

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES IBÉRICOS

Antonio MESTRE BARCELÓ, Juan Antonio DE CARA GARCÍA
Área de Aplicaciones Climatológicas y Medioambientales.
Agencia Estatal de Meteorología.

RESUMEN

La profunda modificación de las condiciones climáticas en el área de la Península Ibérica que se prevé para las próximas décadas a partir de los resultados de los escenarios regionalizados de Cambio Climático, originará una serie de impactos negativos sobre los ecosistemas mediterráneos. Las masas forestales relictas que actualmente permanecen refugiadas en lugares con un cierto microclima favorable y los bosques de montaña de las zonas mediterráneas o de influencia mediterránea son especialmente vulnerables a los incrementos de temperatura y a la probable alteración del régimen de lluvias, con un estiaje mas largo y duro. En este trabajo se presenta un resumen de algunos de los impactos previstos, extraídos de la amplia bibliografía disponible, especialmente en relación con la mayor incidencia esperada de los incendios forestales y los cambios en las áreas de distribución y sobre la fenología de plantas y animales.

Palabras clave: Cambio Climático, Ecosistemas mediterráneos, fenología, riesgo de incendios forestales.

ABSTRACT

From the results of the regional Climate Change scenarios, a dramatic change in the climate conditions of the Iberian Peninsula for the coming decades is expected, leading to a set of negative impacts on the Mediterranean ecosystems. The areas of relict vegetation and the ecosystems of the mountainous areas of the Mediterranean basin are particularly vulnerable to the expected increases in both temperature and evapotranspiration rates and to the changes in the rainfall regime leading to a longer

dry season. In this presentation a concise description of some of the foreseen impacts, which has been extracted from the wide bibliography now available, is provided. Particular emphasis is put on the impacts on the Climate Change on the plants and animals phenology and distribution and on the increasing of forest fires danger.

Key words: Climate Change, Mediterranean ecosystems area, phenology, forest fires danger.

1. INTRODUCCIÓN: EL MÁRCO CLIMÁTICO.

Durante mucho tiempo, el clima era definido como el estado medio de la atmósfera en un espacio geográfico determinado, que se manifiesta por una serie de estados atmosféricos o tipos de tiempo que se suceden habitualmente en un lugar de una forma relativamente característica. Bajo este concepto, en el clima se observan algunos ciclos de mayor o menor regularidad, como los distintos ambientes estacionales que se suceden todos los años, y otros irregulares como los periodos de sequía o las olas de frío o de calor. Este es el enfoque tradicional que del estudio del clima han tenido los meteorólogos, geógrafos, ecólogos, forestales y agrónomos; en este sentido el clima se ha estudiado tratando estadísticamente los valores de las variables meteorológicas, pero también se ha estudiado por medio de la interpretación del paisaje, sobre todo a través de la observación y el análisis de la fisonomía y estructura de la vegetación.

De forma progresiva, a partir de los años 70, el rápido desarrollo de los modelos climáticos facilitado por el avance imparable de la rapidez de cálculo de los ordenadores ha ido cambiando de alguna forma el enfoque y hace posible que en la actualidad se esté estudiando el clima global de forma físico-matemática por medio de complejos modelos. Desde este punto de vista, se entiende el clima como el resultado de los procesos de interacción entre los distintos subsistemas del sistema climático y a su vez el sistema climático como el sistema formado por la unión de los subsistemas: atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera y litosfera. Las

interacciones entre elementos de los diferentes subsistemas se producen a través de una serie de procesos de distintas escalas espaciales y temporales, y de muy diferentes órdenes de magnitud en cuanto a los flujos de energía y de masa; estos flujos se pueden modelar generando simulaciones climáticas bajo una amplia gama de escenarios. En paralelo a este proceso, se ha ido abriendo paso, desde finales de los años 70, la evidencia de que la modificación en la composición atmosférica por causas antrópicas estaba cambiando el clima a escala global y que ello se iba a traducir en un incremento gradual de las temperaturas y una probable variación de la distribución geográfica y estacional de las precipitaciones debido a la modificación de la circulación atmosférica, asociado a una mayor frecuencia de ocurrencia de episodios climáticos extremos.

Desde entonces, el número de proyectos de investigación desarrollados y el número de trabajos publicados sobre variabilidad y cambio climático y sobre los diversos impactos sectoriales del cambio climático, en particular sobre los ecosistemas, ha ido creciendo de forma prácticamente exponencial. Como es bien conocido, adquiere especial relevancia la ingente tarea llevada a cabo por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), para ofrecer un aserto internacional de autoridad científica basado en el trabajo que miles de especialistas en diferentes disciplinas han llevado a cabo y que forman la base de las evaluaciones periódicas del cambio climático desde los puntos de vista de las causas, los impactos y las posibles estrategias de respuesta, constituyendo una sólida base de referencia para los estudios sobre las consecuencias del cambio climático en los diferentes campos: ecología, hidrología, economía, recursos naturales, ingeniería civil, salud pública, industria, seguridad alimentaria etc..

Para esta parte de la presentación en concreto se ha utilizado, como principal material de base, los informes tercero y cuarto de evaluación del IPCC (IPCC, 2001 ; IPCC, 2007), así como el informe *Impactos del cambio climático en Europa: una evaluación basada en indicadores* publicado muy recientemente por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2008) y el también recientemente publicado

informe de la Agencia Estatal de Meteorología *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España (2008)* en el que se trata de estimar la evolución del clima en el siglo XXI con resoluciones espaciales y temporales que puedan ser útiles para los diferentes modelos de impacto.

Descendiendo desde la escala global a la regional, para tratar en primer lugar cómo ha evolucionado el clima de la Península Ibérica, y ateniéndonos a la publicación citada anteriormente extraemos algunas de las principales conclusiones derivadas de los resultados del proyecto europeo EMULATE (*European and North Atlantic daily to MULTidecadal climATE variability*) en el que se han analizado las series más largas y fiables de las temperaturas medias, máximas y mínimas diarias españolas, que cubren el periodo 1850-2005, así como las 53 series más largas de precipitación (BRUNET *et al*, 2006; BRUNET *et al* 2007).

La temperatura del aire en España peninsular ha mostrado una indudable señal de calentamiento a lo largo del período instrumental (1850-2005), con tasas de incremento moderadas a altas en relación con las estimadas a mayores escalas espaciales (JONES Y MOBERG, 2003). El ritmo de calentamiento ha sido variable, concentrándose en determinados subperiodos, especialmente el que transcurre desde 1973 hasta la fecha; este incremento es fruto principalmente del ascenso térmico de los meses de primavera y verano y se debe más al incremento de las temperaturas máximas que al de las temperaturas mínimas.

