

Capítulo 11

Cambio Climático y Riesgo de Incendios Forestales en Castilla-La Mancha

José Manuel Moreno Rodríguez
Itziar Rodríguez-Urbieta
Gonzalo Zavala Espiñeira
María Martín

*Departamento de Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias del Medio Ambiente
Toledo*

Resumen

Los incendios forestales juegan un papel clave en los paisajes de Castilla-La Mancha. En las últimas tres décadas se ha observado una tendencia hacia el aumento del número de incendios en la región, con una media anual de 242 incendios, que afectan a unas 12.500 hectáreas del territorio. La distribución geográfica de los incendios en Castilla-La Mancha no es homogénea, siendo menor el número de incendios en las zonas centro y sureste de la región, mientras que los puntos calientes se localizan al norte, oeste y suroeste, coincidiendo con las zonas forestales. Los incendios se dan en verano y son causados principalmente por el hombre, en su mayoría de forma accidental.

La ocurrencia de incendios es favorecida por vegetación inflamable y condiciones climáticas desecantes, como altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequía. Con el cambio climático aumentarán las temperaturas así como la sequedad del suelo, lo que inducirá una elevación de la desecación de los combustibles vivos y muertos y, por tanto, de su inflamabilidad. Asimismo, los periodos de peligro y las situaciones extremas aumentarán con el tiempo. Ante estas previsiones se analiza cómo variará el peligro de incendio en Castilla-La Mancha durante el siglo XXI en base al índice meteorológico de peligro de incendios (FWI) canadiense, en función de diferentes modelos de circulación general, modelos regionales y escenarios de emisiones.

Se constata que el peligro de incendio crecerá muy sensiblemente conforme discurra el siglo en todo el territorio, independientemente del modelo climático o escenarios. En la mitad occidental de la región el aumento del riesgo de incendio será muy alto conforme nos adentremos en este siglo. La duración de la temporada de incendios será mayor y las situaciones de peligro extremo serán más frecuentes, siendo estos cambios particularmente severos en el sur y occidente de Castilla-La Mancha.

La revisión de la política de lucha contra incendios, la inclusión del riesgo de incendio asociado a un determinado uso del suelo, la mejora en los sistemas de vigilancia y alerta precoz, así como una mejor formación e información de la población son algunas de las opciones adaptativas para reducir los impactos adversos. Para concluir, se destacan las necesidades de investigación más relevantes, que pasan por conocer la interacción entre la sequía, el peligro de incendio y la respuesta de la vegetación al fuego. Además, es preciso disponer de escenarios climáticos y de vegetación para el futuro con resolución espacial y temporal adecuada. Finalmente, se necesita incorporar las nuevas proyecciones de peligro de incendio a la gestión para adaptarse al cambio climático en el que estamos inmersos.

Introducción

Antecedentes sobre clima e incendios

Los incendios forestales son uno de los factores que más influyen sobre la estructura y funcionamiento de gran parte de los ecosistemas terrestres, y contribuyen a modificar la atmósfera actual debido a las emisiones de carbono y otros gases (Prentice et al. 2000). Actualmente, se queman más de 1000 Mha al año, mayoritariamente en las sabanas tropicales, así como en los bosques tropicales y boreales (Levine 1991). Las zonas mediterráneas y del Sur de Europa son, igualmente, áreas con una alta incidencia de incendios (Vélez 2000a). Las relaciones entre el clima, la meteorología subyacente y el fuego están claramente establecidas. Los incendios tienden a ocurrir en aquellos sitios que no son ni muy húmedos, por la dificultad de que la vegetación prenda y se propague, ni muy secos, por la falta de combustible. Así, en las zonas intermedias, con suficiente productividad para que haya vegetación abundante, pero con un periodo seco, serían las más propicias. El clima mediterráneo es paradigmático de este modelo.

En el pasado, la relación entre cambio climático e incendios forestales ha sido estrecha (Clark 1988; Carcaillet et al. 2002), de manera que éstos han sido más frecuentes en los periodos cálidos que en los fríos. En España, la relación entre el cambio climático pasado, la vegetación y los incendios comienza a ser bien conocida, sobre todo a partir del Holoceno, hace unos 10.000 años (Peñalba 1994; Goñi & Hannon 1999; Carrión & van Geel 1999). Durante este periodo la vegetación española ha sido enormemente dinámica, con cambios asociados al clima. Existen evidencias sobre la ocurrencia de incendios forestales en los registros sedimentarios desde hace decenas de miles de años, incluso en pleno apogeo de la última glaciación. Algunas de ellas muestran un régimen con incendios poco frecuentes, cada 300-400 años. Estas bajas frecuencias aumentaron durante el curso del Holoceno (pasándose a picos de 100-200 años), conforme el clima se fue haciendo más seco (Carrión et al. 2003). La irrupción del hombre supuso un incremento en la frecuencia de incendios en la mayoría de los sitios estudiados, y una alteración de la vegetación dominante (Franco Múgica et al. 1997; 1998). Los incendios han continuado ocurriendo en épocas históricas, si bien los cambios en su frecuencia y en las especies dominantes hacen pensar que mayoritariamente estaban ligados a la gestión del territorio.

En épocas recientes, desde la segunda mitad del siglo XX, los paisajes españoles se han visto sometidos a un cambio de los usos del suelo debido al abandono rural, el cese de los aprovechamientos tradicionales del monte, el cese del pastoreo extensivo y la forestación de zonas marginales y poco productivas. Así, se pasó de tener paisajes con poca cubierta arbolada o vegetal en general, a otros que, poco a poco, se fueron cubriendo de vegetación arbórea o arbustiva, con masas reviejadas, proclives a sufrir las consecuencias de los avatares climáticos, como las sequías, o los incendios.

