



J. M. Moreno^{1*}, I.R. Urbietta¹, J. Bedia², J.M. Gutiérrez², V.R. Vallejo³

¹Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo

²Grupo de Meteorología, Instituto de Física de Cantabria, CSIC-UC, Santander

³Universidad de Barcelona y CEAM (Barcelona, Valencia)

*Correo electrónico: JoseM.Moreno@uclm.es

Los incendios forestales en España ante al cambio climático

Resultados clave

- Los incendios afectan a todo el territorio nacional, por lo que la gestión y conservación de los ecosistemas terrestres españoles requiere ir más allá de la prevención, e integrar la ecología de los ecosistemas en relación con el fuego.
- El cambio climático incrementará la frecuencia de situaciones de mayor peligro, así como la estación de incendios. Hasta mediados de siglo, el cambio climático proyectado es poco variable e independiente de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, la planificación futura debe basarse en el clima proyectado, no en el pasado.
- La gestión debe hacerse por objetivos específicos, incluyendo la disminución de la peligrosidad, el mantenimiento o mejora de los servicios ecosistémicos o la resiliencia de los ecosistemas al fuego u otros fenómenos extremos. La gestión debe contemplar el uso del fuego prescrito.
- Los incendios se concentran en algunas zonas. Se necesita una cartografía histórica de los incendios para poder anticiparse a los impactos más indeseados. Hay que planificar con especial atención la interfaz urbano-forestal.

Contexto

Descriptiva general de la ocurrencia de incendios en España y tendencias

En el último medio siglo se han registrado en España unos 550.000 incendios forestales, los cuales afectaron a cerca de 7,5 Mha. La incidencia anual

ha sido muy variable; mientras que en la década de 1960 el promedio anual de incendios registrado era de 1.870, afectando a 51.600 ha, en la década de 1990, la de mayor incidencia, se llegaron a registrar cada año unos 19.100 incendios, afectando a un promedio de 160.000 ha. Durante el último decenio (2001-2010) el número medio de incendios cada año ha disminuido algo, hasta 17.127, pero con un claro descenso de la superficie media quemada (113.848 ha anuales) (MAGRAMA 2012; Figura 1A). Estas variaciones son el reflejo de cambios experimentados en el país en los factores determinantes de la ocurrencia y magnitud de los incendios. En concreto, durante este tiempo, ha cambiado la sociología y economía, en particular de las zonas rurales, con sus consiguientes efectos sobre los usos del suelo y los paisajes, así como nuestras políticas de lucha contra incendios y la capacidad de hacerlos frente. Por otro lado, parte de estas variaciones refleja cambios en la recolección de la información, siendo esta más homogénea y exhaustiva en las últimas décadas, lo que afecta sobre todo a los incendios de pequeño tamaño. Finalmente, el clima, al igual que en el resto del mundo, ha cambiado, con aumentos de temperatura desiguales pero generalizados (Brunet et al. 2007, Pérez & Boscolo 2010, Fernández-Montes et al. 2013, Acero et al. 2014). Por otro lado, los cambios en la precipitación, aunque menos robustos, evidencian también una tendencia hacia la reducción de las mismas, sobre todo en invierno en la mitad sureste del país (Giorgi & Lionello 2008, Pérez & Boscolo 2010, Beguería et al. 2011).

Los incendios se reparten prácticamente por la totalidad de nuestra geografía. Podemos afirmar con rotundidad que gestionar nuestros ecosistemas terrestres, desde luego los forestales, requiere entender su relación con el fuego. De igual manera, conservar nuestros ecosistemas terrestres precisa entender su ecología en relación con el fuego. Si bien los incendios

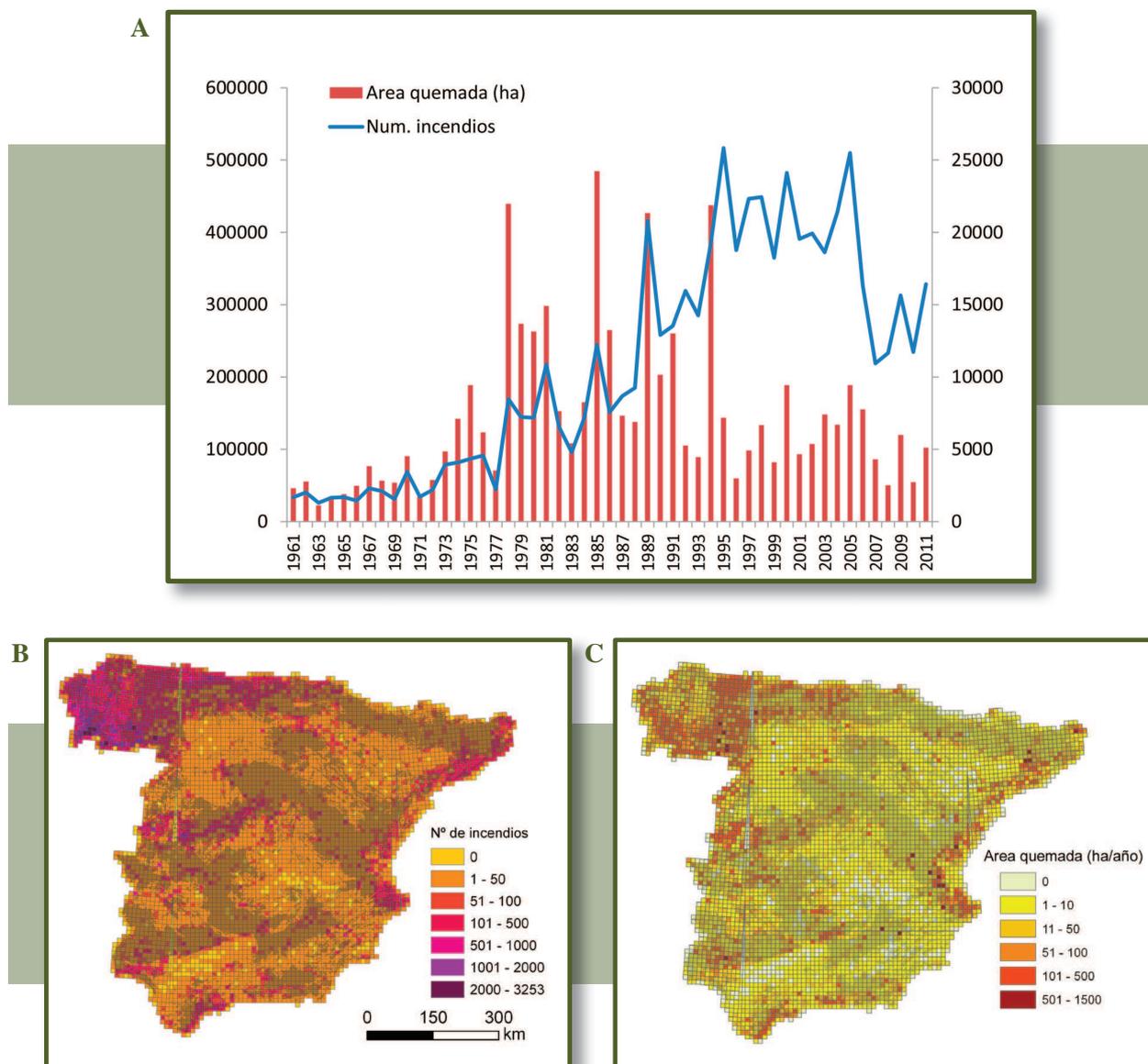
ocurren de manera generalizada, la incidencia en el país no es uniforme, por lo que hay zonas particularmente afectadas. Entre ellas destacan Galicia (con el 42% de los siniestros y el 25% de la superficie forestal total afectada en el último decenio), el Levante, las Sierras Béticas y el Sistema Central (Figura 1B, C).

