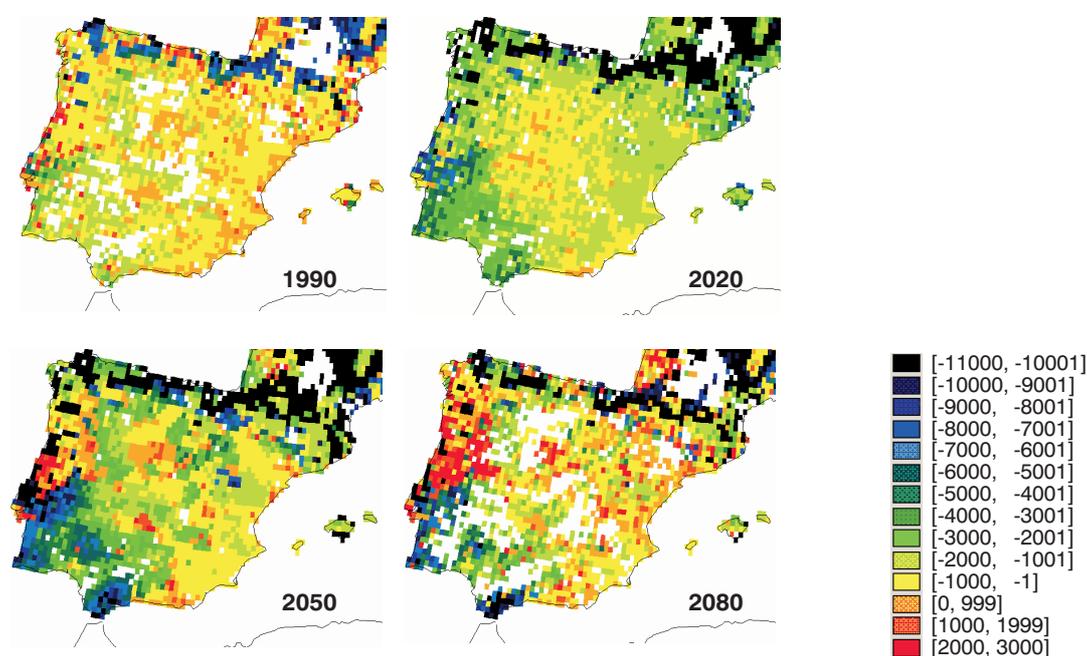
La fisiología de las especies forestales puede verse profundamente afectada. Los caducifolios alargarán su ciclo vegetativo; la renovación foliar y de las raíces finas de los perennifolios se acelerará, alterando el balance interno de reservas de la planta.

El consumo de carbohidratos en la renovación de estructuras aumentará, disminuyendo así las reservas de la planta e incrementando su vulnerabilidad ante episodios adversos.

La reserva de agua en el suelo disminuirá conforme aumente la temperatura y la demanda evaporativa de la atmósfera. Esto supondrá un importante factor de estrés para el arbolado. En las zonas con déficit hídrico esto puede ocasionar cambios en la densidad del arbolado o de especies. En casos extremos, áreas susceptibles de albergar sistemas arbolados pueden perder esta condición, pasando a soportar matorrales u otra vegetación de menor porte.

El retorno al suelo de materia orgánica en forma de hojarasca y raíces finas aumentará, al tiempo que disminuirá la producción de madera. La cantidad de carbono devuelta a la atmósfera aumentará sensiblemente con el paso del tiempo.

La producción primaria aumentará inicialmente, para disminuir conforme discurra el siglo. Existe un riesgo elevado de que muchos de nuestros ecosistemas forestales se conviertan en emisores netos de carbono durante la segunda mitad del presente siglo (Fig. 12).



**Fig. 12.** Estimación de la producción neta del ecosistema en los bosques de la Península Ibérica. Los mapas representan la situación en los años 1990, 2020, 2050 y 2080. Se ha utilizado el modelo GOTILWA+ para simular el crecimiento de los bosques europeos bajo diferentes escenarios socio-económicos de cambio climático definidos por el IPCC. El clima de cada pixel corresponde al estimado por el modelo HadCM3 utilizando el escenario socio-económico A2 (IPCC 2001. Third Assessment Report). Los valores negativos indican que el territorio se comporta como un sumidero neto de carbono, desde moderado (tonos amarillos y verdes) a fuerte (tonos azules y negros). Los valores positivos indican que el territorio se comporta como una fuente neta de carbono (tonos anaranjados y rojos). Los resultados ponen de manifiesto que, en la Península Ibérica, los bosques pueden aumentar transitoriamente su efecto sumidero durante algunas décadas, pero hacia la segunda mitad del presente siglo invertirán su papel de sumideros para transformarse en emisores netos de carbono a la atmósfera. De GRACIA et al. (datos no publicados).

Plagas y enfermedades forestales pueden jugar un papel fundamental en la fragmentación de las áreas forestales. Algunas especies perforadoras o defoliadoras pueden llegar a completar dos ciclos biológicos en un año o aumentar su área de colonización como consecuencia de los inviernos más benignos.

Las zonas culminales de las montañas, los ambientes más xéricos y los bosques de ribera son algunas de las zonas que pueden resultar más vulnerables al cambio climático.

Ante los cambios previsibles, es aconsejable aplicar una gestión adaptativa. El resalveo de los montes bajos reduciendo la densidad de pies puede ser un eficaz tratamiento para mejorar la respuesta de estos montes al cambio climático.

El control y la adecuación de los turnos e intensidades de aprovechamiento deben ser considerados para optimizar la respuesta del bosque. Igualmente, resulta importante la cuidadosa selección de las procedencias de las semillas en las repoblaciones para una gestión adecuada de la diversidad genética.

Entre las necesidades más apremiantes de investigación destacan la necesidad de disponer de un conocimiento más preciso sobre la biomasa subterránea de nuestras especies forestales. Es prioritario potenciar el desarrollo y aplicación de los modelos de crecimiento forestal, para prever las respuestas del bosque a cambios ambientales o patrones de gestión.