Si miramos al futuro, las proyecciones que se hacen para finales de este siglo indican que es muy probable que continúe el proceso de abandono de tierras marginales o su utilización para otros fines, y consiguiente concentración de la agricultura en las zonas más fértiles. La superficie dedicada a cultivos puede disminuir en función del escenario socioeconómico y de emisiones de gases de efecto invernadero que se considere. Así, los escenarios menos intensivos en emisiones (como el B1) indican que para los años 2080 la superficie agrícola de España podría disminuir hasta un 33%. Por el contrario, escenarios más intensos en emisiones (A1), producirían disminuciones de hasta un 70% para la misma fecha (Metzger et al. 2004). Consiguientemente, cabe esperar que el proceso de modificación de los usos del suelo continúe durante este siglo. Una disminución en la superficie destinada a cultivos conllevaría un aumento de la superficie dedicada a otros usos, principalmente los forestales, en todas sus facetas, con el consiguiente aumento del combustible y, eventualmente, de la peligrosidad de nuestros paisajes. El proceso histórico anterior de abandono y forestación de amplias extensiones ha ocurrido en paralelo a otro: el incremento de los incendios forestales durante la última parte del siglo XX (Moreno et al. 1998).

Historia reciente de los incendios forestales en España

La historia reciente de los incendios forestales en España se caracteriza por una tendencia hacia el aumento en el número de los incendios que se registran durante las últimas décadas, estabilizándose recientemente. La tendencia en la superficie anual quemada es diferente. Entre los años 60 y 80 la superficie quemada se multiplicó hasta alcanzar una situación como la actual, caracterizada por su enorme variabilidad anual (Fig. 1). En promedio, durante los años 1991-2002 la superficie quemada anualmente fue un 0,55% de la superficie forestal. Esto es, si todo el territorio forestal se quemase por igual se necesitarían 180 años para que ardiese una vez. Aunque parte de este cambio es debido al hecho de que la estadística antigua de incendios se centraba en terrenos gestionados públicamente, el hecho es que, con el tiempo, los incendios se han ido extendiendo desde unos pocos puntos hasta la práctica totalidad de la geografía española (Moreno et al. 1998). No obstante, existen unas cuantas áreas, localizadas en el Noroeste, Centro, Levante y Suroeste, en las que son particularmente abundantes (Fig. 2).

El origen de los incendios es mayoritariamente humano (>95%), destacando Galicia entre las regiones con mayor número de incendios intencionados. Los incendios ocasionados por rayo son poco importantes, aunque en algunas zonas lo son (un tercio de la superficie quemada en las comunidades de Valencia, Castilla-La Mancha o Aragón entre los años 1989-1995 lo fue a causa del rayo)(Vélez 2000b). Los incendios ocurren mayoritariamente en verano, aunque existe cierta variabilidad a lo largo de nuestra geografía y en relación con la causa del incendio. Así, mientras que los incendios por rayo están claramente circunscritos a esta época, los incendios de origen humano pueden ser más variables (Fig. 2). Por otro lado, la naturaleza de lo que se quema ha ido cambiando con el tiempo: durante los últi-

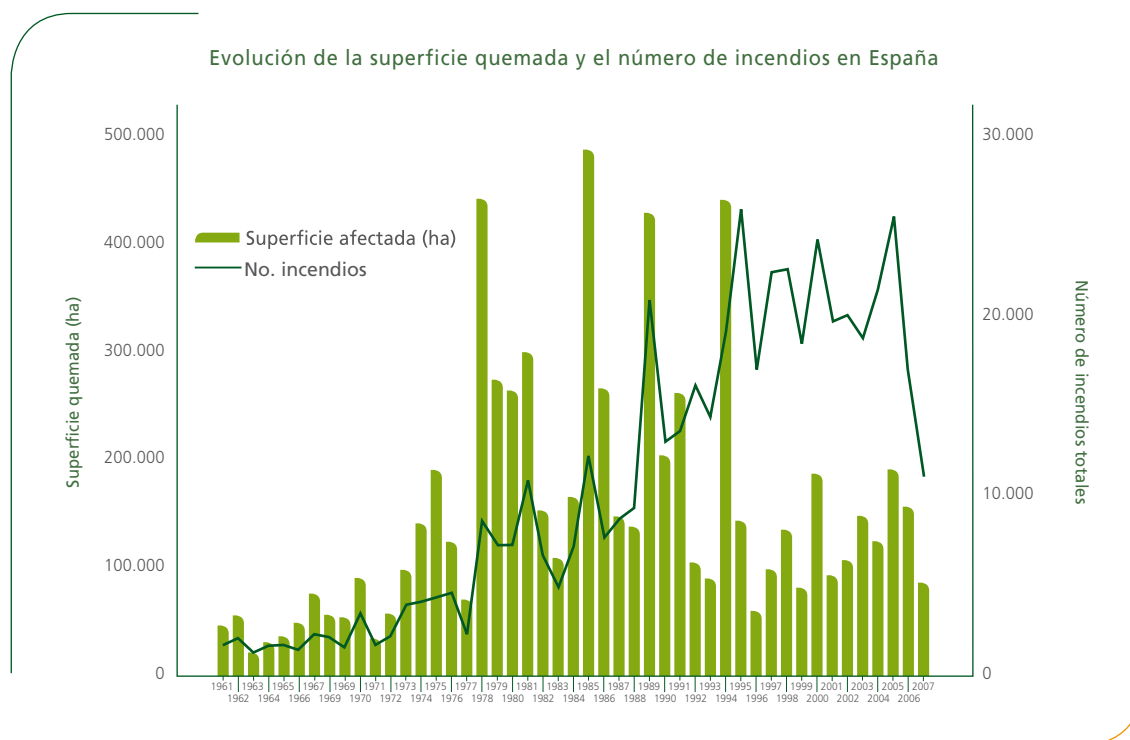


Figura 1: Variación anual de los incendios registrados y superficie afectada por los mismos durante las últimas décadas en la España peninsular. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

mos años se aprecia una tendencia hacia la dominancia de las superficies desarboladas en detrimento de las arboladas. Entre las masas quemadas dominan las coníferas, en particular *Pinus pinaster* (pino resinero) y *Pinus halepensis* (pino carrasco). La edad media de los árboles quemados apenas alcanza los 25 años (Moreno et al. 1998).