La tendencia de la precipitación muestra un comportamiento mucho menos definido que el de la temperatura. La tendencia a la disminución de los totales pluviométricos en latitudes subtropicales apuntada en el tercer informe del IPCC (IPCC, 2001), no resulta de fácil verificación en el caso de España, dada la complejidad de la distribución espacial de la precipitación, no sólo en su cuantía, sino también en su reparto estacional y en su concentración temporal. Cuando se analizan series largas, se aprecian tendencias poco definidas con un cierto apunte al alza de las precipitaciones en el norte y noroeste, y a la baja en el sur y sureste, no apreciándose tendencias claras en la zona central. No obstante, si el análisis se centra en el último tercio del siglo XX se aprecia una reducción significativa de la cantidad de

precipitación en algunas comarcas tales como las partes oriental y pirenaica de la cuenca del Ebro, el sur de la España peninsular y la Comunidad Valenciana (ESTEBAN PARRA *et al*, 1998).

En cuanto a los resultados de los escenarios regionalizados de cambio climático las proyecciones llevadas a cabo indican la robustez de las previsiones de incrementos de temperatura, que para el escenario A2 del SRES-IPCC establecen horquillas de 1-2° C de incremento para 2010-2040 hasta 5-8° C para 2040-2070 en las regiones del interior, que son en las que los cambios previstos son mayores. Los incrementos son mayores en las máximas que en las mínimas y más importantes en los meses de verano que en los invernales. En el caso de la precipitación los resultados son mucho más inciertos, si bien apuntan a una reducción de las precipitaciones en el sur peninsular, con un gradiente en el cambio sur-norte, con poco acuerdo entre los distintos modelos en cuanto a la variación de la distribución estacional de las precipitaciones (AEMET, 2008).

En resumen cabe esperar para la península Ibérica que el proceso de calentamiento continúe tanto en relación con las temperaturas mínimas diarias como con las máximas diarias, siendo mayor el calentamiento en las regiones del interior peninsular y menor en las zonas cantábricas. Es probable que las precipitaciones totales tiendan a disminuir, aunque tal vez lo más significativo sea el aumento de la frecuencia de los periodos de sequía y de los fenómenos de fuertes lluvias, es decir una mayor variabilidad en la distribución de esta variable. Por otro lado parece que están aumentando las situaciones de circulación meridiana y disminuyendo las de circulación zonal, y que esta tendencia seguirá en el futuro, con lo que disminuyen las precipitaciones debidas a los frentes asociados a la circulación del oeste con el paso de borrascas atlánticas y aumentan los periodos de sequías y las episodios de precipitaciones intensas de otoño, en especial en el área mediterránea, asociados a depresiones aisladas en niveles altos de la atmósfera. Si bien, como se ha indicado anteriormente, existe una gran incertidumbre sobre la futura distribución estacional de las precipitaciones, numerosos trabajos apuntan a una reducción de las precipitaciones en primavera-verano frente al mantenimiento o ligero incremento de las del período otoño-invernal, en particular en el norte peninsular. En relación con

lo que se expone en los siguientes epígrafes, estas circunstancias originarían una mayor probabilidad de que la vegetación sufra déficit hídrico en los momentos críticos de la primavera, y se dé una mayor pérdida por escorrentía superficial, una menor retención de agua edáfica, una mayor evapotranspiración y en general una mayor tendencia a la aridez y a la desertización. Parece apuntarse por otro lado una tendencia al aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos sobre todo en el sur, el sureste y el este peninsulares; también es de esperar que debido a la gran complejidad geográfica de la península Ibérica pueda haber lugares próximos con tendencias opuestas.

2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES Y FAUNA ASOCIADA

El crecimiento y desarrollo de los árboles y arbustos es controlado por un conjunto de complejas interacciones entre factores climáticos y no climáticos; así, el clima es un elemento básico que condiciona la distribución y respuesta de los ecosistemas (PARMESAN Y YOHE, 2003). Las especies vegetales y animales se han adaptado por selección natural a lo largo de la evolución a unos ciertos ambientes climáticos y cuando el escenario climático cambia se activan los procesos evolutivos en la dirección de las nuevas presiones de selección. Esta circunstancia ya sucedió repetidas veces en el pasado y la biodiversidad en Europa; las especies, los ecosistemas y los paisajes, se vio profundamente modificada durante los períodos glaciales e interglaciales. Estos procesos se desarrollaron sobre escalas temporales largas, pero en la actualidad el proceso de cambio climático parece que está siendo demasiado rápido como para que se produzca una respuesta evolutiva y ante esto lo que cabe esperar es que las especies más plásticas o versátiles se vean favorecidas frente a las más exigentes. En esta situación, las especies tanto vegetales como animales sólo tienen tres opciones: adaptarse, desplazarse o extinguirse (MONTROYA OLIVER J.M., 1995). Especialmente amenazadas son aquellas especies que están cerca del borde de su rango geográfico o altitudinal, lo que pone en riesgo la biodiversidad siendo especialmente vulnerables los bosques de montaña y las zonas de vegetación relictas (IPCC; 2007; THUILLER *et al*, 2005), como es el

caso de muchas especies de tipo boreoalpino situadas en montañas mediterráneas o de influencia mediterránea.

Como se destaca en el 4º Informe del IPCC, en el caso de los bosques mediterráneos los impactos que se prevén son negativos por la incidencia conjunta, según indican los resultados de los escenarios de cambio climático, de un importante incremento de las temperaturas, mayores tasas de evaporación y evapotranspiración, una disminución de las precipitaciones, y con ello un estiaje mucho más largo y duro, junto con una mayor variabilidad climática a escala interanual. Si se cumplen estas perspectivas, que se deducen de las salidas de los modelos de predicción del clima, cabe esperar una evolución de los ecosistemas y paisajes mediterráneos a los de estepa mediterránea infralitoral, un enriquecimiento en especies mediterráneas en los ecosistemas subatlánticos o submediterráneos y un decaimiento y pérdida de vigor y valor adaptativo en las especies características de los ecosistemas atlánticos y boreoalpinos. Además se deberá producir una gran sensibilidad en las masas forestales relictas y propias de ambientes fríos o húmedos, que actualmente permanecen refugiadas en lugares con un cierto microclima favorable, éste podría ser el caso por ejemplo del hayedo de Montejo (Madrid), los pinsapares de Grazalema (Cádiz) o de las manchas de pino negro (*Pinus uncinata*) en sus refugios de la Sierra de Gúdar (Teruel). Los pisos de vegetación y fauna en las catenas altitudinales de las montañas tienden a subir en altura pero a las especies que tienen su hábitat en las cumbres sólo les cabe la posibilidad de la extinción (este es el caso de muchas especies en los puertos y cumbres del Pirineo y sobre todo en Sierra Nevada).

