

Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático¹

JOSÉ MANUEL MORENO
Madrid (España), marzo de 2006.

Resumen: José Manuel Moreno expone los escenarios principales que pueden ocurrir como consecuencia del cambio climático (aumento de las temperaturas, menor precipitación acumulada anual, etc) y analiza los efectos de éste en varios ámbitos (ecosistemas terrestres y marinos, biodiversidad vegetal y animal, recursos hídricos y edáficos, zonas costeras, etc).

JOSÉ MANUEL MORENO

Licenciado y Doctor en Ciencias Biológicas y Catedrático de Ecología en la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente de la Universidad de Castilla La Mancha. Destaca en las líneas de investigación de ecología del fuego, dinámica de poblaciones vegetales, ecofisiología de plantas y biodiversidad. Ha participado en distintos grupos de expertos de programas científicos internacionales no gubernamentales como presidente del Comité Español del *Programa Internacional Geosfera-Biosfera* (1993–1997). Fue la persona de contacto del proyecto *Global Change and Terrestrial Ecosystems* (GCTE) del *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) en la Región Mediterránea de START (1994–1996). Ha sido miembro del Comité Director del *Programa Global Change Research Forward Outlook*, de la *Fundación Europea de la Ciencia* (2000–2004). También ha participado en grupos de trabajo internacionales gubernamentales como vicepresidente del *Panel Científico de la Acción Concertada sobre Ecosistemas Terrestres* de la Comisión de las Comunidades Europeas (1992–1993). Fue también miembro del comité de planificación de *Terrestrial Ecosystems Research Initiative* (TERI) de la Comisión Europea (1994) y del *European Advisory Group* (EAG) del *Framework Programme for Climate Change and Biodiversity* (2000–2002). Es miembro del Grupo II del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (desde 2004). Ha sido miembro del grupo de trabajo para la preparación del *Programa Nacional de Medio Ambiente* (1994–1995), y del Comité de Expertos de la *Oficina Española de Cambio Climático* (2001–2002).

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 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 cuatro 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 setenta de ese siglo, las temperaturas en España han aumentado de forma general, con una magnitud algo superior a la media global del planeta. Este aumento ha sido particularmente acusado en invierno. Las precipitaciones durante este periodo han tendido a la baja, sobre todo en la parte meridional y en 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.

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, el A2 se corresponde con una evolución de emisiones de GEI más alta, previéndose que en el año 2100 la concentración de CO₂ sea de 850 ppm, un 120 % más que la actual. El escenario B2 contempla un grado de emisiones más bajo, si bien, aún así se calcula que para la misma fecha la concentración de CO₂ en la atmósfera será de 760 ppm, esto es, aproximadamente el doble que la actual.

¹Resumen de la ponencia presentada por el Departamento de Ciencias Ambientales Universidad de Castilla-La Mancha Toledo, España.