La climatología ejerce un fuerte control sobre las condiciones para la ignición y propagación de los incendios forestales (Piñol et al. 1998). Las altas temperaturas y los índices de aridez suelen ser buenos indicadores de la ocurrencia de incendios (Trigo et al. 2006). La variabilidad meteorológica de los climas de España afecta a la distribución anual del tamaño de los incendios, de manera que éstos son tanto más desiguales cuanto mayor es la variabilidad meteorológica anual. Así, en el Levante es frecuente que unos pocos incendios afecten a un elevado porcentaje de la superficie quemada durante el año, porcentaje que es menor en el Noroeste (Vázquez & Moreno 1995). Vázquez et al. (2002) mostraron que, durante los años 1974-94, la proporción de grandes incendios (>500ha) en España estuvo relacionada con las altas temperaturas y un alto número de días transcurrido desde el último incendio. Por otro lado, la superficie afectada por incendios medios o grandes, o su alta variabilidad estacional, estuvo positivamente relacionada con las altas temperaturas y el número de días transcurridos desde la última lluvia.

Bajo los escenarios de cambio climático que se anticipan, las situaciones de altas temperaturas y alto número de días sin lluvia se harán más frecuentes, particularmente en los ecosistemas de tipo mediterráneo, que sufrirán impactos muy severos (IPCC 2007). Ante estas previsiones se hace necesario valorar con tanto detalle espacial como sea posible cómo variará en el futuro el peligro de incendio utilizando diferentes modelos generales de circulación (MGC) y escenarios de emisiones.

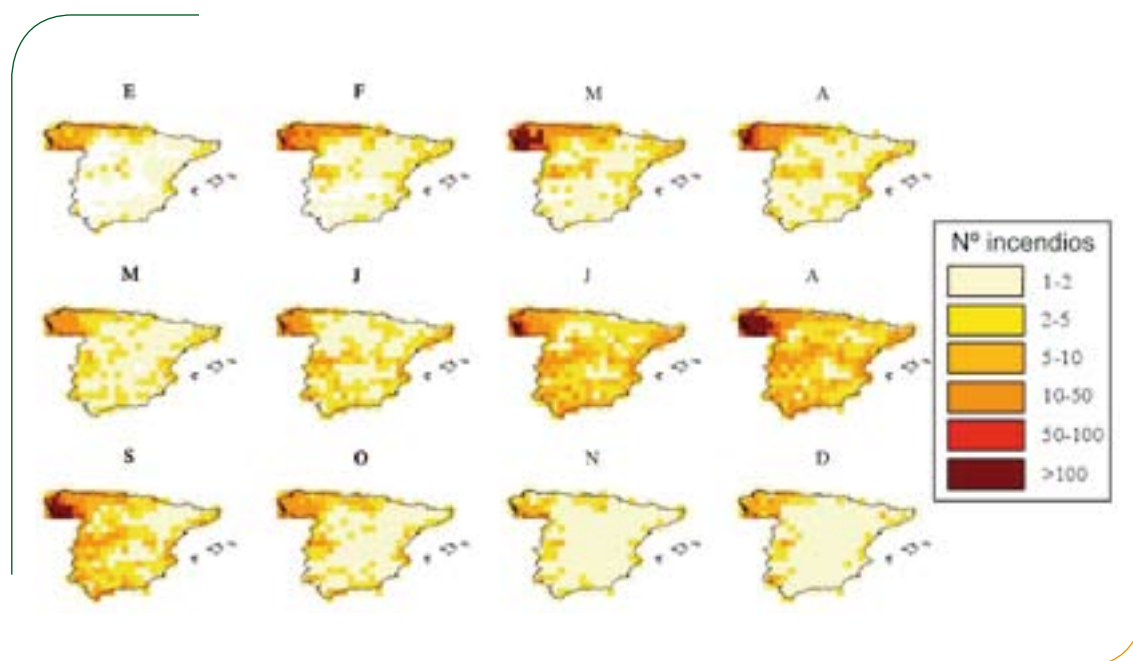


Figura 2: Ocurrenia de incendios en la España peninsular en los distintos meses del año durante la década 1990-1999. (Se muestra el número medio de incendios por mes). Datos de EGIF (DGB, MIMAM y elaboración propia).

1. Los incendios forestales en Castilla-La Mancha

Los incendios forestales juegan un papel clave en los paisajes de Castilla-La Mancha. En las últimas tres décadas se ha observado una tendencia hacia el aumento del número de incendios, con una media de 242 incendios por año, que han afectado a un promedio anual de 12.500 hectáreas del territorio (Fig. 3). La superficie quemada por año muestra un patrón más variable, si bien los máximos en los que se observa una mayor superficie quemada coinciden con aquellos años con mayor número de incendios. La ocurrencia de incendios y la superficie afectada por ellos en Castilla-La Mancha suponen entre un 2% y 6% , respectivamente, de la incidencia del fuego en el total del territorio español (Fig. 4). La superficie afectada por los incendios corresponde principalmente a zonas arboladas, sobre todo en los años con alta incidencia de fuego, aunque en años de baja actividad las superficies desarboladas tienden a cobrar protagonismo (Fig. 5).