Los incendios ocurren mayoritariamente en verano, siendo los meses de Julio y Agosto los que concentran alrededor del 75% de la superficie quemada. No obstante, en algunas áreas, particularmente en las provincias del Norte peninsular, los incendios de primavera e invierno pueden ser frecuentes, como consecuencia de particulares condiciones de circulación atmosférica del Sur, que traen viento seco y cálido a la región (Carracedo et al. 2009).

La mayor parte de los incendios son pequeños; muchos de ellos (según datos del periodo 2000-2008) apenas superan el nivel de conato (63,3%), otros se

quedan en 1-5 ha (24,2 %), de 5 a 50 ha solo son un 10,3 %, y de más de 50 ha apenas un 2%. Los incendios muy grandes (>500 ha), alcanzan a 30 incendios anuales de media (con un máximo de 59 grandes incendios en 2006); en décadas anteriores se alcanzaron medias anuales de 36 grandes incendios (década de los 90) y 70 (década de los 80; MAGRAMA 2012). No obstante estos números, la superficie que queman está en relación inversa con el tamaño, de manera que los conatos apenas suponen un 2 % del total quemado cada año, los incendios pequeños, de 1 a 5 ha, un 7,2 %, los de 5 a 50 ha un 20 %, los de 50 a 500 ha un 33 % y los muy grandes un 39 % (periodo 2000-2008). No existe una tendencia clara en cuanto a variaciones del número de incendios muy grandes (>500 ha) para el periodo 1968-2008 (test de Mann-Kendall, $\tau = -0,04$, $p = 0,71$) o al porcentaje de superficie que queman ($\tau = -0,05$, $p = 0,63$).

■ **Figura 1**



▲ **Figura 1.** Área quemada y número de incendios en España en el último medio siglo (A). Mapas del número total de incendios (B) y área quemada anual media (ha)(C) en España en los últimos 35 años (1974-2008, cuadrículas de 10 x 10 km). Las áreas sombreadas representan la superficie forestal (Mapa Forestal 1986-1997).

Fuente: EGIF (MAGRAMA) y elaboración propia.

Dado un cierto paisaje, la temperatura, la humedad del aire y de los combustibles y la velocidad del viento, entre otras, determinan la probabilidad de que, dada una fuente de ignición, esta desencadene un incendio (Rothermel 1972). La estrecha relación entre meteorología e incendio es la base de los diferentes índices de peligro que usan las agencias de prevención y lucha contra incendios (Andrews et al. 2003, Fujioka et al. 2008, Camia et al. 2010). Por ejemplo, el sistema canadiense, que es uno de los más utilizados en la Europa mediterránea, considera cinco índices parciales y uno final (FWI, *fire weather index*) para caracterizar el peligro de incendio (van Wagner 1987). Su uso en investigación está ampliamente extendido debido a la disponibilidad de diferentes bases de datos (Bedia et al. 2012). Diversos estudios han encontrado relaciones positivas entre el número de incendios o la superficie quemada y unas pocas variables meteorológicas, entre las cuales la temperatura y la precipitación son las más frecuentemente utilizadas (Vázquez & Moreno 1993, Pausas 2004, Verdú et al. 2012, Turco et al. 2013). En otros casos, se han explorado las relaciones entre incendios e índices de peligro (Piñol et al. 1998, Rasilla et al. 2010, Bedia et al. 2014a). Estos índices tienen la ventaja de combinar en una o pocas métricas diversas variables meteorológicas. En general, para la España peninsular, los incendios se ven favorecidos por temperaturas altas y precipitaciones de invierno bajas (Verdú et al. 2012). En algunos casos, se ha demostrado que más que las condiciones medias reinantes en la estación de incendios -el verano normalmente-, las condiciones extremas, esto es, valores por encima de tal o cual valor de las variables meteorológicas relevantes o índices de peligro, o el número de días por encima de dichos valores, son las que terminan siendo determinantes de la gravedad de la temporada de incendios (Vázquez & Moreno 1993, Piñol et al. 1998, Rasilla et al. 2010).

Las situaciones de falta de lluvia persistente, como durante las sequías, son igualmente propicias para los incendios, aunque la intensidad de su relación con los incendios varía según zonas (Carracedo et al. 2009). Las relaciones entre índices de sequía, como el código de sequía (DC) del sistema canadiense, y la ocurrencia de incendios muestra que estos solo son posibles a partir de determinados valores umbrales del índice (Loepfe et al. 2014). La influencia de la meteorología no se circunscribe al año en curso sino que, en algunos casos, se han encontrado relaciones con la meteorología de años anteriores, particularmente con las precipitaciones (Pausas 2004, Turco et al. 2013), habiéndose encontrado que años lluviosos anteriores al de la estación en curso se correlacionan con situaciones de mayor incidencia de incendios. Esto sugiere una interacción indirecta, por la vía de la acumulación del combustible, aunque dicha relación no se ha probado. Por otro lado, la relación con la precipitación del año en curso puede variar dependiendo de la estación. Mientras que la precipitación alta en primavera favorece los incendios, la de verano los reduce (Xystrakis et al. 2014).

De particular relevancia son los grandes incendios, dada la alta proporción de superficie que queman en relación a su número, proporción que varía según zonas más o menos peligrosas, siendo tanto mayor cuanto mayor es la peligrosidad de un territorio (Vázquez

& Moreno 1995, Verdú et al. 2012). En general, los incendios de mayor tamaño vienen determinados más por las condiciones meteorológicas que por factores del terreno, incluido el tipo de uso del suelo. Son determinantes de estos, sobre todo en las zonas mediterráneas de altitud intermedia, las altas temperaturas (efecto positivo) y las precipitaciones de invierno (efecto negativo) (Verdú et al. 2012). La relación entre grandes incendios y las condiciones de sequía del combustible no es lineal, sino que existen diferentes umbrales por debajo o por encima de los cuales estos no prosperan. En el primer caso, el exceso de humedad sería lo que los limita, mientras que, en el segundo, lo sería, presumiblemente, la falta de combustible, al darse situaciones de mayor déficit hídrico en las zonas con menor precipitación y por ende menos productivas (Loepfe et al. 2014). Diferentes situaciones sinópticas de circulación atmosférica producen distintas probabilidades de peligro extremo y, consiguientemente, de riesgo de grandes incendios (Pereira et al. 2005, Trigo et al. 2006, Rasilla et al. 2010). No obstante, la efectividad de un determinado patrón en producir grandes incendios no es homogénea en todo el territorio nacional peninsular. Así, mientras que situaciones de altas temperaturas y baja humedad relativa, junto con viento moderado del este o sureste, son determinantes de grandes incendios en el oeste peninsular, en el levante es más importante la presencia de vientos fuertes descendentes acompañados de baja humedad relativa, independientemente de la temperatura (Millán et al. 1998, Rasilla et al. 2010). La persistencia de particulares situaciones de peligro puede derivar en episodios de grandes incendios, que pueden terminar afectando a grandes extensiones del territorio. Situaciones de este tipo, que generan lo que se ha dado en llamar megaincendios, ocurrieron en el Levante, en 1994 (Moreno et al. 1998) o en Galicia, en 2006 (San Miguel-Ayanz et al. 2013). Circunstancias de este tipo, frecuentemente asociadas a olas de calor y, en algún caso, a déficit de precipitaciones, se han dado también en otras zonas mediterráneas, como en Portugal en los años 2003 y 2005 o en Grecia en 2007, entre otros (Pereira et al. 2005; Koutsias et al. 2012, San Miguel-Ayanz et al. 2013).