Se pueden citar en este punto algunos ejemplos de especies que presentan ya los síntomas típicos de la regresión, es decir, que manifiestan problemas adaptativos ante un medio que cambia; éstos son los típicos de un fracaso reproductivo, o sea la falta de fructificación o aborto de las semillas germinadas en los años adversos desde el punto de vista climático, en este sentido cabe traer a mencionar el caso de la orquídea *Cypripedium calceolus* (GUZMÁN, D., GOÑI D., y GARCÍA, M. B., 2000), ésta se está estudiando en el departamento de Biología Vegetal de la EUIT Agrícola, con el fin de lograr la reintroducción de la planta en el Parque Nacional de

Ordesa y Monte Perdido (RUIZ LÓPEZ C., IRIONDO ALEGRÍA J.M., 2006). Esta planta vive en los hayedos, sobre todo en los bordes de los mismos, cerca de pedreras o arroyuelos, en alturas próximas a los 1.300 m., aunque hay alguna población a 1.900 m. Es una especie de ciclo vegetativo muy corto que algunos años no brota y parece que ello es debido a problemas de falta de acumulación de horas frío, problemas de acoplamiento fenológico con los insectos polinizadores e irregularidades en los aportes de humedad edáfica (a su vez dependientes del periodo de innivación y el momento e intensidad de la fusión de la nieve, en estas cotas o en las superiores); estos problemas se notan más en las poblaciones más mediterraneizadas del Montsech y del Cadí-Moixeró que en las más continentales con matiz atlántico de Pineta y del Valle de Tena.

Otras especies que parece que están siendo afectadas por alteraciones en los aportes de humedad relacionada con la innivación de las pedreras y de los paredones rocosos son las plantas paleotropicales *Borederea chonardii*, relictas adaptadas a las paredes y en menor medida *Borederea pyrenaica* adaptada a las pedreras (Comunicación verbal Carlos Ruiz Departamento de Biología Vegetal EUIT Agrícola UPM).

Por otro lado, existen distintos tipos de bosques mixtos en los que hay codominancia de especies arbóreas, o en los que aún dominando una especie también aparece otra de forma notable. En ocasiones se debe a una zona de transición entre los dos tipos de bosque pero en otras se debe a una variación gradual del clima que favorece la sustitución de una especie por otra; este puede ser el caso de la abundancia de procesionaria en algunos pinares de silvestre (algo debilitados por la falta de una suficiente acumulación de horas-frío en invierno), que en algunas zonas del Sistema Central parecen estar siendo sustituidos por el melojar, o que en algunas solanas del Pirineo están siendo sustituidos por quejigares.

También puede darse el caso, frecuente en muchas zonas mediterráneas, submediterráneas o muy continentales, de que exista una dialéctica frondosa-conífera en la que la conífera, menos exigente edafoclimáticamente y normalmente más heliófila, colonice un territorio y cree un ambiente más favorable para la

posterior entrada y dominancia de la frondosa, normalmente más exigente y umbrófila; éste es el caso de los sabinares con respecto a encinares y melojares en las parameras continentales, del pino carrasco con los encinares en zonas costeras mediterráneas, o del pino resinero con el roble melojo en algunos montes del sistema Ibérico Sur o de la zona de transición entre Guadarrama y Gredos.



Fig.1. Valle de Benasque. Huesca. Pinar de pino negro (Pinus uncinata) cerca del límite altitudinal de la vegetación arbórea. La suavización de las temperaturas favorece el desplazamiento de la vegetación leñosa hacia una mayor altitud.



Fig. 2. Cypripodium calceolus. Orquídea relictas en algunas poblaciones del Pirineo y en peligro de extinción. Afectada por falta de acumulación de frío, problemas en el régimen de humedad infiltrada en capa superficial y desacoplamiento fenológico con los insectos polinizadores. (Foto facilitada por Carlos Ruiz López, UPM).

Todos estos procesos pueden estar siendo acelerados en la actualidad y los sentidos de los cambios fitoclimáticos deben ser considerados en la selvicultura, la ordenación de los montes, la gestión cinegética, la regulación hidrológico-forestal, y la conservación de suelos y de la biodiversidad.

En los procesos de cambio en la estructura de los ecosistemas forestales o de sustitución de unos tipos de bosques por otros, es probable que aparezcan en las poblaciones afectadas epidemias y plagas que debiliten o maten a los árboles afectados, o se den distintos tipos de problemas en la regeneración por dificultades en la floración, fructificación, germinación, crecimiento de brinzales, etc.



Fig. 3. Encinar continental. Colmenar del Arroyo. Madrid. Invierno de 2006. En general los encinares tenderán en mayor medida a sufrir enfermedades como “la seca” relacionadas con la sequía meteorológica.

También es posible que en los ecosistemas atlánticos, que en general están limitados por la temperatura, aumente la productividad; mientras que en los ecosistemas mediterráneos, cuyo factor limitante es la falta de humedad estival, lo más normal será que ésta disminuya. Por otra parte hay que destacar las alteraciones que se empiezan a detectar en las fechas de ocurrencia de las distintas fases fenológicas por ejemplo de plantas, insectos y aves (SANZ, 2003). El calentamiento origina una mayor acumulación de grados-día, si además se producen cambios en la distribución de las precipitaciones, se favorecen los cambios en la fenología lo que rompe el acoplamiento sincronizado entre las fases de los distintos organismos. Estas variaciones en las complejas interacciones entre especies favorecerán la expansión de las especies invasoras y plagas, aumentará el impacto de las perturbaciones y en

general afectará a la estructura y función de los ecosistemas. Como casos de mortalidad y decaimiento en la vegetación arbórea española con una posible relación con el cambio climático parece ser relativamente bastante claro el caso de “la seca” (MONTROYA OLIVER R. 1995 y 1998; LLORET F. y SISCART, D., 1995), sobre todo de las quercíneas al sur del sistema Central. También se da el caso del decaimiento de los abetales pirenaicos que están siendo afectados por plagas que posiblemente tengan relación con una tendencia a la mediterraneización del Pirineo aragonés y catalán; por otra parte hay que destacar el caso del ascenso de la procesionaria del pino en sierra Nevada (HODAR J.A. , ZAMORA R., CASTRO J, 2003).