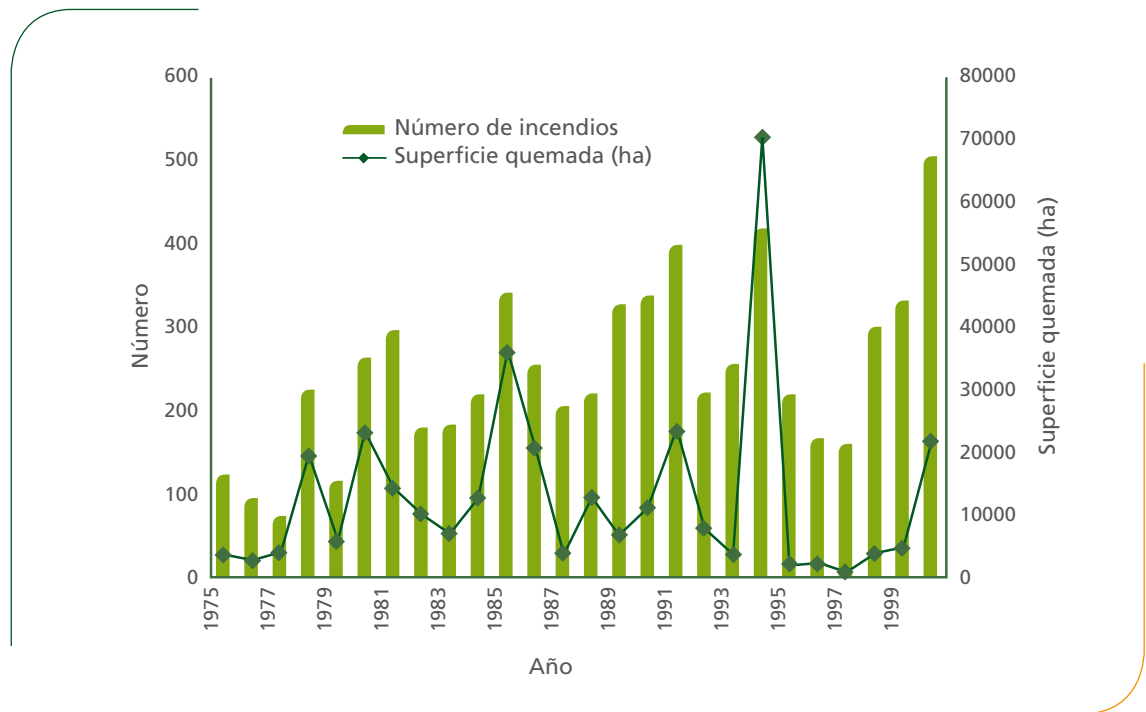


Figura 3: Evolución del número de incendios y la superficie quemada (hectáreas) en Castilla-La Mancha en el periodo 1975-2000. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

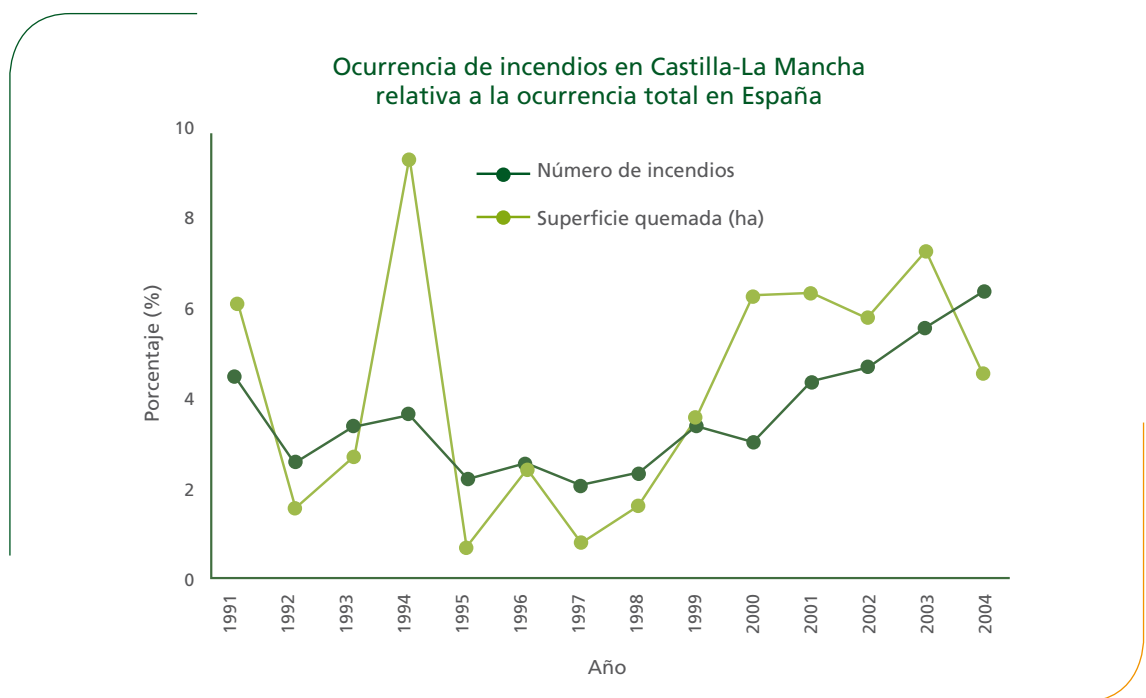


Figura 4: Número de incendios y superficie quemada en Castilla-La Mancha en el periodo 1991-2004 relativa a la ocurrencia total en España. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

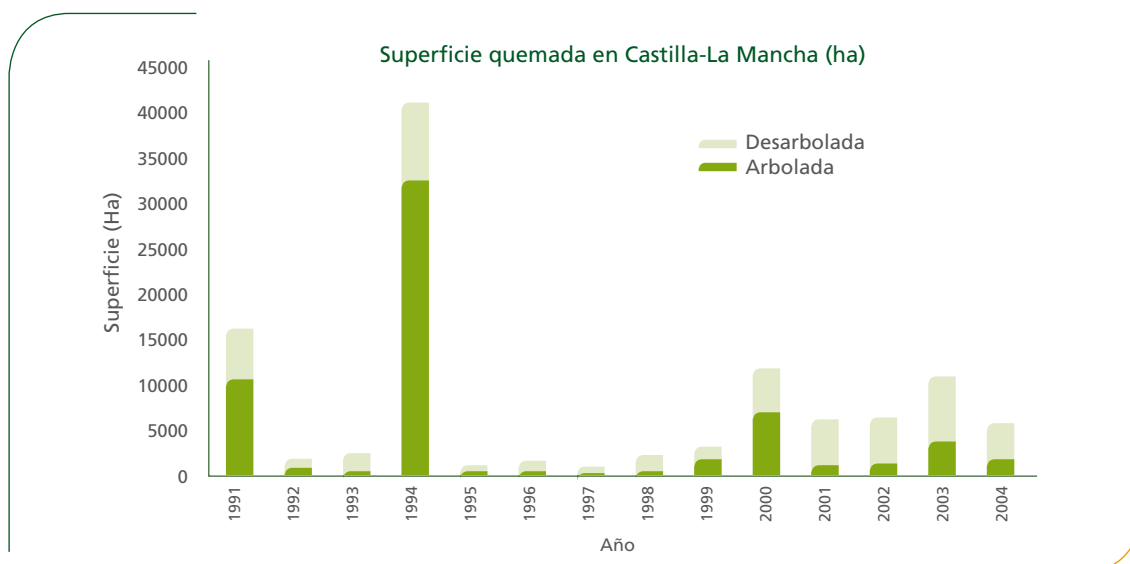


Figura 5: Superficie arbolada y desarbolada afectada por el fuego anualmente en el periodo 1991-2004 en Castilla-La Mancha. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

La ocurrencia de incendios en Castilla-La Mancha no se distribuye homogéneamente a lo largo del territorio. Se observa un menor número de incendios en las zonas centro y sureste de la región, mientras que los puntos calientes se localizan al norte, oeste y suroeste, coincidiendo con las zonas forestales (Fig. 6). Entre las zonas con mayor superficie afectada por los incendios se encuentran la Serranía de Cuenca, la Sierra de San Vicente, y las estribaciones de Sierra Morena (Fig. 6b).