Otros factores determinantes de los incendios

A pesar de la importancia de la meteorología en los incendios, la capacidad predictiva de la ocurrencia de incendios -número o superficie quemada en un periodo dado- en base a variables meteorológicas o sus agregadas climáticas, directas (vgr., lluvias de primavera, temperatura media de la estación de incendios) o indirectas (vgr., índices de peligro), suele ser baja, lo que indica que otras variables intervienen en el proceso para determinar la incidencia de incendios en un lugar dado. Esto es debido a que la mayor parte de los incendios en España es de origen humano (Vázquez & Moreno 1998, MAGRAMA 2012), lo que dificulta su predictibilidad. Así, las igniciones no ocurren al azar, ni en el espacio ni en el tiempo (Badia-Perpinyá & Pallares-Barbera 2006, Amatulli et al. 2007, González-Olabarria et al. 2011, Fuentes-Santos et al. 2013, Chas-Amil et al. 2013). Consiguientemente, el territorio no se quema de manera aleatoria, siendo normal que unas zonas ardan más que otras. De igual manera, en un mismo lugar, unos tipos de vegetación suelen arder más frecuentemente que otros (matorrales o coníferas frente a bosques caducifolios o sistemas agropastorales) (Díaz-Delgado et al. 2004, Verdú et al. 2012, Moreno et al. 2014, Barros & Pereira 2014). Por otro lado, la probabilidad de que un incendio

se propague se ve favorecida por la configuración espacial de las manchas de vegetación que conforman el paisaje. Una mayor diversidad espacial y discontinuidad de los tipos de combustible dificulta la propagación del fuego y favorece el ataque, haciendo que el incendio sea menor (Viedma et al. 2009, Loepfe et al. 2010). Más aun, los propios incendios pueden contribuir a cambiar la composición y estructura del paisaje, incrementando su homogeneidad y peligrosidad (Viedma et al. 2006). De hecho, en algunos casos se ha demostrado una interacción positiva entre la ocurrencia de un primer incendio y el siguiente (Vázquez & Moreno 2001, Salvador et al. 2005). Por tanto, la peligrosidad de un paisaje es cambiante, y los propios incendios pueden contribuir a ello. La variación histórica de los diversos factores que, junto al clima, afectan a los incendios (factores socioeconómicos, paisajísticos o de capacidad de lucha contra el fuego, entre otros) (Martínez-Fernández et al. 2013, Moreno & Chuvieco 2013), complica la determinación causal del efecto del clima y del cambio climático en los incendios. En la mayoría de análisis se suele asumir que el peso del resto de los factores no ha sido significativo, por lo que raramente se tienen en cuenta al estudiar tales relaciones, lo cual puede inducir a error. Ciertamente, es difícil cuantificar cuánto contribuyen los diferentes factores a los incendios que han ocurrido en un periodo dado. Esta limitación es importante a la hora de calcular el riesgo futuro de incendios sobre la base de proyecciones de cambio climático o de otros cambios, paisajísticos o de otra naturaleza.

■ Los incendios en un contexto de clima futuro y otros cambios

Proyecciones de clima futuro de interés para los incendios

La mayor parte de los impactos del clima futuro sobre el peligro de incendio u otros sectores de interés se ha realizado hasta ahora en base a los escenarios SRES del IPCC (Nakićenović 2000). Para Europa, las proyecciones más completas de clima futuro fueron generadas por el proyecto ENSEMBLES¹ (van der Linden & Mitchell 2009), usando el escenario A1b como referencia, y una resolución espacial máxima de 25 km. En España, estas proyecciones han sido completadas con simulaciones equivalentes considerando también otros escenarios y técnicas estadísticas de regionalización producidas en el marco del PNACC² (Gutiérrez et al. 2012, Fernández et al. 2012). El escenario A1b asume un crecimiento rápido de la economía y tecnología; la población mundial aumenta hasta mediados del presente siglo, para luego estabilizarse. Todo ello conllevaría un aumento rápido de emisiones hasta mediados de siglo y una disminución posterior. El planteamiento usado en el SRES para la generación de escenarios de clima futuro ha sido modificado recientemente (Moss et al. 2010). Esta nueva generación de escenarios (CMIP5; Taylor et al. 2012) ha sido la base del último informe del IPCC (Stocker et al. 2013). No obstante, dado que la mayoría de los estudios de impacto disponibles siguen basándose aún en los escenarios SRES, interesa comparar ambas aproximaciones para poder valorarlas adecuadamente. Recientemente, se han publicado para

¹ <http://www.ensembles-eu.org/>

² http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat

Europa proyecciones de clima futuro con una resolución de 12 km, basados en dos de estos nuevos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5; Jacob et al. 2013). El escenario A1b anticipa un calentamiento global de 2.8-4.2°C para finales de siglo. Este calentamiento es intermedio entre lo proyectado para el escenario RCP4.5 -más moderado, que asume una disminución de las emisiones a partir de mediados de siglo - y el RCP8.5 - más elevado, con emisiones en continuo aumento, y que se corresponde en gran medida con la tendencia de las emisiones actuales - (Collins et al. 2013). Las diferencias en las proyecciones entre estas aproximaciones son cuantitativas, en tanto en cuanto dependen de la magnitud de las emisiones. Las relaciones espaciales se mantienen, con pequeñas diferencias, en gran parte debidas a la mayor resolución espacial de los últimos modelos. Las generalidades que emergen para la región del Sur de Europa (sensu Metzger et al. 2005), sirven bien para caracterizar el clima futuro de España.