En relación con la distribución de especies animales, en Europa se ha venido ya observando en las últimas décadas un desplazamiento hacia el norte o hacia altitudes mas elevadas en zonas montañosas de determinadas especies (IPCC; 2007; UKCIP, 2005; HICLING *et al*, 2006). Hay que tener en cuenta no obstante el hecho de que en la fauna asociada a los ecosistemas forestales, las manifestaciones posiblemente asociadas a un cambio climático son difíciles de determinar ya que suelen responder a razones múltiples que se pueden dar simultáneamente, así estos movimientos pueden ser debidos tanto a los cambios que se han observados en los parámetros climáticos como a cambios en el uso de suelo, la disponibilidad de alimentos u otras alteraciones medioambientales.

En el caso de la Península Ibérica, se aprecian algunos cambios en la distribución y comportamiento de la fauna silvestre (MONTROYA OLIVER J.M., 1998) que apuntan hacia un cambio en las direcciones anteriormente indicadas, en concreto la expansión hacia el norte y hacia el interior de especies de origen africano propias de climas más cálidos, como el elanio azul, meloncillo, abejaruco, flamenco, tórtola etc. Otras especies muestran en cambio tendencia a hacerse sedentarias, como la codorniz o la paloma torcaz, además se observan cambios de comportamiento en otras especies como es el caso de la no hibernada de los osos pardos en la montaña palentina en el invierno del año agrícola 2007-2008. También se observan casos de debilidad en la fauna autóctona en zonas límite, como sucede con las poblaciones de corzo en Cádiz y Málaga (su límite sur) o la expansión de enfermedades como la

sarna (y otras) en especies de alta montaña como sucede con la cabra montes y el rebeco. Se aprecian así mismo cambios en la densidad de las poblaciones y en la distribución de las especies, así las especies estivales como la codorniz y la tórtola se están desplazando hacia el norte y hacia los regadíos (por el efecto de las sequías); mientras que la becada, al amparo de la relativa atlantización de algunas zonas serranas se observa cada vez más en zonas inhabituales para ella.

De cara al futuro cabe esperar una mayor virulencia de parásitos y un incremento de las especies invasoras, siendo las zonas más vulnerables a una pérdida de biodiversidad animal las costeras, los humedales y los cursos de agua permanentes que pasen a estacionales y los estacionales que se hagan mas irregulares, así como las zonas de alta montaña y los pastizales húmedos (MIMAM, 2005).

3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA FENOLOGÍA DE PLANTAS Y ANIMALES

Como es bien conocido, la fenología es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y con el curso anual del tiempo atmosférico. Las distintas fases fenológicas son respuestas ecofisiológicas basadas en procesos bioquímicos que responden a cambios en el ambiente físico relacionados con ritmos estacionales. En el caso de las plantas y de los insectos, el desarrollo se puede definir como una secuencia de eventos fenológicos que constituyen su ciclo de vida. Cada fase se caracteriza por morfologías y procesos fisiológicos distintos, en el caso de las plantas hay en general cambios en la distribución de la producción de masa entre sus distintos órganos. La mayor parte de los fenómenos observados en fenología siguen ciclos anuales y se aprecia que ocurren cada año por la misma época pero en fechas concretas normalmente distintas. El factor fundamental que influye en la fenología de las especies es el fotoperíodo que, a su vez, es modulado por una serie de variables climáticas como: temperatura, precipitación, insolación y humedad relativa, así como climático-edáficas (humedad del suelo).

Por ello una modificación a gran escala del clima se debe traducir en un cambio de la fenología de plantas y animales, en concreto una elevación de la temperatura dará lugar a una anticipación de los eventos fenológicos más sensibles al aumentar la acumulación de grados día por encima del umbral de desarrollo. Las observaciones fenológicas constituyen por ello un bioindicador muy sensible de cambio climático, siendo especialmente valiosas desde este punto de vista aquellas observaciones que se llevan a cabo en ecosistemas naturales no alterados. Numerosos trabajos indican que el incremento progresivo de las temperaturas por el efecto invernadero se está ya de hecho traduciendo en la alteración de la fenología de determinadas especies, observándose un adelanto de los eventos fenológicos de primavera en latitudes medias y altas (MCCARTHY *et al.*, 2001; WALTHER *et al.*; 2002; PARMESAN & YOHE, 2003; ROOT *et al.*, 2003; MENZEL *et al.*, 2006 a y b), en tanto que la fenología en el período estival se ve menos influida y el efecto del incremento de temperaturas sobre los eventos fenológicos que se producen en el inicio del otoño parece poco significativa.

En el contexto de la acción de cooperación científica y técnica COST 725 “Creación de una plataforma de datos fenológicos para aplicaciones del clima”, en la cual la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) participa, se llevó a cabo un amplio estudio a nivel Europeo de tendencias de series fenológicas largas (A. MENZEL y otros, 2006). Se utilizaron para ello datos de 125000 series de 19 países, con 542 plantas y 9 especies animales, correspondientes al período de análisis 1971-2000. Los resultados del estudio indicaron que el 78% de los registros de foliación, floración y fructificación se manifestaba tendencia a un adelanto temporal y sólo el 3% se retrasaban significativamente.

El avance medio resultó del orden de 2-3 días por decenio para el conjunto de las estaciones, siendo este avance mayor en las estaciones del sur de Europa, en concreto en España donde se observaban simultáneamente los valores más elevados de tasa de avance (4-5 días por década) del evento fenológico y de tasa de incremento térmico en el mes anterior a la observación del evento