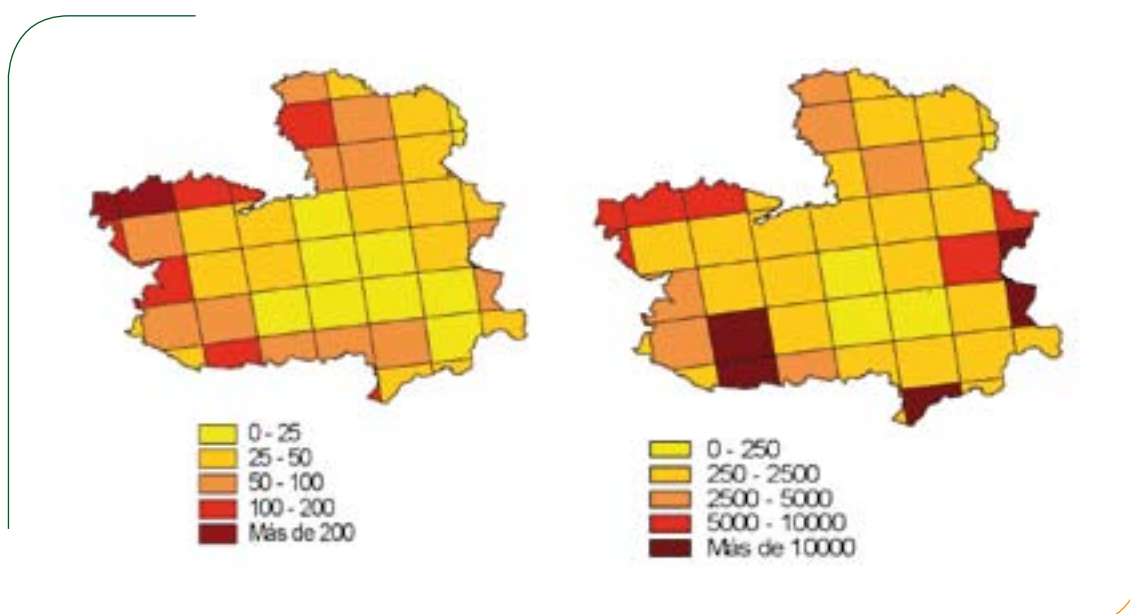


Figura 6: Distribución geográfica del número de incendios (a) y la superficie quemada (hectáreas) (b) por década en Castilla-La Mancha en el periodo 1975-2000. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

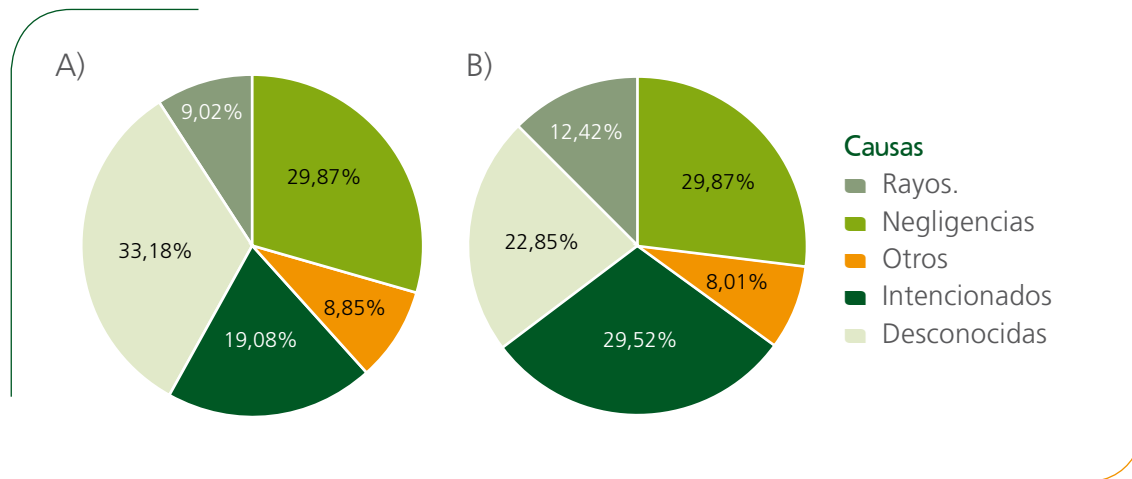


Figura 7: Porcentaje del número de incendios (a) y de la superficie quemada (b) por causas en Castilla-La Mancha. Periodo 1975-2000. Fuente: EGIF (DGB, MIMAM) y elaboración propia.