El establecimiento o consolidación de redes de observación y análisis de los factores ecofisiológicos que determinan la regeneración y, en conjunto, la respuesta del bosque a los cambios ambientales es, igualmente, imperioso.

## **Sector agrario**

El incremento en la temperatura del aire, de la concentración de CO<sub>2</sub> así como los cambios en las precipitaciones estacionales afectarán a la agricultura española, aunque los efectos serán contrapuestos y no uniformes en las regiones españolas (Fig. 13).

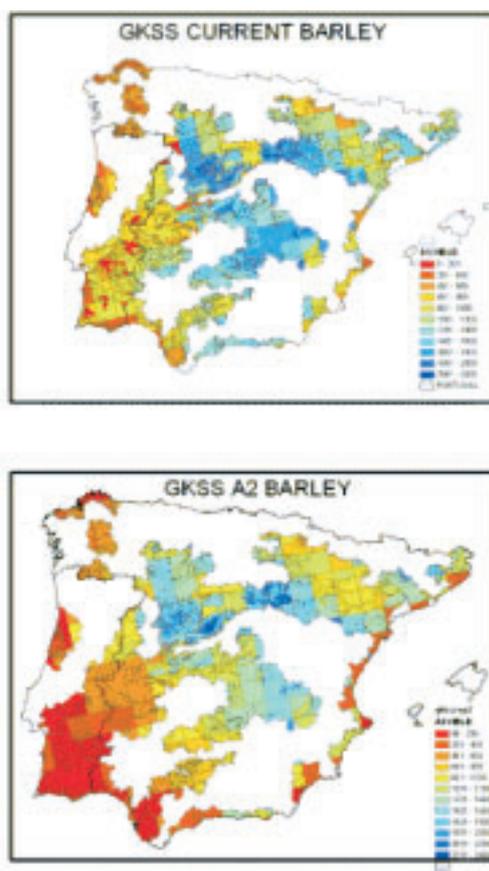
Esto es, mientras que en algunas zonas los efectos para algunos cultivos pueden ser negativos, en otras pueden ser incluso positivos. El efecto negativo de las altas temperaturas o menores precipitaciones puede verse compensado por las mayores tasas fotosintéticas debido al incremento de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, las temperaturas más suaves en invierno permitirán mayores productividades en esta época, compensando las pérdidas de otras estaciones.

Los aumentos de temperatura pueden aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos, incrementándose las necesidades de riego en algunos casos. En el sur y sureste de España la demanda de agua se incrementará, siendo el estrés térmico más frecuente.

El incremento de la frecuencia de años extremos complicará el manejo de cultivos y requerirá un análisis detallado del impacto del cambio climático sobre la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

La distribución y alcance de plagas y enfermedades de los cultivos de importancia económica puede variar. Su control natural por las heladas y bajas temperaturas del invierno, en zonas como las mesetas, podría disminuir, lo que requerirá una adaptación en las secuencias de los cultivos. La modificación de las temperaturas puede producir el desplazamiento a latitudes mayores de algunas enfermedades.

La implicación del cambio climático sobre la ganadería es compleja por la diversidad de sistemas ganaderos. Los aumentos de temperatura por encima del nivel de neutralidad térmica afectan negativamente a la ingesta así como a las horas activas de pastoreo.



**Fig. 13.** Simulación del rendimiento de la cebada («barley») en seco, sin riego, en escenarios de clima actual («current», en la parte superior) y en el escenario de emisiones A2 («A2», en la parte inferior) generados por el modelo de simulación de sistemas CropSyst conectado al modelos de clima regional GKSS. El cultivar o variedad comercial utilizada es una variedad con necesidades de vernalización (es decir de exposición a bajas temperaturas para inducir la floración), cultivada en las zonas norte y centro de España. Los tonos rojos y amarillos indican bajo rendimiento; los tonos verdes y azules indican alto rendimiento. De GRUPO DE SISTEMAS AGRARIOS DE LA UPM (datos no publicados).

Las altas temperaturas aumentan el nivel de estrés. Todo ello puede ocasionar pérdidas en la rentabilidad de las explotaciones.

Desde el punto de vista de sanidad animal, cabe esperar que los efectos del cambio climático se observen en todas aquellos procesos parasitarios e infecciosos cuyos agentes etiológicos o sus vectores, tengan una estrecha relación con el clima.

Las enfermedades parasitarias producidas por artrópodos o por helmintos pueden tener drásticas variaciones en su distribución, abundancia poblacional e intensidad, de pronóstico diferente según la región de España que sea considerada.

La regulación epidemiológica y la gravedad y extensión del proceso transmitido dependen exclusivamente de las relaciones hospedador-vector-ambiente, por lo que caben esperar evidentes efectos sobre sus delicados ajustes biológicos.

Los inviernos más suaves y húmedos provocan un marcado incremento de la supervivencia de los parásitos. Estos inviernos más suaves también provocan un adelanto en el momento del año en

que comienzan su actividad. Los veranos secos y cálidos incrementarán la mortalidad de los artrópodos por la pérdida de agua.

En los sistemas agrícolas, las estrategias de adaptación a corto plazo pueden basarse en sencillas prácticas agrícolas relacionadas con cambios en las fechas de siembra o en las variedades utilizadas. Sin embargo, a largo plazo es necesario adaptar los sistemas a las nuevas condiciones climáticas. Las implicaciones que esto tiene en plantaciones frutales, olivares y vid tienen que ser abordadas específicamente para identificar estrategias de adaptación de mínimo coste.

En las zonas con incremento de la inestabilidad se deberá favorecer la extensificación o forestación, o la intensificación o estabilización por riego en otras áreas y el establecimiento de cultivos alternativos o zonas de barbecho obligado, así como un nuevo diseño de control integrado de plagas y enfermedades.