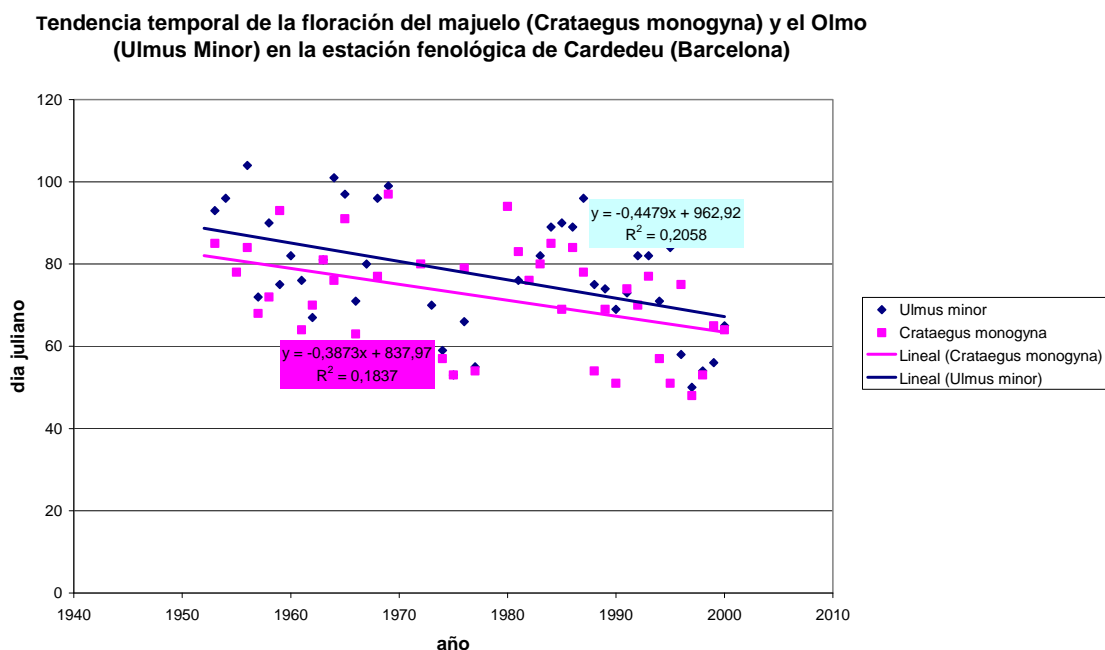


Fig. 4. Series temporales de observaciones de la floración de majuelo y Olmo con datos de la estación fenológica de Cardedeu (Barcelona).

En cambio, la señal para las fases de otoño, cambio de color y caída de la hoja es mucho mas ambigua, con un retraso medio de sólo 1 día por cada C ° de incremento térmico. A modo de ejemplo, en la figura 4 se reflejan las tendencias observadas en el período 1950-2000 para la floración del Majuelo o Espino albar (*Crataegus monogyna*), un matorral espinoso que en España se cría en todo tipo de terrenos, tanto fríos como cálidos, desde el nivel del mar hasta unos 1800 m. de altitud y del Olmo (*Ulmus sp.*), apreciándose una aceleración en la tendencia a anticiparse este evento a partir del mediados de la década de los años 80. En la figura 5, también con datos de Cardedeu (Barcelona), se representan las tendencias de la caída de la hoja del Olmo, de Almendro y del Arce, observándose ciertas tendencias, pero con

resultados más ambiguos y con una menor significación estadística que en el caso de la floración.

Los cambios fenológicos inducidos por el cambio climático alterarán las estaciones de crecimiento, la intensidad de la polinización, la productividad de los ecosistemas y las interacciones entre especies.

Hay que tener en cuenta, a la hora de analizar los posibles efectos de estos cambios de la fenología de plantas y animales, que existen complejas interrelaciones entre la floración, la aparición de los insectos polinizadores y la puesta y cría de las aves insectívoras.

Evolución temporal de las fechas de caída de la hoja de Acer, Olmo (Ulmus Minor) y Almendro (Prunus dulcis)

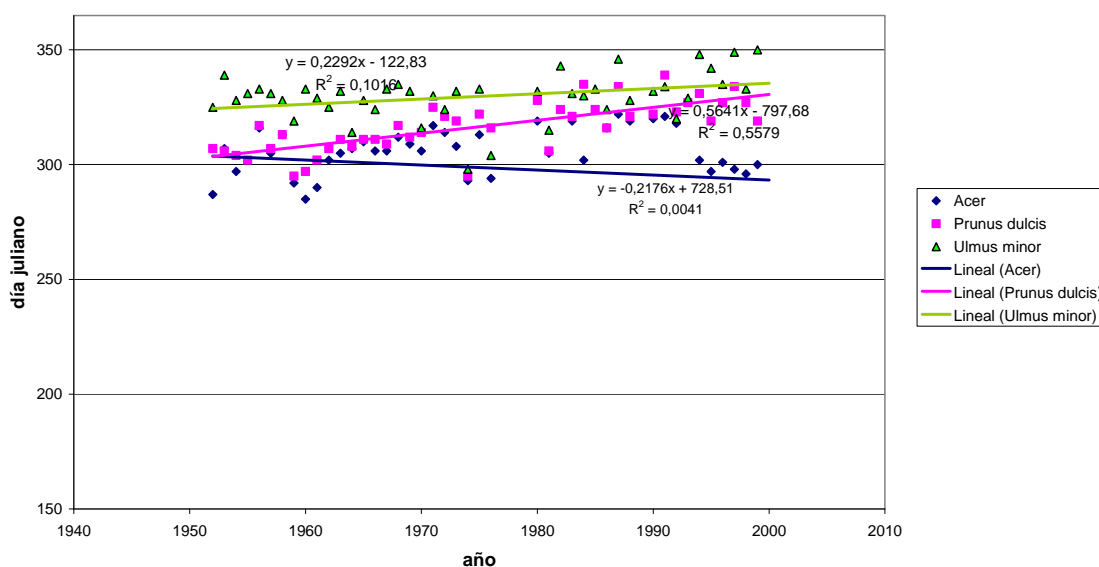


Fig.5. Series temporales de observaciones de la caída de la hoja de Arce, Olmo y Almendro con datos de la estación fenológica de Cardedeu (Barcelona).

Plantas e insectos con esta relación suelen estar bien sincronizados, respondiendo a parámetros similares de acumulación de grados-día, debido a una co-evolución, pero la llegada de las aves migratorias puede estar desacoplada al estar influida por el curso meteorológico o el carácter climático en su área de invernada africana. En este sentido, el principal problema que puede causar una pérdida de biodiversidad radica en los posibles desajustes entre las fases fenológicas a través de las cuales se relacionan distintas especies en los ecosistemas; así por ejemplo, se pueden producir desacoplamientos entre floraciones y aparición de insectos polinizadores, o entre éstos invertebrados y la llegada de aves estivales insectívoras, o entre los pasos de estas aves y los periodos de cría de ciertas rapaces que los aprovechan para cazar abundantemente y alimentar a los pollos, como es el caso del escaso halcón de Eleonor, en los islotes y costas rocosas mediterráneas. DE SANZ et al. (2003) indica, para el papamoscas cerrojillo en el Sistema Central, una serie de cambios temporales en relación con la cría del papamoscas cerrojillo en el Sistema Central para una serie de más de diez años, con disminución de: éxito reproductor, peso de los pollos y gasto energético diario de los adultos.

En todo caso, el separar la contribución del cambio climático a las variaciones en el comportamiento fenológico de las especies animales de la debida a otras causas que también alteran la fenología animal, como el hecho de una mayor disponibilidad de alimento por la acción humana, es una cuestión bastante compleja. A estos efectos es por ejemplo bien conocida la tendencia a hacerse sedentaria en la Península Ibérica que manifiesta la cigüeña blanca y en menor medida la abubilla, las codornices en el suroeste y algo las golondrinas en zonas del sureste o muy al sur.

4. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales forman parte del ciclo natural de los ecosistemas mediterráneos, donde las especies dominantes están adaptadas a unas condiciones climáticas marcadas por una larga, cálida y seca estación estival, pero tanto el número de incendios como la extensión afectada por los mismos en España han ido

creciendo más y más desde la década de los años 60, de forma que a lo largo del período 1977-2006 se produjeron más de 44000 fuegos, que afectaron a 5.86.106 ha (ICONA, 2006), constituyendo en la actualidad la mayor amenaza a la que deben hacer frente los ecosistemas forestales en la península ibérica.

Si bien el riesgo de incendios depende de numerosos factores de diferente naturaleza (meteorología, carga de combustible, prácticas de gestión forestal, factores socio-económicos... etc) es un hecho bien conocido que las condiciones meteorológicas de cada momento, el tiempo presente, ejerce una influencia decisiva en la probabilidad de que se produzcan incendios, no sólo por el hecho de que la caída de rayos sea uno de los agentes causales de incendios, sino porque los valores de estas variables meteorológicas (principalmente humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, dirección y rafagosidad del viento, insolación y precipitación) son factores determinantes de la humedad del combustible vegetal muerto, sobre todo de los combustibles finos, donde generalmente se inician los incendios, que se adapta tanto más rápidamente a los valores instantáneos de las variables meteorológicas cuanto menor es su tamaño. Asimismo el efecto integrado de las citadas variables sobre un cierto plazo de tiempo, determina la humedad, cantidad y distribución de los combustibles vegetales de mayor tamaño y de las capas de materia orgánica más compactadas, así como de la vegetación viva herbácea y arbustiva y, en menor medida y a más largo plazo de la vegetación arbórea, por su efecto sobre la evolución de las reservas hídricas almacenadas en el suelo.

Una vez iniciado un incendio forestal, el viento constituye el elemento conductor del incendio y regulador del suministro de oxígeno, por lo que su dirección, velocidad y rafagosidad son factores que determinan el proceso de desarrollo, la velocidad de propagación del mismo y la tasa de energía liberada, en conjunción con los factores topográficos, la cantidad, distribución de tamaños y humedad del combustible vegetal muerto y las características y estado hídrico de la vegetación viva, a su vez influenciados según se ha indicado anteriormente, muy directamente por las condiciones meteorológicas actuales y pasadas.

Esta estrecha relación del tiempo y el clima con los incendios se cuantifica a través de los índices meteorológicos de riesgo de incendios, tal es el caso del ampliamente utilizado a nivel mundial índice canadiense (Fire Weather Index-FWI) (VAN WAGNER CE, 1987); cuya adecuación para predecir el riesgo de incendios en España ha sido analizada en distintos trabajos (MANTA, 2003; MANTA *et al*, 2006).

Como ejemplo de esta relación se han representado (Fig. 6) los valores medios mensuales del FWI frente al número de incendios en las provincias de Barcelona y Castellón para el período 1997-2006, con datos de estaciones representativas de cada área.

Otro dato que indica la estrecha correlación entre meteorología e incendios lo da el hecho de que en La Coruña, en el 5% de los días con valores mas elevados de FWI en el período antes indicado se concentre el 18% del total del número de incendios acaecidos y el 74 % de la superficie total ardida (MESTRE *et al*, 2008). En un contexto de cambio climático, el incremento en los valores de la temperatura junto con la disminución de la humedad relativa en las horas centrales del día, el incremento de las tasas de evapotranspiración, muy sensibles a la temperatura, con la consiguiente disminución de la humedad edáfica, más la probable disminución de la precipitación en verano, que apuntan los escenarios, son todos ellos factores que incidirán “per se”, en un incremento apreciable de los valores de los índices meteorológicos de riesgo.

Diversos estudios apuntan ya a la existencia de tendencias significativas en los valores medios estacionales del FWI en áreas de la Península Ibérica (CAMIA *et al*, 2008). A este respecto, en la figura 7 se aprecian estas tendencias recientes sobre datos medios mensuales de FWI con datos meteorológicos de diversas estaciones de AEMET.

En relación con los escenarios de riesgo meteorológico de incendios, los estudios llevados a cabo (CAMIA *et al*, 2008) utilizando las emisiones del escenario A2 del Informe Especial de Escenario de Emisiones del IPCC y el modelo HIRHAM para

el período 2071-2100 muestran un apreciable incremento en los valores medios del FWI en diversos trimestres para el área sur de Europa, siendo especialmente significativos los incrementos previstos en la península ibérica.

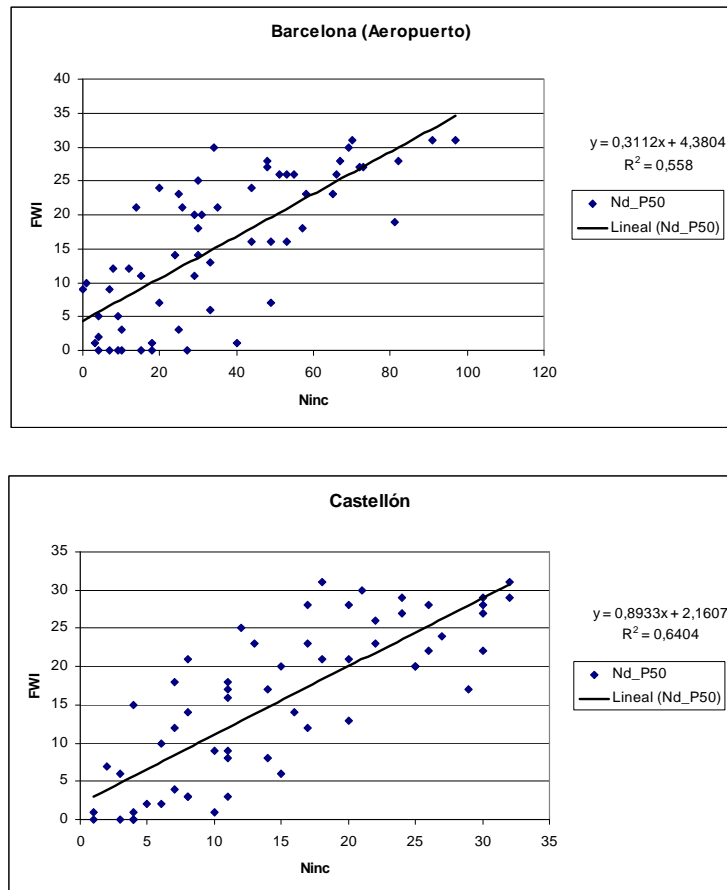


Fig.6. Valores medios mensuales de FWI frente al número mensual de incendios en las provincias de Barcelona y Castellón.