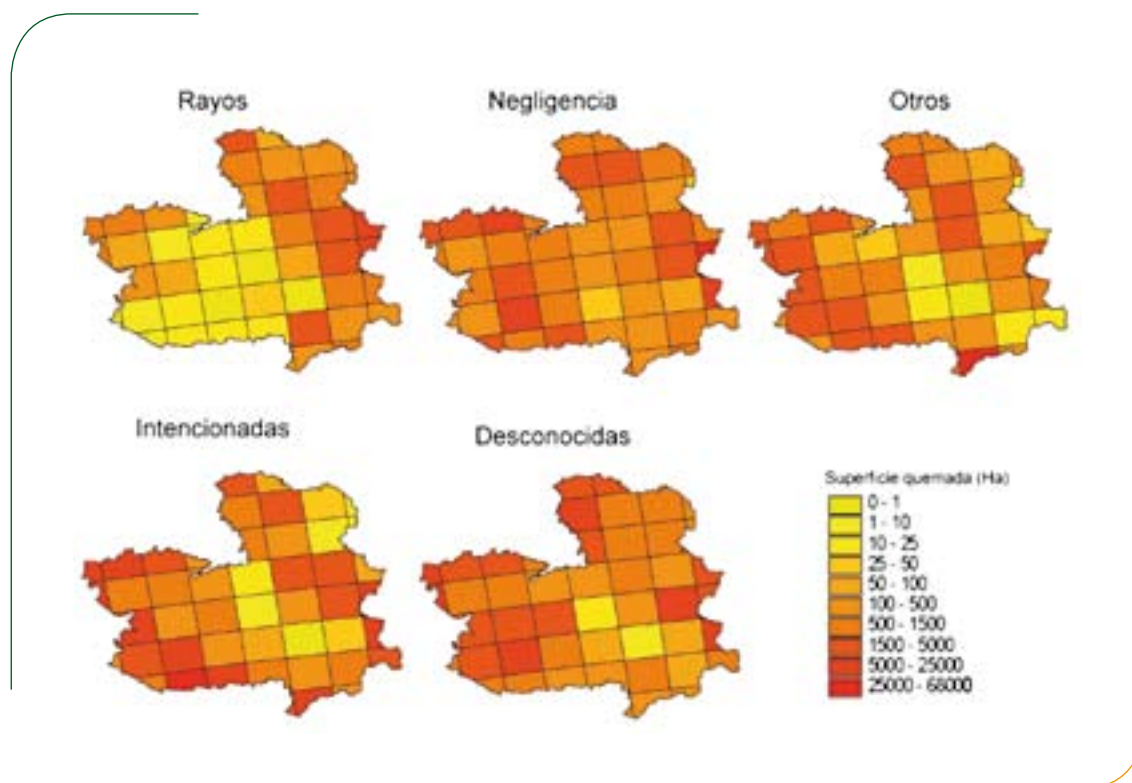


Figura 8: Superficie quemada (hectáreas) en Castilla-La Mancha en función de diferentes causas de incendio (periodo 1975-2000).

En base a los datos de los incendios mayores de 1 hectárea ocurridos durante el periodo 1975-2000, el factor humano juega un papel determinante en el origen de los incendios. Entre las causas de incendio más importantes se encontró que un 33% de los incendios ocurrieron debido

a negligencias (afectando a un 27% del área quemada total) y un 18% fueron incendios intencionados (quemando casi el 30% del área afectada) (Fig. 7). Los incendios debidos a causas naturales, principalmente rayos, suponen una proporción importante (9%) de la incidencia del fuego en la región, particularmente en las zonas montañosas localizadas al este (Fig. 8). Por último, un 6% de los incendios registrados en el periodo de estudio ocurrieron por otras causas y en un 33% de los casos no fue posible determinar la causa del fuego (Figs. 7 y 8).

2 Impactos previsibles del cambio climático sobre el peligro de incendio en Castilla-La Mancha

2.1 Impactos asociados a la climatología

El 4º Informe de Evaluación del IPCC, aprobado en la segunda mitad del año 2007, destaca que, entre los ecosistemas terrestres, *“...los ecosistemas de tipo mediterráneo se encuentran entre los más vulnerables del mundo [al cambio climático], y sufrirán impactos muy severos”* (IPCC, 2007). Las proyecciones de clima futuro que se hacen para España bajo distintos escenarios y diferentes modelos, sean estos generales o regionales, indican que la Península Ibérica sufrirá un calentamiento muy elevado, que puede alcanzar los 4°C en invierno y los 6°C en verano para finales de este siglo, según los escenarios que se utilicen. Las precipitaciones tienden también, en general, a disminuir, aunque existen más discrepancias entre los modelos, sobre todo para las primeras décadas del siglo. Finalmente, se prevé que las situaciones de sequía aumenten en frecuencia, de manera que eventos de sequía extrema que ocurrían una vez cada 100 años terminen ocurriendo cada 50 a 10 años (Lehner et al. 2006).

La propagación del fuego se ve favorecida durante el día por el incremento térmico y la disminución de la humedad relativa del aire, lo que puede reducir el contenido en humedad de los combustibles muertos, favoreciendo su inflamación ante una fuente de calor. Por otro lado, se prevé que el aumento de las temperaturas de la noche sea proporcionalmente mayor que en las del día (Easterling et al. 1997). En otras palabras, las temperaturas durante la noche tenderán a hacerse comparativamente más altas, con el consiguiente efecto negativo sobre la humectación de los combustibles. Por tanto, suponiendo que el número de fuentes de ignición y la vegetación no varíen, cabe esperar que los incendios sean más frecuentes y, una vez que se originen, se propaguen mejor y alcancen mayor tamaño.

Por otro lado, las lluvias durante la estación de crecimiento determinan ampliamente la abundancia y diversidad de las especies herbáceas (Figuroa & Davy 1991). Las primaveras lluviosas mantienen más humedad superficial en el suelo, y producen un mayor desarrollo de combustibles finos herbáceos que más tarde se secarán. El aumento de las temperaturas puede hacer que las épocas

de desarrollo herbáceo se anticipen a la primavera temprana o al invierno, de ahí que, incluso ante un escenario de disminución de precipitaciones primaverales, el desarrollo de esta vegetación pueda ser importante y aportar un elemento de peligrosidad en épocas relativamente tempranas. Por otro lado, una menor disponibilidad hídrica en las capas superficiales del suelo hará que los combustibles muertos en el suelo se desequen más tempranamente. La disminución de días de lluvia hará que se mantengan secos durante más tiempo. En pinares y ecosistemas con hojarasca bien desarrollada la inflamabilidad y el periodo de susceptibilidad al fuego aumentarán.

La vegetación en pie sufrirá variaciones fisiológicas y fenológicas en respuesta a los cambios en los patrones de precipitación. En primer lugar, la concentración de precipitaciones en invierno, así como la disminución del número de días de lluvia a lo largo del año conllevarán un aumento del número de días en los que las plantas se vean sometidas a estrés hídrico (Martínez-Fernández & Ceballos 2003), con el consiguiente aumento de la duración de la temporada de incendios (Rambal & Hoff 1998). Un menor contenido en humedad en el material fino, unido a la capacidad de algunas especies de producir sustancias altamente inflamables hará que su potencial inflamable aumente con el tiempo, tanto más cuanto menores sean las precipitaciones y más se concentren en épocas tempranas del año. Por el contrario, las especies con enraizamiento profundo pueden verse afectadas más por disminuciones en el total de precipitaciones que por los cambios en la época de lluvias. Sequías prolongadas pueden producir la muerte total o parcial de los individuos, con el consiguiente aporte de materia muerta, lo que incrementaría la peligrosidad de la vegetación afectada.