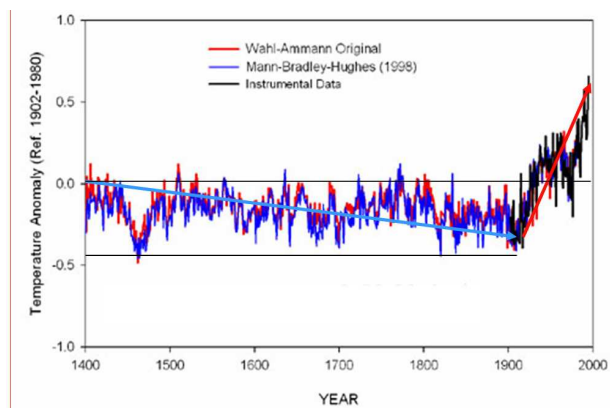


FIGURA 1: Evolución de las temperaturas en los últimos 400 años

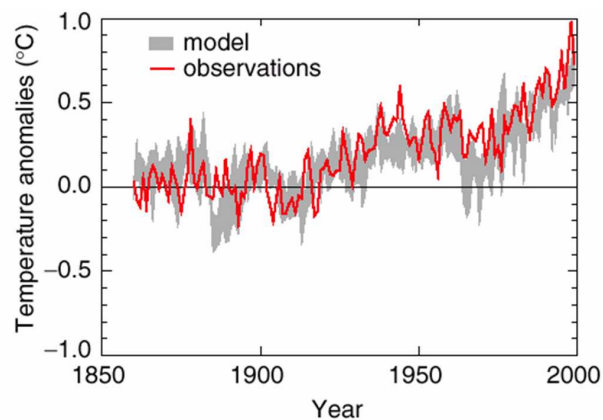


FIGURA 2: Comparación de las suposiciones del modelo con las observaciones

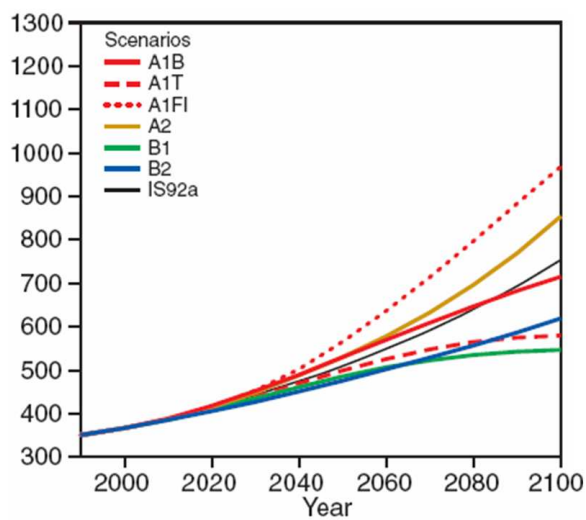


FIGURA 3: Distintos escenarios supuestos

Las proyecciones climáticas que se obtienen utilizando modelos climáticos globales muestran que a lo largo del siglo XXI se producirá un incremento uniforme de la temperatura en la Península Ibérica, con una tendencia media de aumento 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).

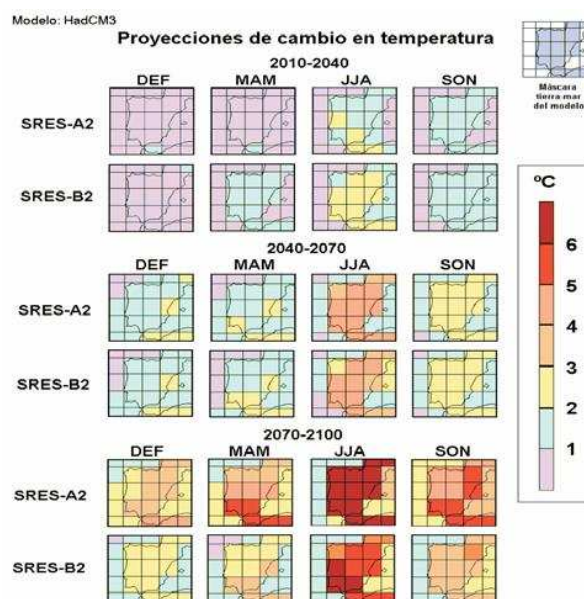


FIGURA 4: Evolución de las temperaturas en la Península

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 regionales a los resultados obtenidos con los modelos generales 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:

- 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 del orden de 2°C menor que en el interior, y en Canarias de 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 forma 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