**Evolución temporal del valor medio mensual del FWI en estaciones españolas
(meses mayo-octubre de 1997-2006)**

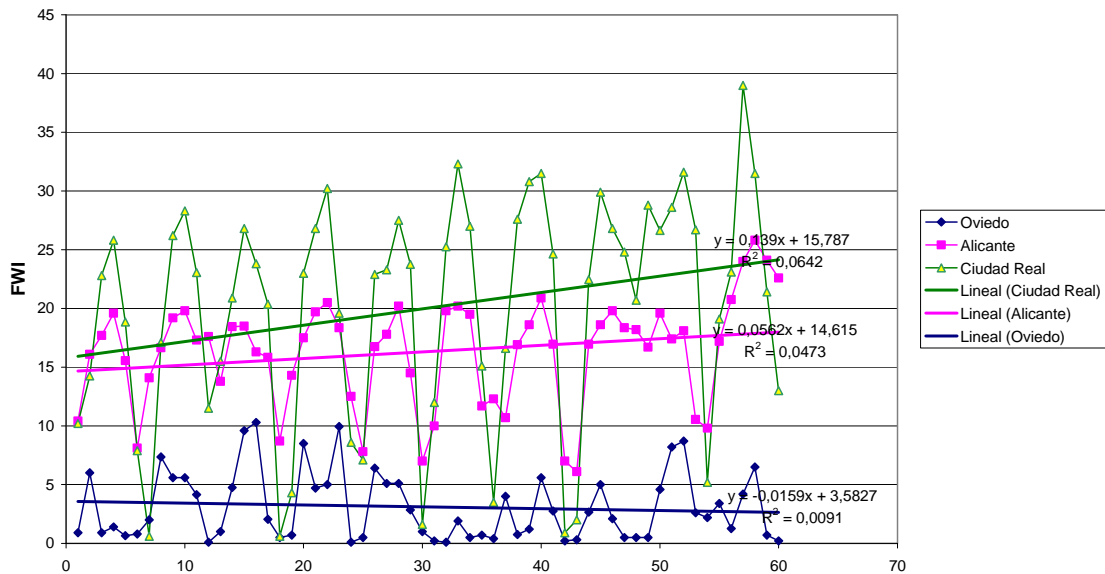


Fig.7. Series de valores medios mensuales del índice meteorológico de riesgo FWI en determinadas estaciones con datos de AEMET.

Estas proyecciones apuntan a un significativo incremento del potencial de generación de grandes incendios a lo largo de las próximas décadas, junto con una ampliación de las áreas de riesgo elevado y una más larga estación de riesgo alto de incendios.

La conjunción de un mayor riesgo de incendios con un cambio en la estructura de la lluvia, fruto de un régimen de precipitaciones más esporádicos pero de mayor intensidad, con un mayor índice torrencialidad según prevén los escenarios disponibles darán también lugar a un incremento de los procesos erosivos.

5. CONCLUSIONES

Los informes del IPCC basados en los estudios realizados con modelos de simulación del clima a escala global y los estudios realizados en AEMET para descender a una escala regional predicen para España una tendencia general al aumento de las temperaturas y apuntan a una disminución de las precipitaciones en el centro, sur y este, así como una cierta tendencia al alza en las precipitaciones del norte y noroeste. Además parece que están aumentando tanto la variabilidad climática como las situaciones extremas. Por otro lado, diversos trabajos y estudios de campo apuntan a que ya se están detectando en los ecosistemas los impactos del cambio climático a pesar de la complejidad de las interacciones propias de los ecosistemas y unidas a las relacionadas con la actividad humana en el contexto del Cambio Global. Entre las tendencias observadas en los ecosistemas forestales, que parecen estar relacionadas con el cambio climático y que de cumplirse los modelos climáticos seguirán produciéndose en la misma dirección y de forma cada vez más acentuada hay que destacar las siguientes:

- Cambios en la distribución de las especies vegetales y animales, así como en la estructura y función de los ecosistemas forestales, en la dirección de una mayor o menor mediterraneización de los paisajes de gran parte de España, e incluso una tendencia al dominio de la vegetación infralícina en las zonas más térmicas y secas. Además, los pisos de vegetación en las montañas tienden a subir en altitud. Asociados a estos cambios se observa la expansión de algunas plagas y enfermedades, y en general un decaimiento y pérdida de vigor reproductivo.
- Tendencia a la expansión hacia el centro y norte de la fauna de tipo africano asociada a los ecosistemas mediterráneos del sur peninsular. Así como una tendencia a la sedentarización, en áreas del sur, de algunas especies migratorias estivales.

- Cambios en la fenología de las especies con una tendencia general al alargamiento del periodo vegetativo en las plantas y a veces con problemas de desacoplamiento entre los ciclos de especies de plantas, insectos y vertebrados que están interrelacionados.
- Tendencia a una peor distribución de la humedad edáfica y de los cursos de agua, es decir a una mayor presencia de suelos y arroyos secos. Además en ciertos momentos y lugares pueden aumentar las situaciones de grandes pérdidas hídricas por escorrentía superficial con aumento de la erosión, ello unido al aumento de las temperaturas produce una expansión de las zonas áridas. La sequía en términos de humedad edáfica hace que el aumento de temperaturas y la mayor duración de los ciclos vegetativos no se traduzcan en una mayor productividad en los ecosistemas forestales mediterráneos, al actuar el agua como factor limitante.
- Tendencia a un mayor riesgo de incendios forestales debido al aumento de temperaturas y disminución de las precipitaciones, con la consecuente sequedad de los montes que se manifiesta en el estado de humedad del suelo, los puntos de agua en los montes y la abundancia de leñas y maderas secas.

6. REFERENCIAS

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), (2008). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.

BRUNET, M., SALADIÉ, O., JONES, P., SIGRÓ, J., AGUILAR, E., MOBERG, A., WALTHER, A., LISTER, D., LÓPEZ, D., ALMARZA, C. (2006). *The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003)*. International Journal of Climatology, 26, 1777-1802, doi: 10.1002/joc.1338.

BRUNET, M., JONES, P.D., SIGRÓ, J., SALADIÉ, P., AGUILAR, E., MOBERG, A., DELLA-MARTA, P.M., LISTE, R D., WALTHER, A., LÓPEZ D. (2007). *Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005*. Journal of Geophysical Research, 112, doi: 10.1029/2006JD008249.