La velocidad media del viento tenderá a sufrir cambios poco importantes. Dada las importantes interacciones locales de este meteoro, no es fácil predecir el impacto de esta variable. Las predicciones basadas en los modelos generales de circulación (MGC) indican que la fracción de lluvia convectiva tenderá a aumentar, así como el número de descargas de rayos (Price & Rind 1994). Los rayos no sólo serán más abundantes sino que se extenderán más a lo largo del año, ampliando la estación de incendios (Price & Rind 1994). Consecuentemente, cabe esperar que el número de incendios producido por rayos aumente con el tiempo. La mayor frecuencia de situaciones con déficit hídrico en el suelo hace suponer que la eficiencia de las descargas en producir un incendio sea mayor (Nash & Johnson 1996). El mayor grado de abandono del territorio de las zonas altas, donde son más frecuentes los rayos, permite suponer que la acumulación de combustible aumente, y con ello los incendios por rayo.

2.2 Impactos sobre los índices de peligro de incendio

La estrecha relación entre la climatología y el estado de los combustibles hace que los índices de peligro de incendio al uso, como el índice de peligro meteorológico FWI (Fire Weather Index) canadiense (van Wagner 1987), estén basados en unas pocas variables meteorológicas: humedad relativa del aire, velocidad del viento, temperatura y precipitación (Vélez 2000c; Viegas et al. 2000).

En general, las zonas con mayores índices de peligro en España se dan en el Sur, Suroeste y Levante (Moreno et al. 2009). Comúnmente, los días con incendio, o con incendios múltiples o de gran tamaño suelen ser más frecuentes cuanto mayores son los índices de peligro (Andrews et al. 2003). Consecuentemente, una mayor frecuencia de índices altos implica una mayor probabilidad de que se den ese tipo de incendios. Las posibilidades de que ocurra un gran incendio forestal se relacionan con la presencia de masas de aire inestable y con bajo contenido de humedad (Haines 1988). Acordes con lo anterior, la ocurrencia de incendios en España ha estado relacionada con la climatología, variando según zonas y fuente de ignición (Vázquez & Moreno 1993). No obstante, antes que los valores medios de una determinada variable o índice, las situaciones extremas, esto es, el número de días particularmente cálidos o el transcurrido desde la última lluvia parece ser críticos (Vázquez & Moreno 1993; Pausas 2004).

Durante el siglo XX, el índice de peligro de incendio ha aumentado en las regiones situadas en el centro y suroeste de España (Fig. 9), concordante con el aumento de temperaturas experimentado (Brunet et al. 2006). Conforme nos adentremos en el siglo XXI, y los cambios climáticos previstos se vayan materializando, las proyecciones basadas en los MCG apuntan a un aumento considerable en el índice mensual medio de peligro, lo que provocará importantes cambios en el régimen de incendios. Estos cambios son generalizados en todos los meses del año y harán que la temporada de incendios se anticipe en el tiempo, tanto más cuanto más entrado el siglo y mayor sea el cambio que se materialice.

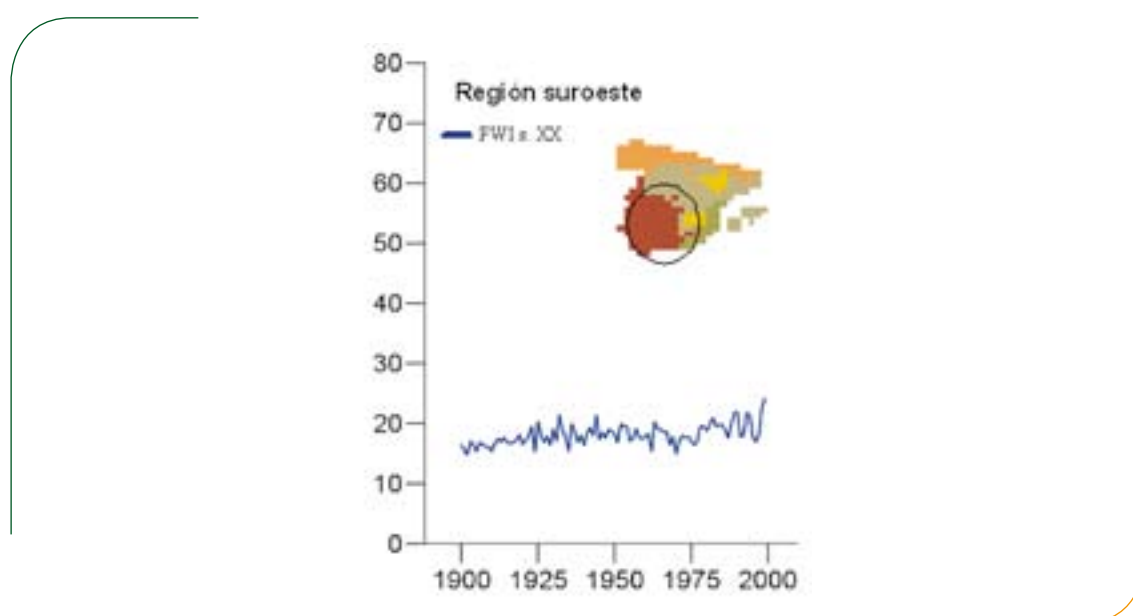


Figura 9: FWI durante el siglo XX para la región suroeste de España, calculado a partir de la base ERA y de los datos climáticos de New et al. (2002) ajustados con datos de estaciones reales (De Moreno 2005).