En la ganadería se debe favorecer la reducción de la carga animal y los cambios necesarios en el manejo del pastoreo, así como ayudar a la suplementación y adaptación de las instalaciones. La explotación de razas autóctonas y control de vectores deben ser consideradas por sus repercusiones sobre las patologías previsibles.

Las principales necesidades de investigación son el desarrollo e implementación de modelos dinámicos de simulación de los distintos cultivos que permitan describir la intercepción de radiación solar por las hojas, la generación de biomasa (parte aérea y raíces), los balances de agua y de nitrógeno y la generación del rendimiento.

Es preciso disponer y analizar datos sobre la respuesta agrícola y ganadera a cambios climáticos en series temporales largas que permitan la predicción del efecto sobre el rendimiento productivo de las distintas explotaciones.

Asimismo, es necesario desarrollar modelos que simulen el comportamiento de distintos agentes patógenos con respecto al clima, la capacidad de adaptación al biotopo y la dinámica estacional de los distintos procesos. Es, igualmente, necesario confeccionar mapas de riesgo para las diversas parasitosis, así como los cambios de distribución debidos a la influencia del clima.

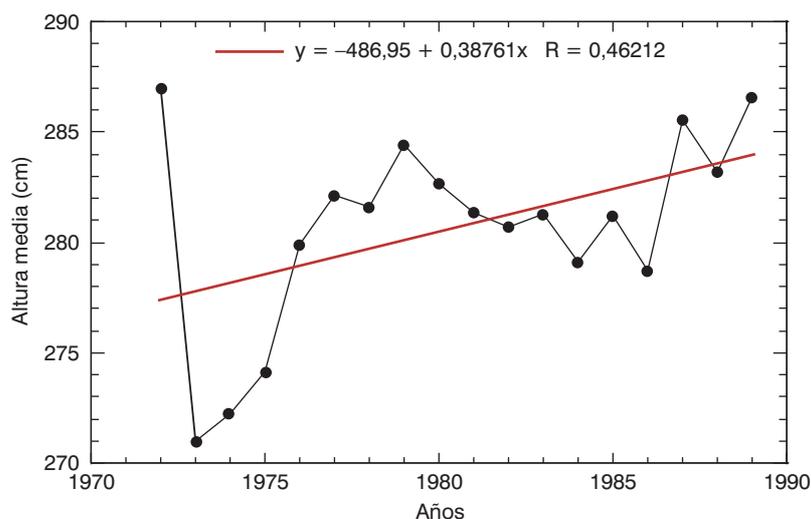
## **Zonas costeras**

Los principales problemas del cambio climático en las zonas costeras españolas se relacionan con el posible ascenso del nivel medio del mar (NMM) (Fig. 14). Las proyecciones de los modelos varían entre 10 y 68 cm para final de siglo. Para finales de siglo es razonable esperar un aumento de 50 cm en el NMM, con 1 m como escenario más pesimista.

Ante una subida generalizada del NMM las zonas más vulnerables son los deltas y playas confinadas o rigidizadas. Esto podrá causar pérdidas de un número importante de playas, sobre todo en el Cantábrico. Buena parte de las zonas bajas costeras se inundarán (deltas del Ebro, Llobregat, Manga del Mar Menor, costa de Doñana), parte de las cuales puede estar construida.

Debe actuarse de inmediato sobre factores relacionados con la estabilidad del litoral, como el mantenimiento de descarga y aportes sólidos de los ríos como solución al «origen» del problema (la falta de material sedimentario).

Como solución a los «síntomas» del problema (retroceso o movilidad excesiva de la costa) pueden mencionarse la estabilización de playas y dunas, la construcción de obras para limitar la capacidad de transporte del oleaje incidente y las aportaciones artificiales de sedimento.



**Fig. 14.** Variación del nivel del mar a partir del mareógrafo del puerto de Santander. Datos tomados de GÓMEZ GALLEGO (1994): *Actas IV Coloquio Internacional sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*: 83-97.

La protección de valores naturales (ordenación rigurosa del territorio para asegurar el mantenimiento y recuperación de zonas valiosas) es perentoria.

Es preciso también delimitar e inventariar las áreas y elementos afectables por el ascenso del nivel del mar, a fin de definir donde aplicar estrategias de abandono y retroceso, o de protección.

Se precisa conocer con detalle la evolución de los procesos pasados (a ser posible con resolución anual o decenal). Por otro lado, es necesario profundizar en el conocimiento que los cambios climáticos, en particular del NMM y otros factores impulsores como el oleaje, junto con el correspondiente cambio morfodinámico que pueden tener los ecosistemas litorales sensibles.

Se requiere también disponer de modelos de las unidades morfodinámicas más sensibles. Es necesario poner en marcha sistemas de seguimiento y toma de datos sistemática de parámetros que permitan establecer relaciones empíricas o la elaboración y validación de modelos. Es preciso conocer los impactos del cambio climático sobre el régimen de viento, oleaje y patrones de circulación que afectan a cada zona.