CAMIA, A., AMATULLI, G., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. (2008). *Past and future trends of forest fire danger in Europe*. EUR Technical Report (EUR 23124).

SANZ, J. J., POTTI, J., MORENO, J., MERINO, S., FRÍAS, O. (2003). *Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region*. Global Change Biology, 9, 461-472.

EEA Report No 4/2008, (2008). *Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment*. Publicado por EEA (European Environment Agency).

ESTEBAN-PARRA, M.J., RODRIGO, F.S., CASTRO-DÍEZ, Y. (1998). *Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992*. International Journal of Climatology, 18, 1557-1574.

GORDO, O. (2007). *La fenología nos alerta del cambio climático*. Revista Quercus 253, 37-41.

GUZMÁN, D., GOÑI, D., GARCÍA, M. (2000). *Estudio y Conservación de Seis Especies de Flora Amenazada en Aragón. Cypripedium calceolus L. LIFE Flora amenazada 1997-2000*. Diputación General de Aragón, Zaragoza. 77 pp. (Informe inédito).

ICONA (2006). *Incendios forestales en España*. Dirección General de Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid (Spain).

JONES, P.D., MOBERG, A. (2003). *A hemispheric and large-scale surface air temperature variation: an extensive revision and update to 2001*. *Journal of Climate*, 16, 206-223

LLORENS L., ESTIARTE M, PEÑUELAS J. (2004). *Efectos del Cambio Climático sobre las comunidades vegetales*. *Revista Quercus* 218, 40-45.

LLORET F., SISCART D. (1995). *Los efectos demográficos de la sequía en población de encina*. Monografía nº 2 de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 77-81.

HICKLING, R., ROY, D. B., HILL, J. K., FOX, R., THOMAS, C. D. (2006). *The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards*. *Global Change Biology*, 12, 450–455.

HODAR J.A, ZAMORA R., CASTRO J. (2003). *El cambio global y la alteración de las interacciones ecológicas: pino viejo no aguanta plaga nueva*. *Revista Quercus* 210, 26-32.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden y D. Xiaosu (Eds.). Cambridge University Press, UK, 944 pp.

IPCC, (2007 a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Salomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y K.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press, U.K. y New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, (2007 b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L Parry, Q.F. Canciani, J.P Palutikov, P.J Van der Linden and C. E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge U.K. 996 pp.

MANTA, M. (2003). *Estudio de la estructura y funcionamiento de dos índices de peligro meteorológico de incendios forestales. Aplicación a tres zonas climáticas de España peninsular*. Tesis Ph. D. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 329 pp.

MANTA, M., MESTRE, A, VIEGAS, D.X. (2006). *Economical value of two meteorological wildfire risk indexes in Spain*. Proceedings of the V International Conference on Forest Fire Research, D. X. Viegas (Ed.).

MC CARTHY, J.J, CANZIANI O.F, LEARY. N.A, DOKKEN D.J AND WHITE K.S. (2001). *Climate Change: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.

MENZEL, A., SPARKS, T. H., ESTRELLA, N., ROY, D. B. (2006 b). *Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change*. Global Ecology and Biogeography.

MENZEL, A., SPARKS, T. H., ESTRELLA, N., KOCH, E., AASA, A., AHAS, R., ALM-KÜBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKÁ, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F. M., CREPINSEK, Z., CURNEL, Y., DAHL, Å., DEFILA, C.,

DONELLY, A., FILELLA, I., JATCZAK, K., MÅGE, F., MESTRE, A., NORDLI, Ø., PEÑUELA, J., PIRINEN, P., REMIŠOVÁ, V., SCHEINFINGER, H., STRÍŽ, M., SUSNIK, A., VAN VLIET, A. J. H., WIEGOLASKI, F.-E., ZACH, S., ZUST, A. (2006). *European phenological response to climate change matches the warming pattern*. *Global Change Biology*, 12, 1969–1976.

MESTRE, A., ALLUE, M., PERAL, C., SANTAMARÍA, R., LAZCANO, M. (In press). *Operational Fire Danger Rating System in Spain*. Proceedings of the International Workshop on Advances in Operational Weather Systems for Fire Danger Rating. GOFC-GOLD/WMO. Edmonton (Canada), 14-16 Julio 2008.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, (2005). *Evaluación preliminar en España por Efecto del Cambio Climático*. Edita Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. Proyecto ECCE, Director/Coordinador J.M. Moreno.

MONTOYA, R., OLIVER J.M. (1995). *Red de seguimiento de daños en los montes. Daños originados por la sequía en 1994*. Monografía nº 2 de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 83-97.

MONTOYA, R., OLIVER J.M. (1995). *Efecto del Cambio Climático sobre los ecosistemas forestales españoles*. Monografía núm. 2 Sociedad Española de Ciencias Forestales, 65-76.

MONTOYA, R., OLIVER J.M. (1998). *Efectos previsibles del cambio climático sobre las especies migratorias*. Monografía núm. 7 Sociedad Española de Ciencias Forestales, 101-107.

PARMESAN, C., YOHE, G. (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. *Nature*, 421, 37-42.

PEÑUELAS, J. , FILELLA, I. (2001). *Phenology — responses to a warming world*. *Science*, 294, 793.

ROOT, T.L., PRICE, J.T., HALL, K.R., SCHNEIDER, S.H., ROSENZWEIG, C., POUNDS, J.A. (2003). *Fingerprints of global warming on wild animals and plants*. Nature, 421, 57–60.

RUIZ LÓPEZ, C., IRIONDO ALEGRÍA, J.M. (2006). *Cultivo in Vitro del zapatito de dama o esclops. Una orquídea muy amenazada de nuestros valles pirenaicos*. Revista Naturaleza Aragonesa, 17, 47-54.

THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAÚJO, M. B., SYKESAND, M. T., PRENTICE, I. C. (2005). *Climate change threatens plant diversity in Europe*. The Proceedings of the National Academy of Sciences US, 102, 8245–8250.

UKCIP, (2005). UK Climate Impacts Programme. <http://www.ukcip.org.uk>.

VALLADARES, F., PEÑUELAS, J., CALABUIG, E.L. (2004). *Ecosistemas terrestres*. Evaluación de los impactos del cambio climático en España, 65-112. J.M. Moreno (Ed.) Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

VAN WAGNER, C.E. (1987). *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Technical Report 35, 37.

WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., EEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.M., HOEGH-GULDBERG, O., BAIRLEIN, F. (2002). *Ecological responses to recent climate change*. Nature, 416, 389-395.