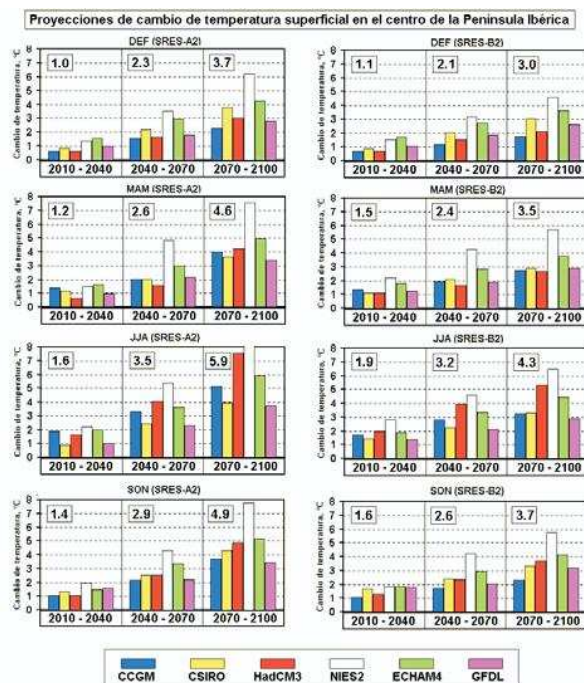


FIGURA 5: Evolución de las temperaturas, gráficos

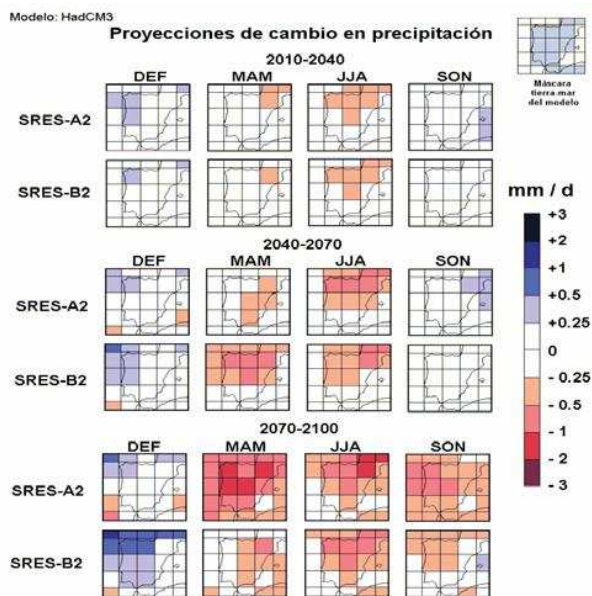


FIGURA 6: Evolución de las precipitaciones en la Península

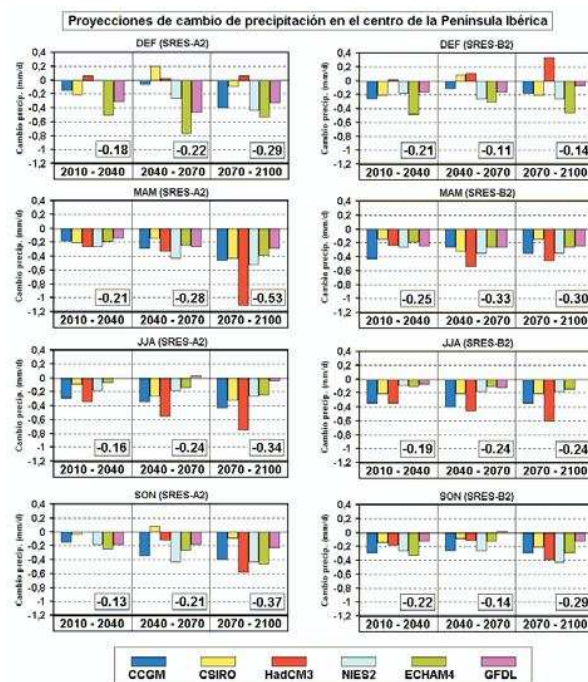


FIGURA 7: Evolución de las precipitaciones, gráficos

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. Mayor reducción de la precipitación en la Península durante los meses de primavera en el último tercio del siglo.
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.