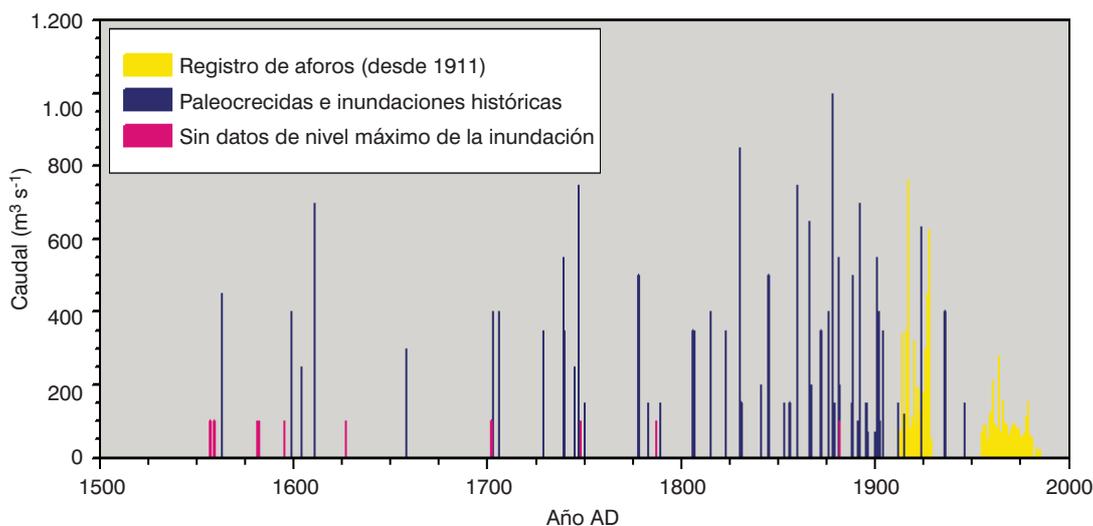
## **Riesgos naturales de origen climático**

### *Riesgo de crecidas fluviales*

La variabilidad hidrológica en las cuencas atlánticas aumentará en el futuro debido a la intensificación de la fase positiva del índice NAO. Esto puede hacer que la frecuencia de avenidas disminuya (Fig. 15), aunque no su magnitud.

En las cuencas mediterráneas y del interior la mayor irregularidad del régimen de precipitaciones ocasionará un aumento en la irregularidad del régimen de crecidas y de crecidas relámpago.

Como medidas de mitigación de los impactos, debe mejorarse la cuantificación del riesgo y prevención en relación con la climatología y la ordenación territorial, sobre todo en las zonas urbanas y centros turísticos, particularmente en los mediterráneos; mejorar los sistemas de predicción de cuenca.



**Fig. 15.** Caudales punta estimados para las paleocrecidas y crecidas documentales del río Tajo en Aranjuez. De BENITO et al. (2003): *Climatic Change* 58: 171-192, y datos registrados en la estación de aforos desde 1911.

Es necesario el desarrollo de modelos regionales acoplados clima-hidrología que permitan obtener escenarios fiables para los extremos hidrológicos teniendo en cuenta las particularidades de las cuencas atlánticas y mediterráneas.

Asimismo, se precisa de la reconstrucción de crecidas del pasado y estudio de las series de aforo refiriéndolas a condiciones naturales.

### *Riesgo de inestabilidad de laderas*

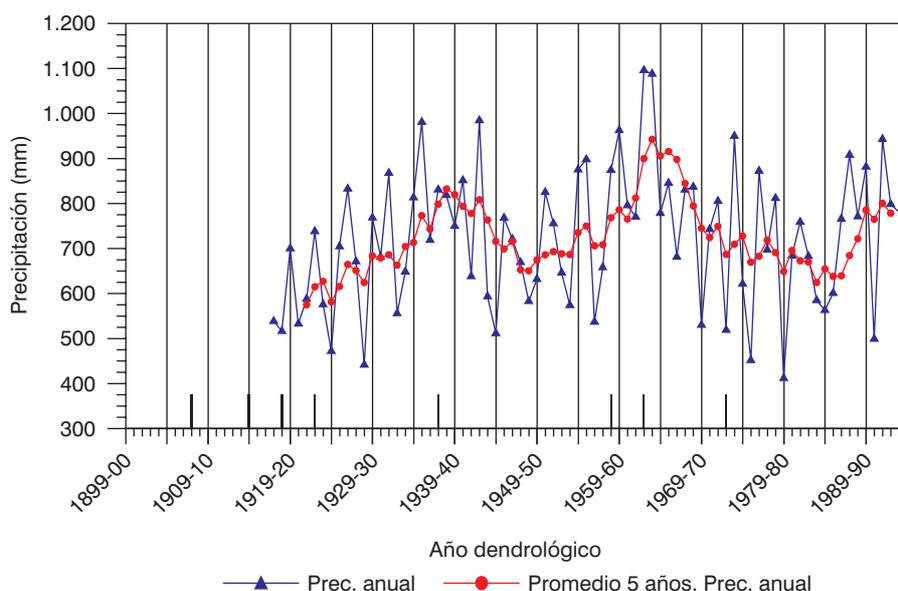
Los deslizamientos y aludes se concentran en las principales cordilleras montañosas, especialmente en los Pirineos, la Cordillera Cantábrica y las Cordilleras Béticas.

La inestabilidad de laderas produce, en la actualidad, pérdidas de cientos de millones de euros anuales, sobre todo en vías de comunicación y, en menor medida, en núcleos de población. El número de víctimas mortales por deslizamientos se ha reducido en las últimas décadas, pero el producido por aludes de nieve ha aumentado debido a una mayor frecuentación de la montaña.

A la espera de confirmación por modelos climáticos más afinados, el aumento de la torrencialidad conllevará un mayor número de deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios, cuyos efectos pueden verse exacerbados por los cambios de uso del suelo y un menor recubrimiento vegetal (Fig. 16).

Como consecuencia de ello, se espera un aumento de la erosión en las laderas y la pérdida de calidad de las aguas superficiales, por el aumento de la turbidez, y un mayor ritmo de colmatación de los embalses.

La planificación territorial y urbana evitando las áreas más susceptibles a la inestabilidad de laderas es la mejor y más económica herramienta adaptativa.



**Fig. 16.** Episodios de reactivación (barras verticales) del deslizamiento del Barranco de Boés en Llavorsí (Pirineo Central) y su relación con la lluvia media anual y la de cinco años registrada en la estación meteorológica de Capdella. Los episodios de reactivación se han identificado mediante análisis dendrogeomorfológico. De COROMINAS et al. (2004): VIII Reunión Nacional de Geomorfología.