En general, para la región del Sur de Europa se prevé un calentamiento conforme discurra el siglo XXI, tanto mayor cuanto mayor sea el nivel de emisiones (RCP8.5 frente a RCP4.5). En la Península Ibérica, el calentamiento es mayor hacia el interior y sureste, que en las zonas próximas a la costa. De igual manera, las precipitaciones medias anuales disminuyen con el tiempo, con una señal tanto más robusta cuanto mayor es el nivel de emisiones. La disminución de las precipitaciones es desigual, haciéndose mayor hacia el sureste en comparación con el norte y noroeste. Estos patrones espaciales proyectados para la Península Ibérica son similares a los descritos para el escenario A1b del SRES según EMSEMBLES. Así, en general, la correlación espacial para el sur de Europa es muy elevada, tanto para la temperatura como para la precipitación y para mediados o finales de siglo (Jacob et al. 2013). Estos cambios se corresponden con otros de singular importancia para los incendios, tales como: aumento en la frecuencia de rachas cálidas o del número de noches tropicales (con altas temperaturas), aumento de la sequía estival, disminución del contenido en humedad del suelo, aumento del número de días consecutivos secos en el suelo, o ligeras disminuciones en la humedad relativa, entre otros (Jacob et al. 2013, Christensen et al. 2013). Por tanto, las situaciones climáticas desfavorables para los incendios pueden aumentar en el Sur de Europa, incluida la Península Ibérica e Islas Baleares.

Índices de peligro meteorológico

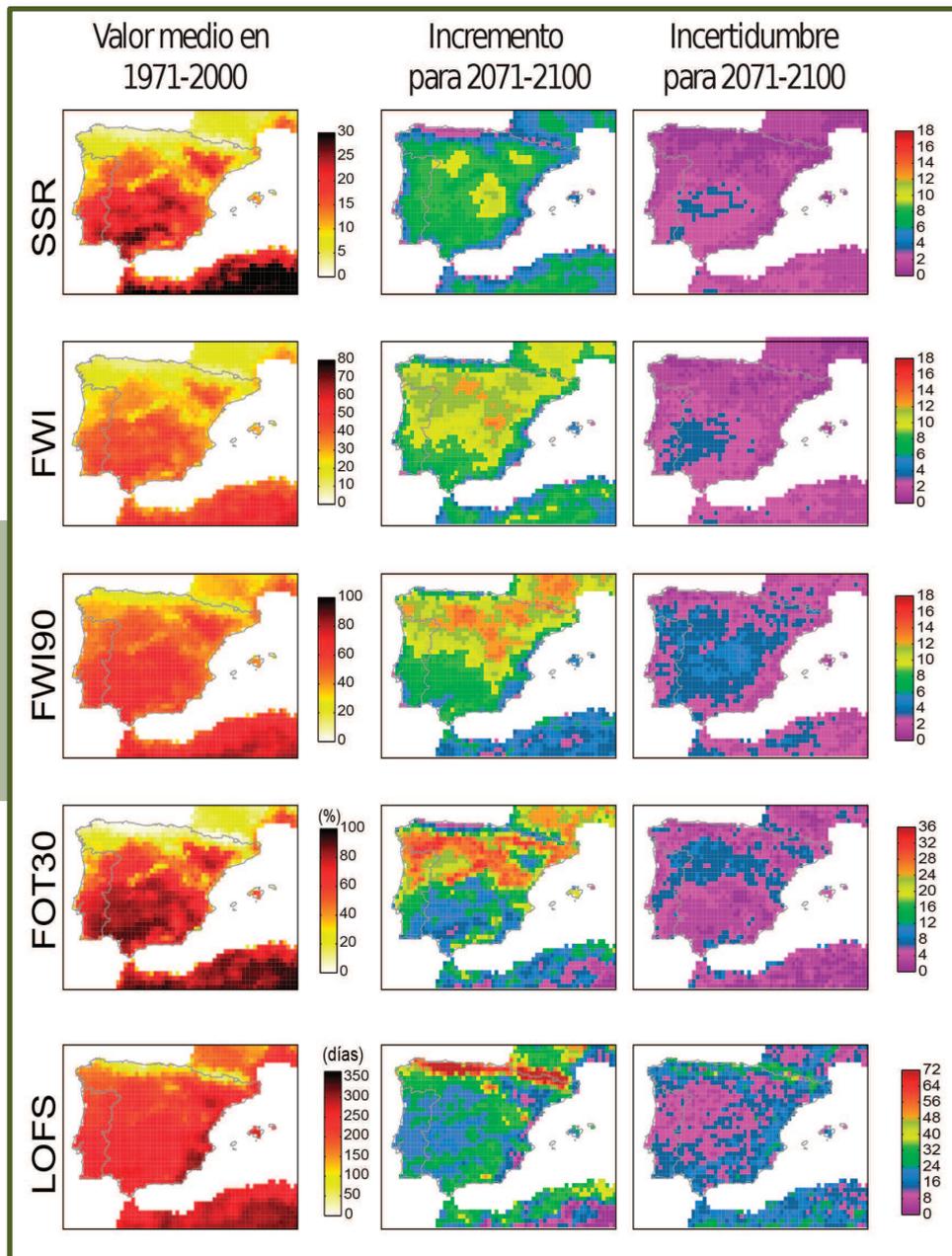
Las proyecciones regionales de cambio climático antes descritas proporcionan la información necesaria (variables meteorológicas) para el cálculo de distintos índices de peligro de incendio. Conviene recordar que un índice de peligro nos da una idea de la facilidad para la ignición, la propagación, el control del fuego o su impacto, no de la ocurrencia de más o menos incendios, esto es, del riesgo en sentido estricto. Nos centraremos en el FWI y sus componentes del sistema canadiense, de amplia aplicación y probada efectividad en la Europa Mediterránea y en España. La evolución futura de estos índices puede analizarse comparando los valores obtenidos a partir de las proyecciones en un período futuro (por ejemplo, 2071-2100) con los valores característicos del clima actual, obtenidos a partir de las proyecciones en un período de control (por ejemplo, 1971-2000). De este modo, en base al sistema de peligro

canadiense, se han desarrollado recientemente escenarios futuros de peligro potencial para el escenario A1b utilizando tanto los escenarios dinámicos generados en los experimentos del proyecto ENSEMBLES (Bedia et al. 2014b) como proyecciones estadísticas de escenarios-PNACC 2012, que proporcionan datos a escala puntual basadas en los registros de estaciones meteorológicas (Bedia et al. 2013).

En el caso de los escenarios dinámicos de peligro futuro, se ha considerado un conjunto de 5 modelos regionales, anidados a dos modelos globales distintos. Los resultados indican que existe una señal consistente entre los diferentes modelos, que revela de forma inequívoca una tendencia al aumento del peligro

potencial de incendios con el tiempo en la Península Ibérica (Figura 2). Así, de un FWI medio en España para la estación típica de incendios (junio-septiembre) de en torno a 30 se pasaría a cerca de 50 a finales de siglo. Esto daría lugar a un incremento promedio de 50 días en la duración de la estación de incendios y haría que el umbral 30 del FWI, intermedio en la actualidad, pues se rebasa aproximadamente el 50% de los días, pasase a ser un umbral común que se rebasaría más del 90% de los días. El análisis de la dispersión de los distintos modelos indica que estos indicadores son fiables para la evaluación de las condiciones futuras, dada la limitada dispersión del multi-modelo; es decir, existe un alto consenso sobre los resultados entre los distintos modelos.