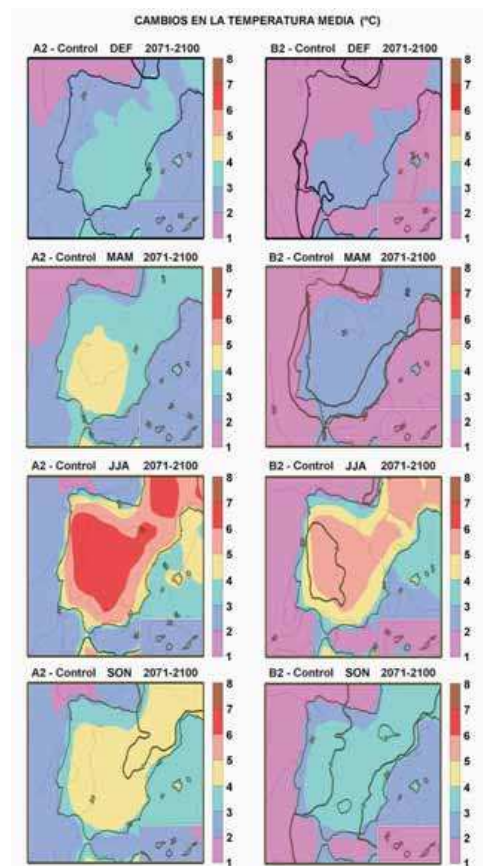


FIGURA 8: Cambios en las temperaturas medias

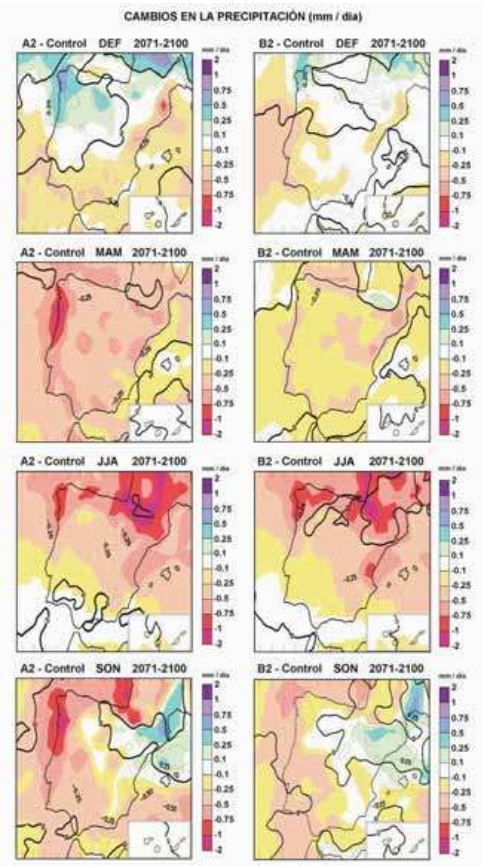


FIGURA 9: Cambios en la precipitación

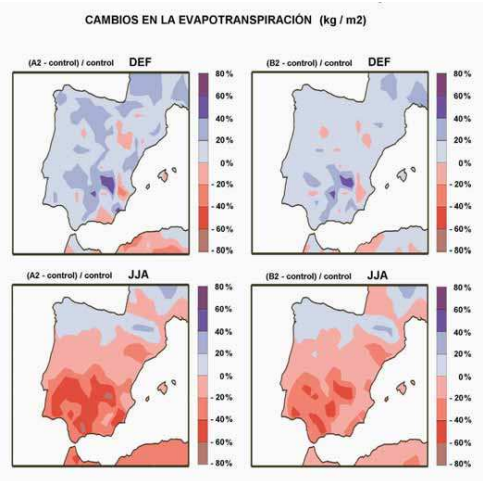


FIGURA 10: Cambios en la evotranspiración

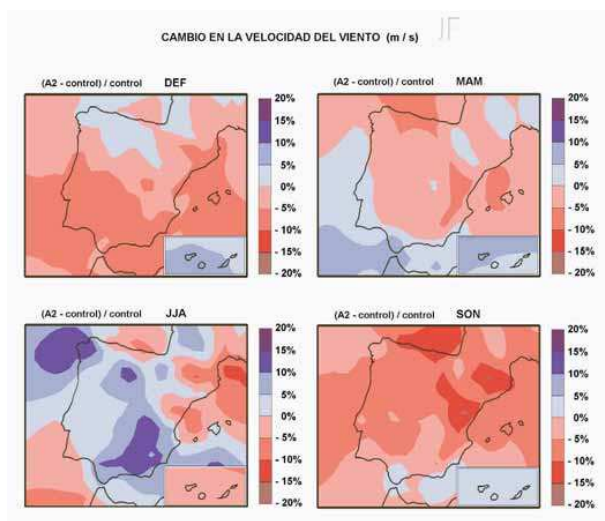


FIGURA 11: Cambios en la velocidad del viento

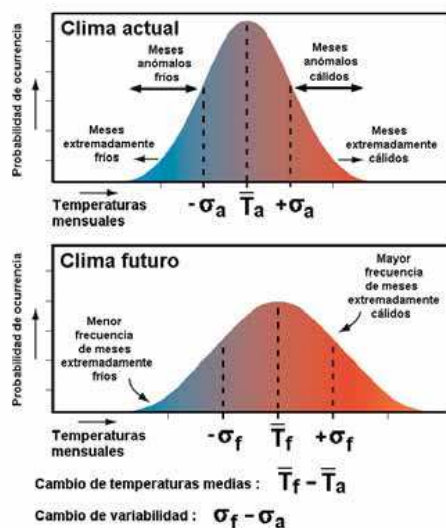


FIGURA 12: Clima actual y clima futuro, comparativa

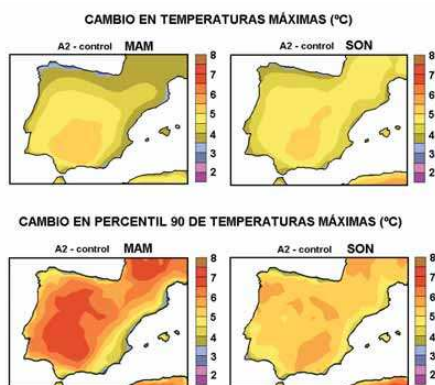


FIGURA 13: Cambio en las temperaturas máximas

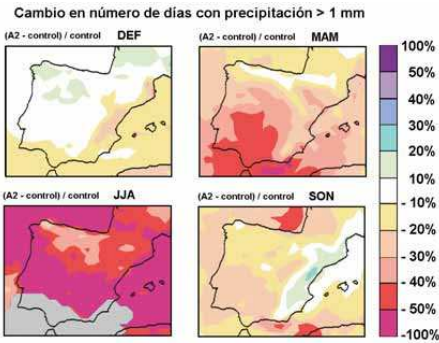