Es necesario disponer de un inventario completo de deslizamientos y una mejor estimación de los daños, que son muy superiores a las cifras conocidas.

Asimismo, es necesario profundizar en las relaciones entre los eventos lluviosos y los distintos tipos de deslizamiento para que puedan ser integradas adecuadamente en los modelos hidrológicos y mecánicos.

### *Riesgo de incendios forestales*

Las temperaturas y la falta de agua en el suelo aumentarán, lo que inducirá a una mayor y más duradera desecación de los combustibles. Por lo tanto, la inflamabilidad de los combustibles aumentará.

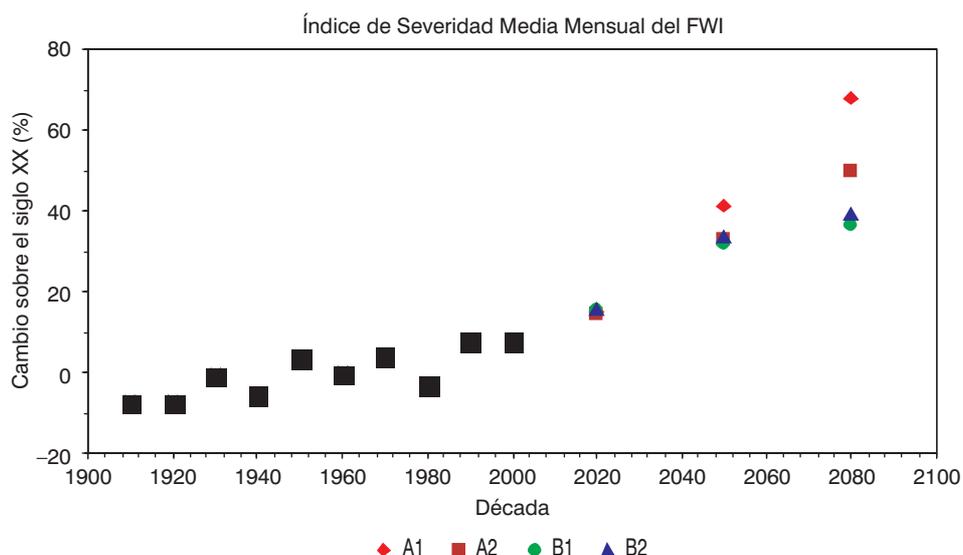
Los índices medios de peligro aumentarán (Fig. 17) y, en particular, la frecuencia de situaciones extremas. La duración media de la temporada de peligro aumentará.

Las igniciones causadas por rayos aumentarán, así como las causadas por negligencias. La frecuencia, intensidad y magnitud de los incendios aumentará.

Las políticas de lucha contra incendios, de ordenación territorial y forestal y de formación e información al público deben ajustarse a las nuevas condiciones.

Los esquemas de gestión basados en la exclusión total del fuego deben modificarse abriendo a la posibilidad de incorporar el fuego como herramienta para reducir la peligrosidad de ciertas áreas.

Los planes de conservación de la biodiversidad o de lucha contra la desertificación deben incorporar los nuevos escenarios de peligro creciente.



**Fig. 17.** Variación (%) del índice medio mensual del FWI (Índice de Peligro Canadiense) para España peninsular y por década (el dato se refiere al último año de ésta) sobre la media del siglo XX durante dos siglos. Los datos del siglo XX han sido reconstruidos a partir de la base ERA y de New et al. (2002) ajustados con datos de estaciones reales. Los datos del siglo XXI proceden de las predicciones del modelo HadCM3, del Hadley Centre del Reino Unido, para cuatro escenarios de emisiones y reescalado según New et al. 2002. Los valores de cada año están calculados sobre los meses de mayo a octubre, inclusive. De MORENO, ZAVALA y DÍAZ (datos no publicados).

La gestión de los espacios públicos para su uso recreativo deberá tener en cuenta el peligro creciente que se avecina.

Es preciso conocer con más detalle las interacciones entre sequía, peligro de incendio, ocurrencia de los mismos y la respuesta de la vegetación en situaciones adversas.

Debemos conocer las situaciones sinópticas propicias para desencadenar eventos extremos, anticipando así la prevención y lucha contra el fuego.

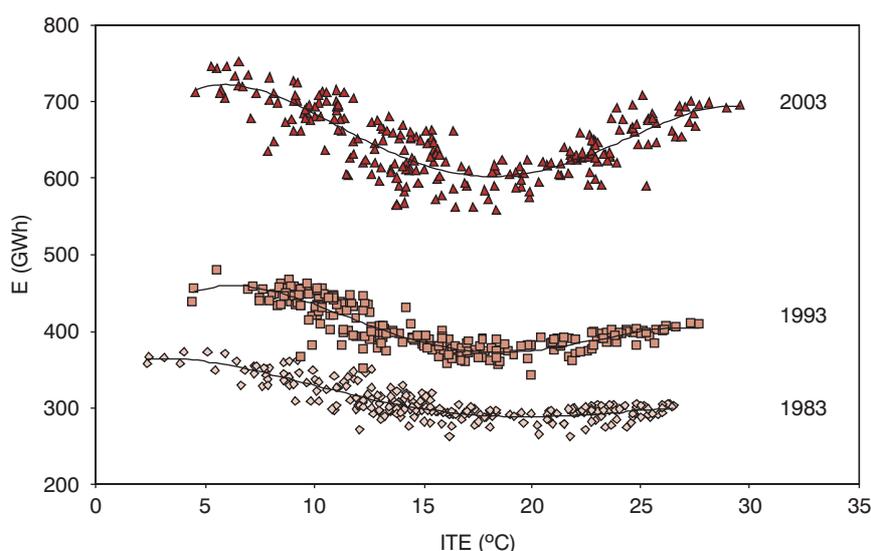
Se precisa disponer de escenarios climáticos con resolución espacial y temporal adecuada, así como de modelos de la respuesta de la vegetación. Debemos profundizar en el conocimiento de la sociología de los incendios.