■ **Figura 2**



▲ **Figura 2.** Mapas de peligro futuro. Escenarios de peligro potencial de incendios basados en las proyecciones del proyecto ENSEMBLES para dos indicadores de las condiciones de peligro medias (SSR, 'Seasonal Severity Rating' y FWI, 'Fire Weather Index') y dos indicadores de peligro extremo (FWI90, percentil 90 del FWI y FOT30, 'Frequency-over-threshold 30', o porcentaje de días que excede el valor de FWI = 30), considerando la estación de incendios de Junio a Septiembre (ambos inclusive). Además, el indicador LOFS (Length of the Fire Season) indica el número de días de duración de la estación de incendios típica en el Mediterráneo. Se muestran tanto las simulaciones del periodo de control (1971-2000) como las proyecciones futuras considerando el escenario de emisión A1B, en este caso representadas como anomalías (o diferencias en términos absolutos con respecto a los valores del periodo de control para cada punto de la rejilla). Los resultados mostrados corresponden al promedio de cinco modelos regionales diferentes acoplados a 2 GCMs diferentes. La dispersión del multi-modelo se presenta en la columna derecha en términos de su desviación típica.

Fuente: Adaptado de Bedia et al. (2014b).

Del mismo modo, las proyecciones regionalizadas mediante técnicas estadísticas coinciden de manera muy notable con las obtenidas mediante simulación dinámica con los modelos regionales, tanto en el patrón espacial como en la magnitud de los cambios predichos. No obstante, debido a ciertas limitaciones inherentes al método estadístico empleado, dichas proyecciones son solo fiables hasta mediados del siglo XXI, ya que presentan cierta tendencia a sesgar negativamente la magnitud del cambio en las últimas décadas del siglo XXI frente a las simulaciones dinámicas. Aún así, este inconveniente es compensado por el hecho de que las proyecciones estadísticas proporcionan información a escala puntual. Esto hace que, en determinadas circunstancias, estas proyecciones puedan ser potencialmente más fiables que las generadas por una aproximación dinámica. Esto ocurre cuando se requiere información detallada en regiones con una orografía especialmente compleja o en zonas litorales, donde la resolución de los modelos regionales pudiera no ser aún suficiente para representar de forma fidedigna los procesos a escala local. En este sentido, cabe decir que también los modelos dinámicos pueden presentar cierta tendencia a exagerar las condiciones de calor y sequedad a finales del siglo XXI (Maraun 2012), por lo que tanto en un caso como en otro, los resultados para este último periodo deben ser analizados con cautela. Por lo tanto, las técnicas estadísticas y los escenarios dinámicos presentan ventajas y desventajas particulares que hacen que ambos tipos de aproximaciones deban ser consideradas conjuntamente y de forma complementaria a la hora de abordar una evaluación adecuada del peligro futuro, considerando la escala de análisis y el problema concreto a resolver.

Por todo lo dicho, parece claro que todos los métodos y escenarios apuntan a un incremento claro del peligro potencial de incendios en la Europa Mediterránea en general, y en amplias zonas de España, en particular, a lo largo del siglo XXI, así como a un progresivo incremento de la duración de la estación de peligro, con una progresiva “mediterrización” de una amplia parte de las actuales áreas de influencia atlántica en términos de peligro potencial. Más allá de los posibles mecanismos de retroalimentación entre vegetación e incendios (ver p.ej. Krawchuk & Moritz 2011, Pausas & Paula 2012) y la evolución incierta en las políticas de prevención y medios de extinción, que pueden introducir no-linealidades en las relaciones clima-incendios a lo largo del tiempo, parece esperable un potencial aumento del número de incendios y la gravedad de la estación en las próximas décadas en España, como se analiza en el siguiente apartado.

Proyecciones específicas de incendios

Las proyecciones realizadas sobre la ocurrencia futura de incendios, en concreto de área quemada, basadas en extrapolar las relaciones pasadas entre los componentes del sistema canadiense de peligro meteorológico y el clima pasado usando escenarios de clima futuro (escenarios SRES) muestran que el incremento en área quemada en España para las tres últimas décadas del siglo en curso podría ser importante y tanto mayor cuanto más altas sean las emisiones. Así, mientras que para el escenario B2 (bajo en emisiones) el incremento sería del 39%, para el A2, más intenso en emisiones, el aumento sería del 45%. A nivel global de EU-Med (países de tipo mediterráneo

de la UE), estos porcentajes ascienden al 25% y 38%, respectivamente, para dichos escenarios (Amatulli et al. 2013). Cálculos realizados independientemente para otros países, como Portugal, arrojan aumentos menores ($\approx 11\%$) para el escenario B1 (el más bajo en emisiones de los contemplados) (Pereira et al. 2013). Por tanto, todo indica que, asumiendo que las relaciones pasadas se mantienen, la incidencia de incendios puede aumentar de manera importante, tanto más cuanto mayor sea el calentamiento global como consecuencia de un mayor nivel de emisiones. No obstante, hay que señalar la gran incertidumbre de estos cálculos, toda vez que se basan en extrapolar relaciones pasadas, sin tener en cuenta los cambios paisajísticos o de otra naturaleza que pueden igualmente incidir en el riesgo futuro de incendios. Aunque sin cuantificar, sí parece más probable que, dada la mayor frecuencia de situaciones extremas (Bedia et al. 2013, 2014b), las que hacen más probables los grandes incendios, estos serán más frecuentes.

Interacciones con otros cambios

La continuación de las tendencias hacia cambios en los usos del suelo que supongan un mayor incremento en la vegetación natural, y por tanto, del territorio forestal, puede añadir más territorio susceptible de arder. Estas tendencias estarán muy condicionadas por las políticas agrarias de la Unión Europea (PAC), ya que las tierras menos productivas, las más susceptibles de abandono, se mantienen cultivadas gracias a las subvenciones de la PAC. Las proyecciones de cambios de usos de suelos efectuadas hasta ahora muestran una mayor concentración de la agricultura hacia las zonas más ricas y un aumento del territorio dedicado a otros fines, incluyendo el abandono (Rounsevell et al. 2006). Estas tendencias, unidas al aumento de combustible con el paso del tiempo en zonas abandonadas en las décadas precedentes, pueden seguir incrementando la peligrosidad del paisaje en amplias zonas de España. Por otro lado, el cambio climático puede acelerar cambios en la naturaleza de los combustibles, haciendo el territorio más peligroso, sobre todo como consecuencia de la mortalidad vegetal en especies vulnerables, en particular a la falta de agua (Allen et al. 2010). La persistencia de algunas plantaciones de coníferas antiguas bajo escenarios climáticos más adversos, particularmente en condiciones xéricas (Sánchez-Salguero et al. 2012), puede contribuir a aumentos en la mortalidad de los árboles e incrementos en la biomasa muerta, con el consiguiente incremento en la peligrosidad del paisaje.

Las proyecciones de cambio climático pueden dar lugar a la aridización de las zonas de clima seco subhúmedo en el límite con el semiárido, con una pérdida de combustible que reduciría el peligro de incendio (Krawchuk et al. 2009, Pausas & Paula 2012, Pausas & Ribeiro 2013). Estas zonas serían las más vulnerables en la actualidad y durante el periodo de aridización progresiva en la medida en que mantengan suficiente combustible como para propagar los incendios, y en que las condiciones de sequía dificulten la regeneración post-incendio y el consiguiente aumento del riesgo de erosión y de degradación irreversible del ecosistema. La degradación del territorio por la historia de usos contribuye a acentuar, de forma sinérgica, el efecto de la aridización del clima.