FIGURA 14: Cambio en número de días con precipitación >1mm

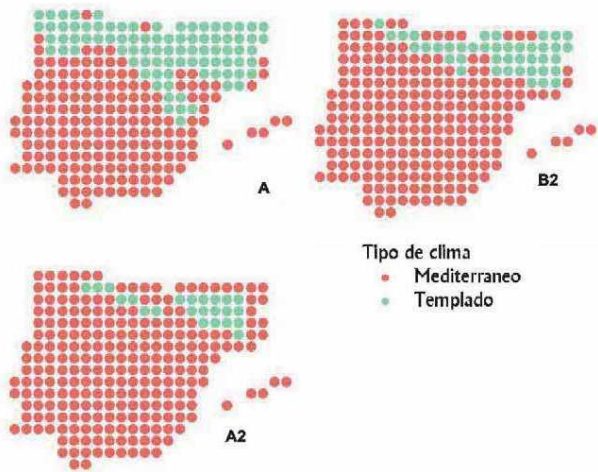


FIGURA 15: Cambios en el clima

Efectos 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, etc). Los efectos del cambio climático difieren entre los ecosistemas de la región Atlántica, limitados por temperatura, y 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 así como extinciones locales. 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 participación 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 y funcionales) en sistemas vulnerables al cambio climático.