La detección del cambio en la ocurrencia de incendios requiere mantener la base de datos EGIF de incendios forestales de España, así como disponer de una cartografía de los incendios para verificar cambios en los patrones espaciales o temporales de los mismos.

## Sector energético

Bajo un escenario de incremento de temperaturas y disminución de precipitaciones se prevé un incremento de la demanda eléctrica (Fig. 18) que deberá cubrirse sin poder recurrir a energía hidráulica, pues ésta se reducirá.

Se prevé, asimismo, un incremento de la demanda de petróleo y de gas natural, y una reducción del aporte (actualmente escaso) de la biomasa.



**Fig. 18.** Consumo de electricidad ( $E$ [GWh]) en relación con la temperatura del aire ( $ITE$ [°C]) en 1983, 1993 y 2003 y ajuste polinomial. De LÓPEZ ZAFRA, SÁNCHEZ DE TEMBLEQUE y MENEU FERRER (elaboración propia a partir de datos del INM, INE y REE).

Sólo la energía solar (en sus diversas formas) se vería beneficiada por el plausible incremento de las horas de insolación. Caso de producirse un incremento de los episodios de viento fuerte, podrían darse incrementos en la producción de electricidad de origen eólico.

Parece que estamos en el buen camino respecto a las políticas energéticas, tanto en la UE como en nuestro país, pero, sin embargo, nuestro desarrollo energético dista de ser sostenible.

Por ello, se ha de profundizar aún más en estas políticas para adoptar medidas adicionales y concretas que implementen las estrategias, con el fin de que nuestro desarrollo energético pueda llegar a ser sostenible, máxime en el contexto del marco de reducción de emisiones.

Es necesario conocer con más profundidad el efecto que el cambio climático puede tener sobre la demanda de energía a nivel regional y por sectores económicos. Y todo ello por distintas razones: los escenarios generalistas de cambio climático pueden llevar a pérdidas muy importantes de información; así, deberíamos conocer si el previsible incremento de la temperatura media será homogéneo, o si bien afectará más a ciertas regiones y menos a otras; esto afecta obviamente a las distintas infraestructuras locales.

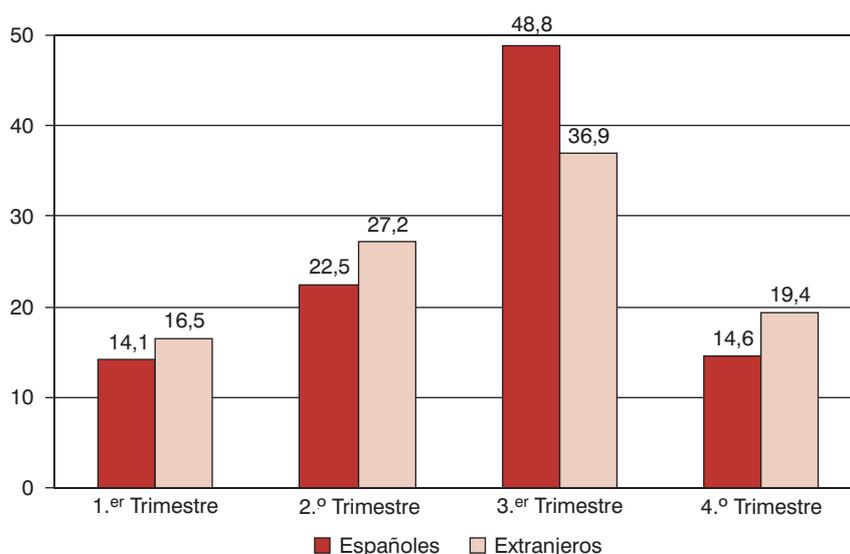
Respecto del elenco de indicadores propuesto para la detección del cambio climático en relación con el sector energético, se precisa la elaboración de modelos que desagreguen los distintos elementos que influyen en la evolución de éste.

### **Sector turístico**

Los impactos del cambio climático afectarían, en primer lugar, al espacio geográfico-turístico, y pueden producir alteraciones en los ecosistemas, ya en condiciones de alta fragilidad, dejando de reportar los beneficios sociales, económicos y ambientales disfrutados hasta el momento.

La escasez de agua provocaría problemas de funcionalidad o viabilidad económica de ciertos destinos.

El incremento de las temperaturas puede modificar los calendarios de actividad (Fig. 19), aumentando los viajes en las interestaciones.



**Fig. 19.** Distribución de turistas extranjeros y españoles por trimestres (%)-2003. De Esteban TALAYA SÁNCHEZ, PALOMEQUE y AGUILÓ: Elaboración propia basada en datos procedentes del Instituto de Estudios Turísticos.

La elevación del nivel del mar amenazaría la localización actual de determinados asentamientos turísticos y de sus infraestructuras.

Estos impactos tendrán peor incidencia en aquellas zonas más deterioradas y con mayor conjunción de los diferentes efectos climáticos negativos.

Los turistas pueden disminuir la estancia media en cada destino, retrasar el momento de la decisión del viaje y cambiar la dirección de sus visitas hacia otros lugares: los turistas extranjeros quedándose en sus propios países y los nacionales con desplazamientos hacia las costas del norte o el interior.

Las principales medidas de mitigación incluirían ayudas públicas de tipo financiero o fiscal e inversiones en infraestructuras específicas, así como la modificación de la legislación existente en materia de ordenación y delimitación del territorio y sus usos, de transporte e incluso de calendario escolar.

Con el imprescindible liderazgo público, también es precisa la incorporación activa de todas las empresas del sector turístico. Puede ser necesaria la reconversión de determinados destinos y productos turísticos tradicionales.