En un territorio de larga e intensa influencia humana como el español, la historia de usos del suelo tiene un papel determinante en la configuración de la vegetación (combustibles), su dinámica y su respuesta al fuego. La recuperación inicial del recubrimiento vegetal protector después del fuego de la vegetación dominada por especies germinadoras (pinos, jaras, romeros) es más lenta que la de las formaciones dominadas por especies rebrotadoras (quercíneas, esclerofilas en general, muchas herbáceas perennes, Vallejo y Alloza 1998). Ello hace que estos ecosistemas estén más expuestos a la degradación post-incendio. Por el contrario, Los matorrales dominados por especies germinadoras derivados de la colonización de cultivos abandonados, o de regenerados después del fuego, acumulan gran cantidad de combustible muy peligroso en pocos años (Baeza et al. 2011), dando lugar con frecuencia a ciclos de incendios de corto intervalo que no permiten una sucesión a comunidades más maduras y menos combustibles (Baeza et al. 2007).

De igual manera, el régimen de incendios puede cambiar la configuración y combustibilidad de los bosques. Los pinares más o menos puros, que suponen un 35% de las formaciones arboladas españolas (según datos del Anuario de Estadística Forestal 2010, MAGRAMA 2013), pueden sufrir cambios drásticos según la especie de pino dominante. Los pinares de *Pinus halepensis*, que poseen un banco de semillas permanente en copa una vez alcanzada la madurez sexual (especie serótina), suelen regenerar abundantemente después del fuego, frecuentemente en exceso, dando lugar a regenerados con varios miles, hasta decenas de miles, de pies por hectárea (Thanos & Daskalaku 2000). Estos regenerados producen masas altamente peligrosas y por lo tanto deben ser objeto de clareo. Un segundo incendio antes de que la masa alcance la madurez sexual (15-20 años según la calidad de la estación) supone la desaparición local de la especie, al igual que pasará en una plantación joven (Pausas et al. 2004). Estos pinares darían lugar a matorrales, con características muy condicionadas por la historia de usos de suelos. Un comportamiento muy diferente es el de los pinos que no tienen banco de semillas permanente en copa, como *Pinus nigra* o *P. sylvestris*, que con un solo incendio de copas ya pueden desaparecer localmente (Retana et al. 2002), hasta que puedan recolonizar eventualmente el monte desde masas próximas no quemadas. Estos pinares quemados pueden dar lugar a matorrales o a monte bajo de frondosas si estas existían previamente en el sotobosque del pinar. Mención especial merece el caso del *Abies pinsapo*, especie en peligro de extinción muy vulnerable a los incendios de copa. En situación opuesta se encuentra los bosques de frondosas: el fuego no causa la desaparición de la especie dominante debido a la capacidad de rebrote generalizada en las frondosas, aunque sí promueve cambios hacia estructuras de monte bajo, más combustibles a medio plazo (Espelta et al. 2003). Un punto a considerar es el del papel del CO₂ como coadyuvante a la productividad e incremento en la eficiencia del agua, por tanto, en mantener la acumulación de biomasa para el fuego (Ainsworth & Long 2005, Sitch et al. 2008, Tague et al. 2009).

El papel de la prevención

A pesar del aumento de las condiciones meteorológicas favorables a la propagación los incendios, durante las últimas décadas, la superficie quemada ha disminuido en España y en el conjunto de los países de

la Europa mediterránea (San Miguel-Ayanz et al. 2012). Ello apunta a la mejora en la eficacia de la lucha contra el fuego (Brotons et al. 2013). Las proyecciones de cambio climático y de los usos de suelo indican un aumento de las condiciones de peligro y consiguiente riesgo de incendios, pero obviamente hay margen para la adaptación de un problema que ya existe y que, eventualmente, va a empeorar en su magnitud (intensidad y frecuencia). El reto en la prevención de incendios se centra en la disminución de las igniciones (antrópicas en su inmensa mayoría), en la planificación del territorio que promueva un paisaje menos combustible y susceptible de propagar grandes (mega-) incendios, y, muy especialmente, en la interfaz urbano-forestal, que en España tiene una gran extensión. El riesgo de ignición desde las zonas habitadas al medio forestal y viceversa es muy alto, con el consiguiente alto riesgo para las personas y estructuras urbanas.

■ Recomendaciones para la adaptación

- Los incendios forestales se reparten por toda la geografía nacional. Consiguientemente, no es posible gestionar el territorio y sus ecosistemas terrestres, tanto en zonas protegidas como sin proteger, sin tener en cuenta el papel del fuego. La gestión forestal debe tomar en consideración el riesgo actual y futuro, e incluir la prevención en sus estrategias de desarrollo técnico, así como las ulteriores consecuencias de un incendio, incluida la restauración de montes quemados, dado el enorme dinamismo de las zonas quemadas.
- El cambio climático trae consigo un incremento del peligro meteorológico medio así como de las situaciones extremas. Otros cambios relacionados con el clima o la socioeconomía pueden contribuir también a aumentar la peligrosidad del territorio. Los sistemas de lucha contra incendios deben estar preparados para hacer frente a situaciones adversas más frecuentes, que pueden desencadenar incendios múltiples y simultáneos, repartidos por amplias zonas del territorio nacional.
- Diferenciar los objetivos de la gestión e incorporar la ecología del fuego, no solo la prevención, es importante de cara a un futuro de mayor peligro. Hay que diferenciar la protección de los activos humanos, de interés económico o de otro tipo, frente a los ambientales de manera explícita, pues la consecución de ambos puede ser contradictoria. El fuego como aliado de la gestión puede tener cabida, particularmente en los segundos. Apagar cualquier fuego a cualquier coste puede no ser posible o rentable, incluso desde el punto de vista ecológico.
- Planificar y prevenir pensando en el futuro, con condiciones diferentes a las de ayer, es un imperativo. Repetir para mañana lo del pasado puede ser equivocado, pues las condiciones serán diferentes. Esto requerirá usar herramientas nuevas, usando escenarios que no necesariamente se han dado en el pasado. En un futuro próximo (hasta mediados de siglo) el cambio climático que se proyecta es bastante independiente de los escenarios de emisiones futuras. Por tanto, podemos considerarlo como cierto y usar las herramientas de proyección climática existentes,

tanto dinámicas como estadísticas, para los cálculos del peligro futuro y otras acciones preventivas.

- Los incendios tienden a repetirse en ciertas zonas. Consecuentemente, los impactos no son homogéneos. Anticiparse a los más indeseados requiere conocer cuáles son las zonas más críticas, y planificar las posibles respuestas con anterioridad. Para saber esto la estadística no es suficiente. Hay que tener bases de datos que permitan saber dónde han ocurrido los incendios de manera espacialmente explícita. Se precisan bases de datos cartográficas del pasado, que permitan conocer cuáles son los puntos de mayor riesgo ante la ocurrencia de un nuevo incendio.
- Las zonas de contacto entre el medio forestal y urbano (urbanizaciones sobre todo) constituyen el mayor problema de protección civil ocasionado por los incendios. A pesar de que ya existe legislación específica para la protección de la interfaz urbano-forestal, se deben buscar fórmulas que mejoren la eficacia en el cumplimiento de la misma e incorporar el riesgo de incendio en la planificación de todo desarrollo urbanístico en contacto con el medio forestal.