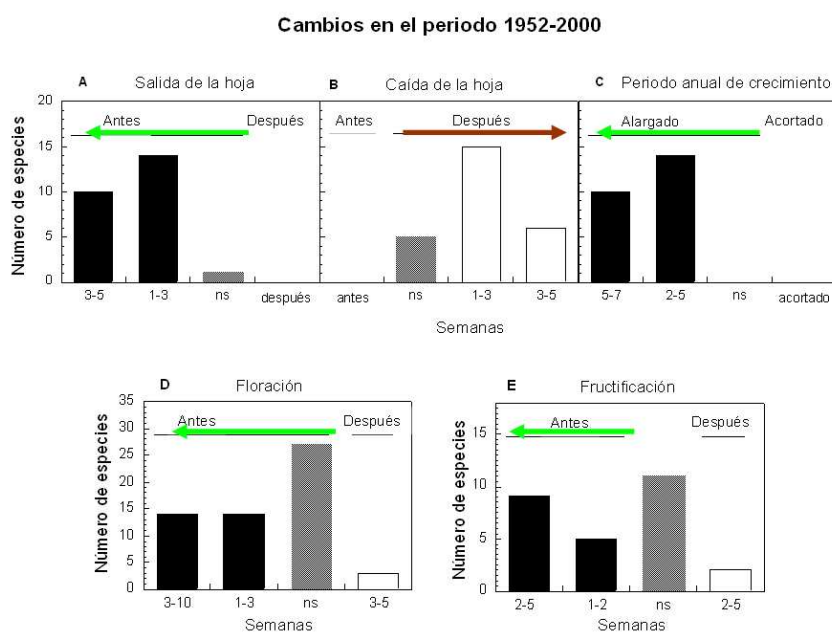


FIGURA 16: Frecuencia de especies vegetales con ciclos de vida alterados durante las últimas cinco décadas

Ecosistemas acuáticos continentales

Los ecosistemas acuáticos continentales españoles son muy diversos; generalmente son 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. 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 verosíblemente 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. carencia de series de datos fiables a largo plazo;
2. información aún escasa sobre el estado ecológico y la biología de las especies más importantes
3. desconocimiento de los procesos de histéresis, y
4. 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.

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 un aumento de especies de aguas templadas y subtropicales y una disminución de especies boreales. Es posible que se produzca un aumento de especies invasoras. Los cultivos marinos no subsidiados con alimento pueden verse afectados por la reducción de la productividad marina. Es esperable incremento en la aparición de especies de fitoplancton tóxico o de parásitos de especies cultivadas, favorecidas por el aumento 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 multispecífico 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, tanto desde un punto de vista 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 las tendencias más significativas. Los impactos indirectos

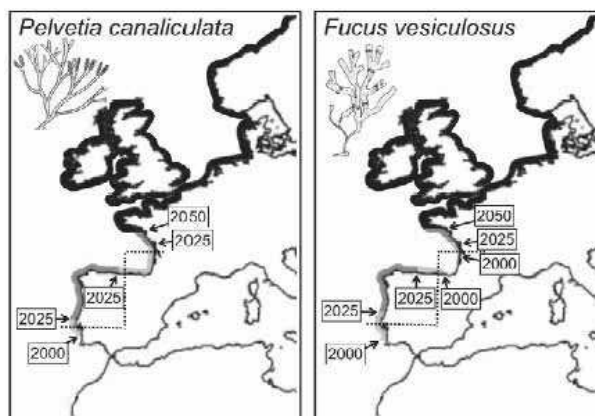


FIGURA 17: Variación de los límites de distribución de dos especies de macroalgas

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

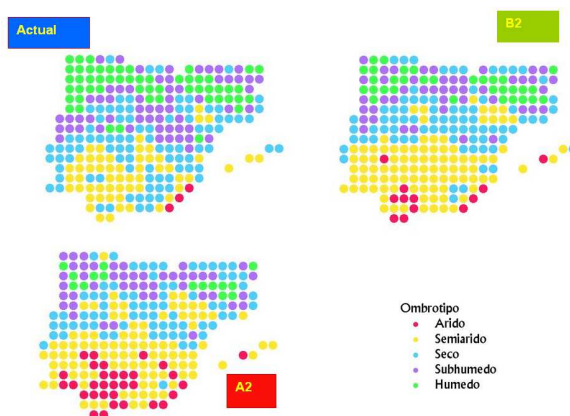


FIGURA 18: Cambios en los pisos bioclimáticos, ombrotipos

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.



FIGURA 19: Cambios en los pisos bioclimáticos, termotipos

El cambio climático producirá cambios fenológicos en las poblaciones, con adelantos (o retrasos) en el inicio de la actividad; llegada de migración o reproducción. Cabe esperar un desajuste 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 ser estacionales y cursos 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 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 geográfico 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 para 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 la 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, una 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 el sistema de recursos hidráulicos disponibles y la forma de manejarlos son factores determinantes en 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 a la disminución de la 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 tempera-