Las necesidades de investigación se centran en las áreas críticas de desconocimiento: 1.º estudio del papel del clima actual en el sistema turístico español y los impactos que supondría el cambio climático por zonas y productos más vulnerables, integrando las diferentes escalas de manifestación del fenómeno; 2.º creación de sistemas de indicadores sobre la relación cambio climático-turismo para su medición y detección; y 3.º diseño de modelos de gestión para optimizar las principales opciones adaptativas y las implicaciones en las políticas turísticas.

Esto supone abrir y mantener una línea específica de financiación de proyectos de investigación, con programas explícitos sobre este tema, que se integre en el Plan Nacional de I+D+I.

## Sector del seguro

En la serie 1971-2002, las indemnizaciones por inundaciones realizadas por el Consorcio de Compensación de Seguros muestran una tendencia ascendente (Fig. 20). Se atribuye esta evolución al aumento del índice de penetración del seguro, al incremento de las exposiciones aseguradas y al mayor volumen de capitales asegurados. No obstante, no puede descartarse una posible contribución del aumento en el número de siniestros.



**Fig. 20.** Línea de tendencia potencial de las cuantías pagadas actualizadas por inundación en la serie 1971-2002 (descontando los eventos «atípicos», como son las inundaciones del País Vasco de 1983 y las de Valencia de 1987). De PISERRA, NÁJERA y LAPIEZA: elaboración propia a partir de datos del Consorcio de Compensación de Seguros.

Las tormentas y las inundaciones son los eventos más numerosos y de mayor factura para el sector.

Según datos del seguro agrario, la mitad oriental de la península, por elevada peligrosidad de los fenómenos meteorológicos y climáticos, y por la concentración de cultivos sensibles a dichas variables, se confirma como la zona más sensible a un cambio climático.

El reaseguro internacional destaca que en el posible escenario de aumento en el nivel de pérdidas por cambio climático, los ramos del seguro que se verán más afectados son daños (patrimoniales, industria, ingeniería e incendios), representativo del aumento del valor de los bienes en zonas con una elevada exposición al impacto climático, y, en menor medida, salud, vida y responsabilidad civil.

Se recomienda el seguimiento en cada autonomía de las siguientes medidas analizadas e implantadas desde el nivel nacional: 1.º revisión de las normas básicas de construcción y diseño, y revisión de la planificación territorial y usos del suelo, acorde con la peligrosidad climática de cada zona y su evolución previsible; 2.º promoción de la educación en la prevención desde la educación primaria; 3.º promoción del seguro como instrumento de prevención; 4.º esfuerzo de adaptación del mercado asegurador a las posibles demandas en un nuevo escenario de peligro climático; 5.º análisis de viabilidad de política agraria en los escenarios climáticos futuros.

Es necesaria una mayor disponibilidad, en tiempo y forma adecuada a las necesidades del sector, de datos meteorológicos y climáticos, así como explicaciones didácticas sobre los escenarios diseñados por el IPCC y sus consecuencias.

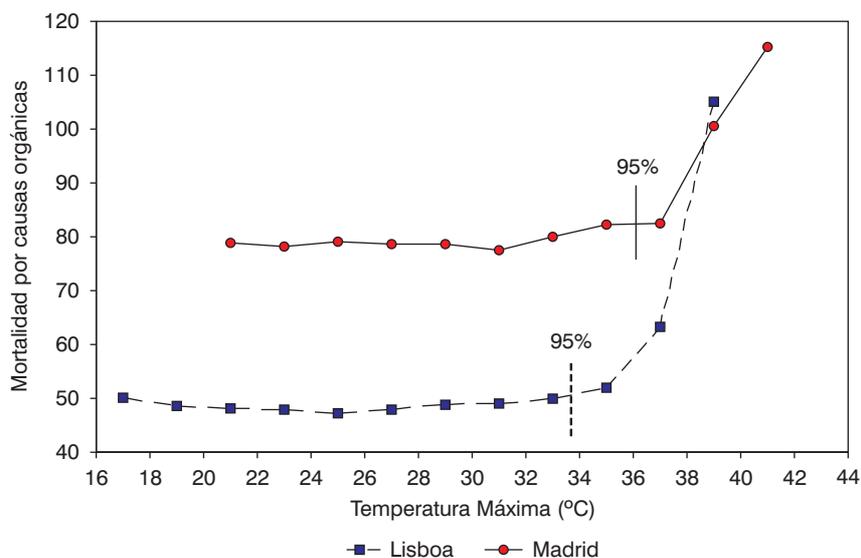
Se precisan estudios experimentales de vulnerabilidad de estructuras y cultivos en las distintas áreas geográficas, a los principales fenómenos meteorológicos y climáticos en sus manifestaciones más extremas.

Son, asimismo, necesarias estadísticas detalladas y prolongadas en el tiempo de los datos de siniestralidad para el mercado asegurador español, tanto por áreas como por eventos catastróficos.

Finalmente, deben desarrollarse modelos específicos para el sector seguros (modelos catastróficos), que combinen riesgo y los parámetros financieros del seguro y reaseguro, para recrear eventos históricos y estimar pérdidas futuras.

### Salud humana

Cabe esperar un aumento en la morbi-mortalidad causada por las olas de calor (Fig. 21), que se apuntan como más frecuentes en intensidad y duración en los próximos años.



**Fig. 21.** Temperatura de disparo de la mortalidad por causas para las ciudades de Madrid (círculos rojos) y Lisboa (cuadrados azules). Se marca la temperatura umbral del 95% de las series de temperaturas máximas diarias en el periodo junio-septiembre. De Díaz et al. (2002): *Int. Arch. Occ. Env. Hea.* 75: 163-170.

Por otro lado, el aumento previsible de las partículas finas y del ozono serían los principales impactos relacionados con la contaminación atmosférica. Estos aumentos pueden agravar los problemas de salud derivados de la presencia de altas concentraciones de estos gases en la atmósfera.