■ Referencias bibliográficas

- Acero FJ, García JA, Gallego MC, Parey S, Dacunha-Castelle D (2014) Trends in Summer Extreme Temperatures over the Iberian Peninsula using Non-Urban Station Data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119:39-53
- Ainsworth EA, Long SP (2005) What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist* 165:351-372
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hogg EH, Gonzalez P, Fensham R, Zhang Z, Lim JH, Castro J, Demidova N, Allard G, Running SW (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259:660-684
- Amatulli G, Pérez-Cabello F, de la Riva J (2007) Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological Modelling* 200:321-333
- Amatulli G, Camia A, San-Miguel-Ayanz J (2013) Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Science of the Total Environment* 450-451:209-222
- Andrews PL, Loftsgaarden DO, Bradshaw LS (2003) Evaluation of fire danger rating indexes using logistic regression and percentile analysis. *International Journal of Wildland Fire* 12:213-226
- Badia-Perpinyà A, Pallares-Barbera M (2006) Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: the case of Catalonia. *International Journal of Wildland Fire* 15:187-196
- Baeza MJ, Valdecantos A, Alloza JA, Vallejo VR (2007) Human disturbance and environmental factors as drivers of long-term post-fire regeneration patterns in Mediterranean forests. *Journal of Vegetation Science* 18:243-252
- Baeza MJ, Santana VM, Pausas JG, Vallejo VR (2011) Successional trends in standing dead biomass in Mediterranean basin species. *Journal of Vegetation Science* 22:467-474
- Barros AMG, Pereira JMC (2014) Wildfire selectivity for land cover type: does size matter? *PLoS ONE* 9: e84760. doi:10.1371/journal.pone.0084760
- Bedia J, Herrera S, Gutierrez JM, Zavala G, Urbieto IR, Moreno JM (2012) Sensitivity of fire weather index to different reanalysis products in the Iberian Peninsula. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12:699-708
- Bedia J, Herrera S, Martín DS, Koutsias N, Gutiérrez JM (2013) Robust projections of Fire Weather Index in the Mediterranean using statistical downscaling. *Climatic Change* 120: 229-247

- Bedia J, Herrera S, Gutiérrez JM (2014a) Assessing the predictability of fire occurrence and area burned across phytoclimatic regions in Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14:53-66
- Bedia J, Herrera S, Camia A, Moreno JM, Gutiérrez JM (2014b). Forest Fire Danger Projections in the Mediterranean using ENSEMBLES Regional Climate Change Scenarios. *Climatic Change* 122:185-199
- Beguiría S, Angulo-Martínez M, Vicente-Serrano SM, López-Moreno JI, El-Kenawy A (2011) Assessing trends in extreme precipitation events intensity and magnitude using non-stationary peaks-over-threshold analysis: a case study in northeast Spain from 1930 to 2006. *International Journal of Climatology* 31:2102-2114
- Brotons L, Aquilué N, de Cáceres M, Fortin MJ, Fall A (2013) How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes. *PLoS ONE* 8:e62392
- Brunet M, Jones PD, Sigró J., Saladié O, Aguilar E, Moberg A, Della-Marta P, Lister D, Walther A, López D (2007) Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112: D12117
- Camia A, Durrant TH, San-Miguel-Ayanz J (2010) The European fire database: development, structure and implementation. 6th International conference on forest fire research, A20
- Carracedo V, Liaño CD, García Codron JC, Rasilla DF (2009). Clima e incendios forestales en Cantabria: evolución y tendencias recientes. *Pirineos* 164:33-48
- Chas-Amil ML, Touza J, García-Martínez E (2013) Forest fires in the wildland–urban interface: A spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography* 43:127-137
- Christensen JH, Kanikicharla KK, Aldrian E, An SI, Cavalcanti IFA, de Castro M, Dong W, Goswami P, Hall A, Kanyanga JK, Kitoh A, Kossin J, Lau NC, Renwick J, Stephenson D, Xie SP, Zhou T (2013) Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. Chapter 14. En: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, editores. *Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge and New York
- Collins M, Knutti R., Arblaster JM, Dufresne JL, Fichet T, Friedlingstein P, Gao X, Gutowski Jr. WJ, Johns T, Krinner G, Shongwe M, Tebaldi C, Weaver AJ, Wehner M (2013) Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Chapter 12. En: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, editores. *Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge and New York
- Díaz-Delgado R, Lloret F, Pons X (2004) Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE Spain. *Landscape Ecology* 19:731-745
- Espelta JM, Retana J, Habrouk A (2003) Resprouting patterns after fire and response to stool cleaning of two coexisting Mediterranean oaks with contrasting leaf habits on two different sites. *Forest Ecology and Management* 179:401-414
- Fernández J, Fita L, García-Díez M, Montávez JP, Jiménez-Guerrero P, Domínguez M, Romera R, López de la Franca N, Sánchez E, Liguori G, Cabos WD, Gaertner MA (2012) Escenarios-PNACC 2012: Resultados de regionalización dinámica. En: *Cambio Climático: Extremos e impactos*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, Número 8
- Fernández-Montes S, Rodrigo FS, Seubert S, Sousa PM (2013) Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types. *Atmospheric Research* 127:154-177
- Fuentes-Santos I, Marey-Pérez MF, González-Manteiga W (2013) Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). *Journal of Environmental Management* 128:30-42
- Fujioka FM, Gill AM, Viegas DX, Wotton BM (2008) Fire danger and fire behavior modeling systems in Australia, Europe, and North America. En: Bytnerowicz A, Arbaugh M, Riebau A, Andersen C, editores. *Developments in Environmental Science*. Elsevier B.V., The Netherlands. pp. 471-497
- Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63:90-104
- González-Olabarria J, Mola-Yudego B, Pukkala T, Palahi M (2011) Using multiscale spatial analysis to assess fire ignition density in Catalonia, Spain. *Annals of Forest Science* 68:861-871
- Gutiérrez JM, Ribalaygua J, Llasat C, Romero R, Abaurrea J, Rodríguez-Camino E (2012) Escenarios-PNACC 2012: Descripción y análisis de los resultados de regionalización estadística. En: *Cambio Climático: Extremos e impactos*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, Número 8.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen O, Bouwer L, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, et al. (2013) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 1-16
- Koutsias N, Arianoutsou M, Kallimanis A, Mallinis G, Halley J, Dimopoulos P (2012) Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007? Evidence for a synergy of fuel and weather. *Agricultural and Forest Meteorology* 156:41-53