tura de 1°C y disminuciones medias de precipitación de un 5 % ocasionarían disminuciones medias de aportaciones hídricas en régimen natural entre un 5 y un 14 %. Para 2060, simulaciones con aumentos de temperatura de $2,5^{\circ}\text{C}$ 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 a 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 en las investigaciones tendentes a mejorar las previsiones de precipitación y temperatura, así como de su distribución espacial y temporal. Asimismo, se necesita más investigación para mejorar los métodos de generación de series de datos climáticos basadas en escenarios; disponer de métodos mejores y más fiables para el cálculo de evaporaciones y evapotranspiraciones, así como para conocer el papel del agua en el suelo, la interceptación y reserva de agua utilizable por las plantas y la recarga de acuíferos con mayor fiabilidad. Es necesario desarrollar modelos para la automatización del cálculo de aportaciones y de gestión en cuencas.

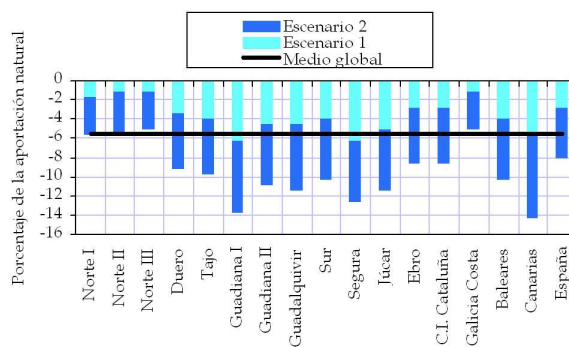


FIGURA 20: Porcentajes de disminución de la aportación total, para los escenarios climáticos considerados, en el largo plazo de la planificación hidrológica

Recursos edáficos

Una parte importante de la superficie del territorio español está actualmente amenazada por procesos de desertificación, especialmente como consecuencia de los incendios forestales y de la pérdida de fertilidad en los suelos de regadío debidos a la salinización y a la 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^{-2} en zonas del Valle del Ebro o en la costa Sur mediterránea, hasta 30 kg m^{-2} 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 (norte de España) y aquellas donde los usos de suelo que comportan contenidos en carbono orgánico más elevados (prados y bosques). El cambio en el régimen de precipitaciones inducirá a incrementos en el grado de erosión potencial de los suelos, aunque estos no sean generalizables pues dependen del tipo de suelo. En general, el riesgo de erosión será mayor en aquellas zonas que ya presentan un riesgo alto y será igual, o incluso puede disminuir, en aquellas zonas de suelos más ricos. La reforestación de tierras marginales y yermas, 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 PAC (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. 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 que ya no podrán ocupar terrenos en los que estuvieron con anterioridad, debido a que han sufrido erosión u otro tipo de cambio.

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.

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 de la temperatura del aire, de la concentración de CO₂, 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. 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 de las menores precipitaciones puede verse compensado por las mayores tasas fotosintéticas

debido al incremento de CO₂. 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, y el estrés térmico será más frecuente. El incremento de la frecuencia de años extremos complicará el manejo de los sistemas 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 se 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. 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, 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 mayores temperaturas acortarán la duración del crecimiento de los cultivos reduciendo los días que interceptan radiación solar, generando menos biomasa. Si se mantiene el manejo actual de un cultivo, el ciclo de éste será más corto y las fechas de floración y madurez cambiarán. Las implicaciones que esto tiene en plantaciones frutales, olivares y vid tienen que ser abordadas específicamente para identificar las estrategias de adaptación de menor coste.

En las zonas con un 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 el control de vectores deben ser considerados por sus repercusiones sobre las patologías previsibles. La principal necesidad de investigación está en el desarrollo e implantación 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). Las proyecciones de los modelos varían entre 10 y 68 centímetros para final de siglo. Para finales de siglo es razonable esperar un aumento de 50 centímetros en el NMM, con 1 metro 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. 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 dónde 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 de 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.