A estos impactos en salud habría que añadir la extensión geográfica a nuestro país de vectores ya establecidos o por la implantación e instalación de vectores sub-tropicales adaptados a sobrevivir

a climas menos cálidos y más secos. Entre las enfermedades vectoriales susceptibles de incrementar su incidencia en España se hallan algunas transmitidas por mosquitos (dengue, enfermedad del Nilo Occidental, malaria) o garrapatas (encefalitis).

La población mayor de 65 años constituye el grupo más vulnerable al incremento de morbi-mortalidad por efecto de temperaturas extremas. Por otra parte, los ancianos, las personas de salud comprometida que padecen de bronquitis crónica o asma, o enfermedades cardiovasculares son los grupos de población más vulnerable al posible incremento de los contaminantes atmosféricos.

Serían precisos planes de actuación en salud pública basados en sistemas de alerta temprana que permitan la identificación de situaciones de riesgos antes de que éstas se produzcan, lo que lleva aparejado un registro de morbi-mortalidad ágil y fiable.

Se precisa la aplicación y seguimiento de las directivas europeas en todos aquellos aspectos que puedan tener una incidencia en la salud humana tanto a corto como a largo plazo.

Además, sería de vital importancia fomentar y desarrollar programas de vigilancia y control específicos en enfermedades de transmisión vectorial, así como la puesta en marcha de actividades dirigidas a aumentar la concienciación y participación ciudadana en todas las actividades relacionadas con el cambio climático y sus implicaciones en la salud humana.

Las principales necesidades de investigación consisten en realizar evaluaciones completas del efecto del cambio climático en la salud, teniendo en cuenta los distintos escenarios de cambio climático y las predicciones en la estructura demográfica en nuestro país.



## AUTORES PRINCIPALES

**Moreno Rodríguez, José Manuel (Coordinador):** Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.

**Aguiló Pérez, Eugeni:** Departamento de Economía Aplicada, Universidad de las Islas Baleares, Palma de Mallorca.

**Alonso Oroza, Sergio:** Departamento de Física, Universidad de las Islas Baleares, Palma de Mallorca.

**Álvarez Cobelas, Miguel:** Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid.

**Anadón Álvarez, Ricardo:** Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, Oviedo.

**Ballester Díez, Ferrán:** Escuela Valenciana de Estudios para la Salud (EVES), Consellería de Sanidad, Generalitat Valenciana, Valencia.

**Benito Ferrández, Gerardo:** Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid.

**Castro Muñoz de Lucas, Manuel de:** Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.

**Catalán Aguilá, Jordi:** Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB), CSIC, Barcelona.

**Cendrero Uceda, Antonio:** Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria, Santander.

**Corominas Dulcet, Jordi:** Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

**Díaz Jiménez, Julio:** Centro Universitario de Salud Pública, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

**Díaz-Fierros Viqueira, Francisco:** Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, A Coruña.

**Duarte Quesada, Carlos Manuel:** Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA), CSIC-UIB, Palma de Mallorca.

**Esteban Talaya, Águeda:** Departamento de Economía y Empresa, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.

**Estrada Peña, Agustín:** Departamento de Parasitología, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

**Estrela Monreal, Teodoro:** Confederación Hidrográfica del Júcar, Valencia.

**Fariña Pérez, A. Celso:** Instituto Español de Oceanografía (IEO), A Coruña.

**Fernández González, Federico:** Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.

**Galante Patiño, Eduardo:** Centro Iberoamericano de la Biodiversidad (CIBIO), Universidad de Alicante, Alicante.

**Gallart Gallego, Francesc:** Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera», CSIC, Barcelona.

**García de Jalón Lastra, Diego:** Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

**Gil Sánchez, Luis:** Departamento de Silvopascicultura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

**Gracia Alonso, Carlos:** Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona y CREAM, Barcelona.

**Iglesias López, Alfredo:** Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.

**Lapieza Alustiza, Roberto:** Munich-RE, Sucursal España y Portugal, Madrid.

**Loidi Arregui, Javier José:** Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad del País Vasco, Bilbao.

**López Palomeque, Francisco:** Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Barcelona, Barcelona.

**López Vélez, Rogelio:** Medicina Tropical y Parasitología Clínica, Servicio de Enfermedades Infecciosas, Hospital Ramón y Cajal, Madrid.

**López Zafra, Juan Manuel:** Departamento de Estadística e Investigación Operativa II, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

**Luis Calabuig, Estanislao:** Departamento de Ecología, Genética y Microbiología, Universidad de León, León.

**Martín Vide, Javier:** Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Barcelona, Barcelona.

**Meneu Ferrer, Vicente:** Departamento de Economía Financiera, Universidad de Valencia, Valencia.

**Mínguez Tudela, M.<sup>a</sup> Inés:** Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

**Montero González, Gregorio:** Departamento de Selvicultura, CIFOR- INIA, Madrid.

**Moreno Klemming, Juan:** Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid.

**Moreno Sáiz, Juan Carlos:** Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

**Nájera Ibáñez, Alfonso:** Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid. España

**Peñuelas Reixach, Josep:** Centro de Estudios Avanzados de Blanes, CSIC y CREAM, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.

**Piserra de Castro, M.<sup>a</sup> Teresa** . MAPFRE, Madrid.

**Ramos Sánchez, M.<sup>a</sup> Ángeles:** Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid.

**Rosa Acosta, Diego de la :** Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNASE), CSIC, Sevilla.

**Ruiz Mantecón, Ángel:** Estación Agrícola Experimental (EAE), CSIC, León.

**Sánchez-Arcilla Conejo, Agustín:** Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

**Sánchez-Tembleque y Sánchez-Castro, Luis Jesús:** Comisión Nacional de Energía (CNE), Madrid.

**Valladares Ros, Fernando:** Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid.

**Vallejo Calzada, V. Ramón:** Fundación CEAM, Valencia y Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Barcelona, Barcelona.

**Zazo Cardeña, Caridad:** Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid.