- Krawchuk MA, Moritz MA, Parisien M-A, Van Dorn J, Hayhoe K (2009) Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire. *PLoS ONE* 4:e5102. Doi: 10.1371/journal.pone.0005102
- Krawchuk MA, Moritz MA (2011) Constraints on global fire activity vary across a resource gradient. *Ecology* 92:121-132
- Loepfe L, Martinez-Vilalta J, Oliveres J, Piñol J, Lloret F (2010) Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management* 259:2366-2374
- Loepfe L, Rodrigo A, Lloret F (2014) Two thresholds determine climatic control of forest fire size in Europe and northern Africa. *Regional Environmental Change* 1-10
- MAGRAMA (2012) Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/incendios_forestales_espa%C3%B1a_decenio_2001_2010_tcm7-235361.pdf Último acceso 24 de julio de 2014
- MAGRAMA (2013) Anuario de estadística forestal 2010. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/AEF_2010_final_tcm7-226979.pdf Último acceso 24 de julio de 2014
- Maraun D (2012) Nonstationarities of regional climate model biases in European seasonal mean temperature and precipitation sums. *Geophysical Research Letters* 39:L06706
- Martínez-Fernández J, Chuvieco E, Koutsias N (2013) Modelling long-term fire occurrence factors in Spain by accounting for local variations with geographically weighted regression. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13:311-327
- Metzger MJ, Bunce RGH, Jongman RHG, Muecher CA, Watkins JW (2005) A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology & Biogeography* 14: 549-563
- Millán MM, Estrela MJ, Bádenas C (1998) Synoptic analysis of meteorological processes relevant to forest fire dynamics on the Spanish Mediterranean coast. En: Moreno JM, editor. *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden. pp. 1-30
- Moreno JM, Vázquez A, Vélez R (1998) Recent history of forest fires in Spain. En: Moreno JM, editor. *Large forest fires*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. pp. 159-185
- Moreno MV, Chuvieco E (2013) Characterising fire regimes in Spain from fire statistics. *International Journal of Wildland Fire* 22:296-305
- Moreno MV, Conedera M, Chuvieco E, Pezzatti GB (2014) Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science & Policy* 37:11-22
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakićenović N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747-756
- Nakićenović N (2000) Greenhouse Gas Emissions Scenarios. *Technological Forecasting and Social Change* 65:149-166
- Pausas JG (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change* 63:337-350
- Pausas JG, Bladé C, Valdecantos A, Seva JP, Fuentes D, Alloza JA, Vilagrosa A, Bautista S, Cortina J, Vallejo VR (2004) Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice – a review. *Plant Ecology* 171:209-220
- Pausas JG, Paula S (2012) Fuel shapes the fire-climate relationship: evidence from Mediterranean ecosystems. *Global Ecology & Biogeography* 21:1074-1082
- Pausas JG, Ribeiro E (2013) The global fire-productivity relationship. *Global Ecology & Biogeography* 22:728-736
- Pereira MG, Trigo RM, da Camara CC, Pereira JMC, Leite SM (2005) Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 129:11-25
- Pereira MG, Calado TJ, DaCamara CC, Calheiros T (2013) Effects of regional climate change on rural fires in Portugal. *Climate Research* 57:187-200
- Pérez FF, Boscolo R (2010) Clima en España: Pasado, Presente y Futuro. Informe de evaluación del cambio climático regional. Clivar España. Disponible en: http://www.clivar.es/files/informe_clivar_final.pdf Último acceso 24 de julio de 2014
- Piñol J, Terradas J, Lloret F (1998) Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38:345-357
- Rasilla DF, García-Codron JC, Carracedo V, Diego C (2010) Circulation patterns, wildfire risk and wildfire occurrence at continental Spain. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C* 35:553-560
- Retana J, Espelta JM, Habrouk A, Ordonez JL, Solà-Morales F (2002) Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large fire in northeastern Spain. *Ecoscience* 9:89-97
- Rothermel R (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Research Paper INT-115, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, p 40
- Rounsevell MDA, Reginster I, Araújo MB, Carter TR, Dendoncker N, Ewert F, House JI, Kankaanpää S, Leemans R, Metzger MJ, Schmit C, Smith P, Tuck G (2006) A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems &*

- Sánchez-Salguero R, Navarro-Cerrilo RM, Swetnam TW, Zavala MA (2012) Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management* 271:158-169
- Salvador R, Lloret F, Pons X, Piñol J (2005) Does fire occurrence modify the probability of being burned again? A null hypothesis test from Mediterranean ecosystems in NE Spain. *Ecological Modelling* 188: 461-469
- San Miguel-Ayanz J, Rodrigues M, Santos de Oliveira S, Kemper C, Moreira F, Duguay B, Camia A (2012) Land cover change and fire regime in the European Mediterranean region. En: Moreira F et al, editores. *Managing forest ecosystems*. Springer. pp. 21-43
- San-Miguel-Ayanz J, Moreno JM, Camia A (2013) Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management* 294: 11-22
- Sitch S, Huntingford C, Gedney N, Levy PE, Lomas M, Piao SL, Betts R, Ciais P, Cox P, Friedlingstein P, Jones CD, Prentice IC, Woodward FI (2008) Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). *Global Change Biology* 14: 2015-2039
- Stocker T, Dahe Q, Plattner GK (2013) *Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge
- Tague C, Seaby L, Hope A (2009) Modeling the eco-hydrologic response of a Mediterranean type ecosystem to the combined impacts of projected climate change and altered fire frequencies. *Climatic Change* 93: 137-155
- Taylor K, Stouffer RJ, Meehl GA (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93:485-498
- Thanos CA, Daskalidou EN (2000) Reproduction in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. En: Ne'eman G, Trabaud L, editores. *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 79-90
- Trigo RM, Pereira JMC, Pereira MG, Mota B, Calado TJ, DaCamara CC, Santo FE (2006) Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *International Journal of Climatology* 26: 1741-1757
- Turco M, Llasat M, Hardenberg J, Provenzale A (2013) Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean environment (northeastern Iberian Peninsula). *Climatic Change* 116: 665-678
- Vallejo VR, Alloza JA (1998) The restoration of burned lands: The case of eastern Spain. En: Moreno J.M. editor. *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. pp. 91-108
- vander Linden P, Mitchell J (2009) ENSEMBLES: climate change and its impacts: summary of research and results from the ENSEMBLES project. Technical report. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK
- van Wagner C.E. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index system. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35, Ottawa
- Vázquez A, Moreno JM (1993) Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain. *Landscape and Urban Planning* 24:129-142
- Vázquez A, Moreno JM (1995) Patterns of fire occurrence across a climatic gradient and its relationships to meteorological variables in Spain. En: Moreno JM, Oechel WC, editores. *Global change and Mediterranean-type ecosystems*. Springer-Verlag, New York. pp. 408-434
- Vázquez A, Moreno JM (1998) Patterns of Lightning-, and People-Caused Fires in Peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire* 8: 103-115
- Vázquez A, Moreno JM (2001) Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management* 147: 55-65
- Verdú F, Salas J, Vega-García C (2012) A multivariate analysis of biophysical factors and forest fires in Spain, 1991-2005. *International Journal of Wildland Fire* 21: 498-509
- Viedma O, Moreno JM, Rieiro I (2006) Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos (Central Spain). *Environmental Conservation* 33: 212-222
- Viedma O, Angeler DG, Moreno JM (2009) Landscape structural features control fire size in a Mediterranean forested area of central Spain. *International Journal of Wildland Fire* 18: 575-583
- Xystrakis F, Kallimanis AS, Dimopoulos P, Halley JM, Koutsias N (2014) Precipitation dominates fire occurrence in Greece (1900-2010): its dual role in fuel build-up and dryness. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14: 21-32