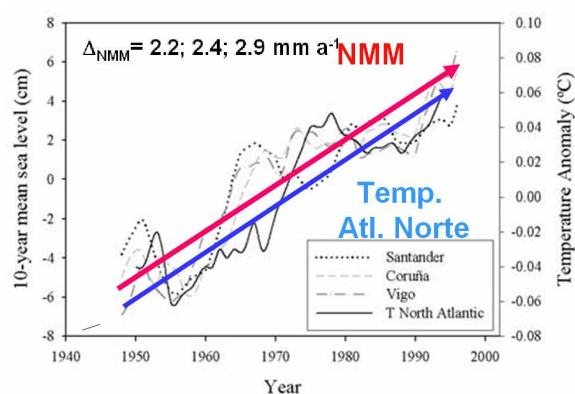


FIGURA 21: Media móvil de diez años del nivel medio del mar y temperatura media del Atlántico Norte

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, 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 la prevención en relación con la climatología y la ordenación territorial, sobre todo en las zonas urbanas y centros turísticos, particularmente en los mediterráneos; y mejorar los sistemas de predicción de cuenca. 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 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 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.

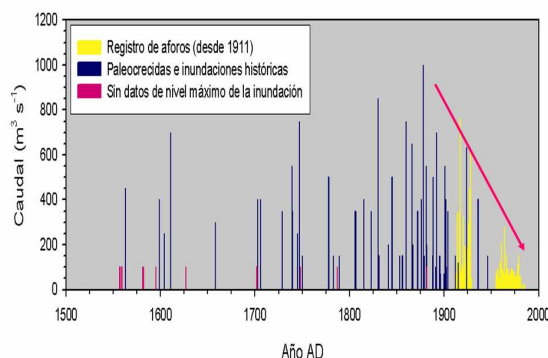


FIGURA 22: Las crecidas del Tajo

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 abriéndose 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. 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 Estadística General de Incendios Forestales (EGIF) de España, así como disponer de una cartografía de los incendios para verificar cambios en los patrones espaciales o temporales de los mismos.

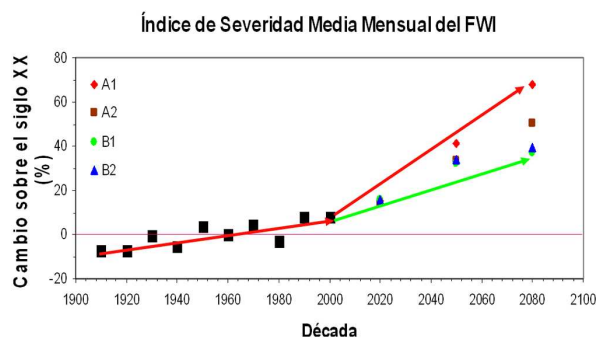


FIGURA 23: Índice de severidad media mensual

Sector energético

Bajo un escenario de incremento de temperaturas y disminución de precipitaciones se prevé un incremento de la demanda eléctrica 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. 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 Unión Europea (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 incorporen 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 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, aumentando los viajes en las interestaciones. 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. 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. Creación de sistemas de indicadores sobre la relación cambio climático-turismo para su medición y detección.
3. 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 *Consortio de Compensación de Seguros* muestran una tendencia ascendente. 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. 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 el cambio climático, los ramos del seguro que se verán más afectados son daños patrimoniales, de industria, de ingeniería y de incendios; daños representativos 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. 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. Promoción de la educación en la prevención desde la educación primaria.

3. Promoción del seguro como instrumento de prevención.
4. Esfuerzo de adaptación del mercado asegurador a las posibles demandas en un nuevo escenario de peligro climático.
5. 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 catastróficos que combinen riesgo y 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, que se apuntan como más frecuentes en intensidad y duración en los próximos años. 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 en nuestro país la extensión geográfica 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 estas 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.

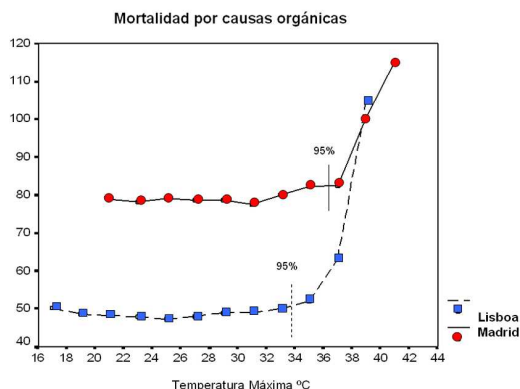


FIGURA 24: Mortalidad por causas orgánicas