La proyección de estas situaciones de cambio climático sobre los índices de peligro utilizando distintos escenarios y modelos de circulación general para Castilla-La Mancha indican que el índice medio de sequía (DC, que es una medida del efecto de la sequía estacional sobre los combustibles) aumentará en toda la región para finales de este siglo, particularmente en el sur (Fig. 10). Asimismo, el índice de peligro de incendio (FWI) aumentará en todo el territorio, especialmente en la mitad occidental de la región, por lo que cabe esperar aumentos en la intensidad del fuego conforme nos adentremos en este siglo (Fig. 11). El efecto de la sequía y la intensidad del fuego incrementarán tanto para escenarios de emisiones altos (escenario A2) como bajos (escenario B2), no observándose grandes diferencias entre ambas proyecciones (Figs. 10, 11).

Un aumento en los índices medios de peligro implica que la frecuencia de situaciones extremas aumentará de forma no proporcional al aumento medio de las temperaturas (Schär et al. 2004). Del mismo modo, también podría aumentar la duración de estas situaciones extremas debido a un posible aumento de la estabilidad atmosférica (Hulme & Carter 2000). Esto hace pensar que puedan darse con mayor frecuencia situaciones en las que sea más difícil hacer frente a los incendios. El periodo de alerta de incendios (es decir, el número de días comprendido entre el primer y último momento del año en que el FWI es mayor o igual a 15 continuamente a lo largo de una semana) así como del periodo de riesgo de incendio (número de días efectivos en los que el FWI es mayor o igual a 15 durante el periodo de alerta) (Fig. 12). Esto supondrá que los servicios de extinción de incendios tendrán que adelantar las campañas de lucha contra incendios y tendrán que permanecer más tiempo alerta, ya que el número de días con alto índice de riesgo se incrementará durante una estación de incendios que tenderá a ser más larga.

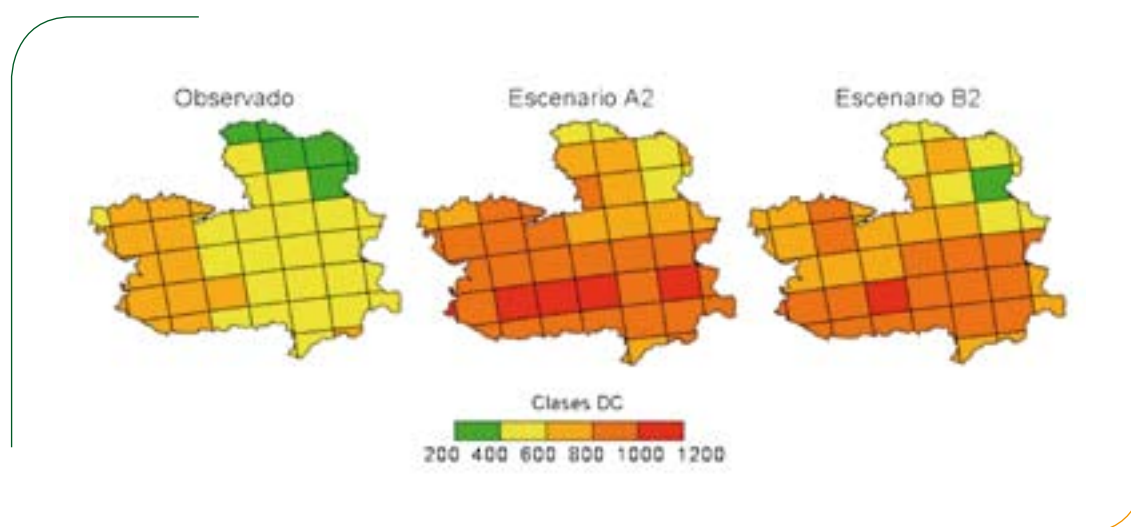


Figura 10: Índice de sequía (DC, Drought Code) observado en Castilla la Mancha para el periodo 1975-2004 y proyecciones para finales de este siglo (2071-2100) bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 (se representa la mediana de las predicciones en base a 5 modelos climáticos: HIRHAM-HadCM3, HIRHAM-ECHAM4, PROMES-HadCM3, RCAO-HadCM3, y Arpège-HadCM3).

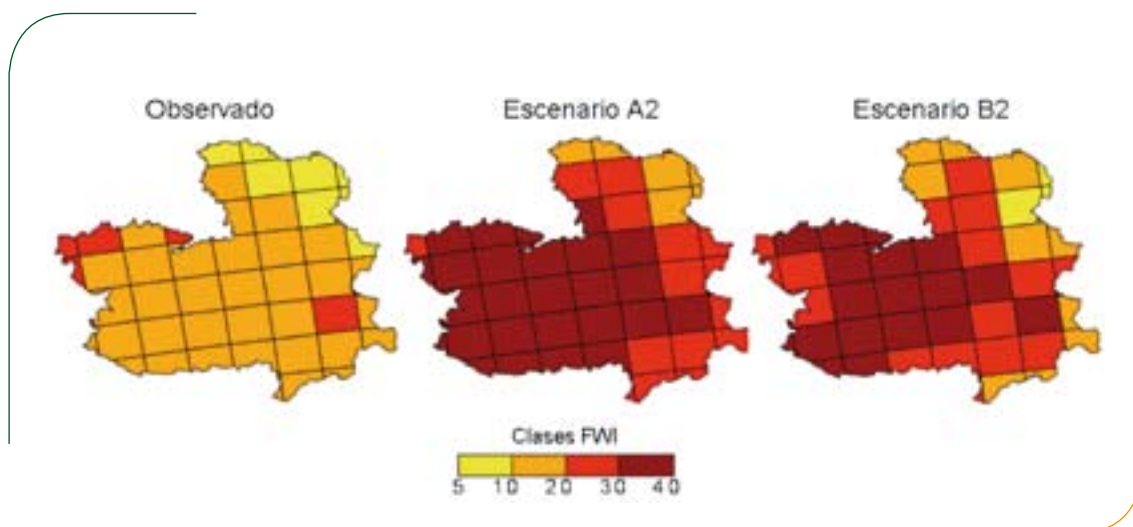


Figura 11: Índice de peligro meteorológico de incendio (FWI, Fire Weather Index) observado en Castilla-La Mancha para el periodo 1975-2004 y proyecciones para finales de este siglo (2071-2100) bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 (se representa la mediana de 5 modelos climáticos). Las clases de FWI reflejan una medida de la intensidad que tendría el fuego, siendo el peligro bajo (entre 5 y 10), moderado (entre 10 y 20), alto (entre 20-30) y muy alto (mayor de 30).

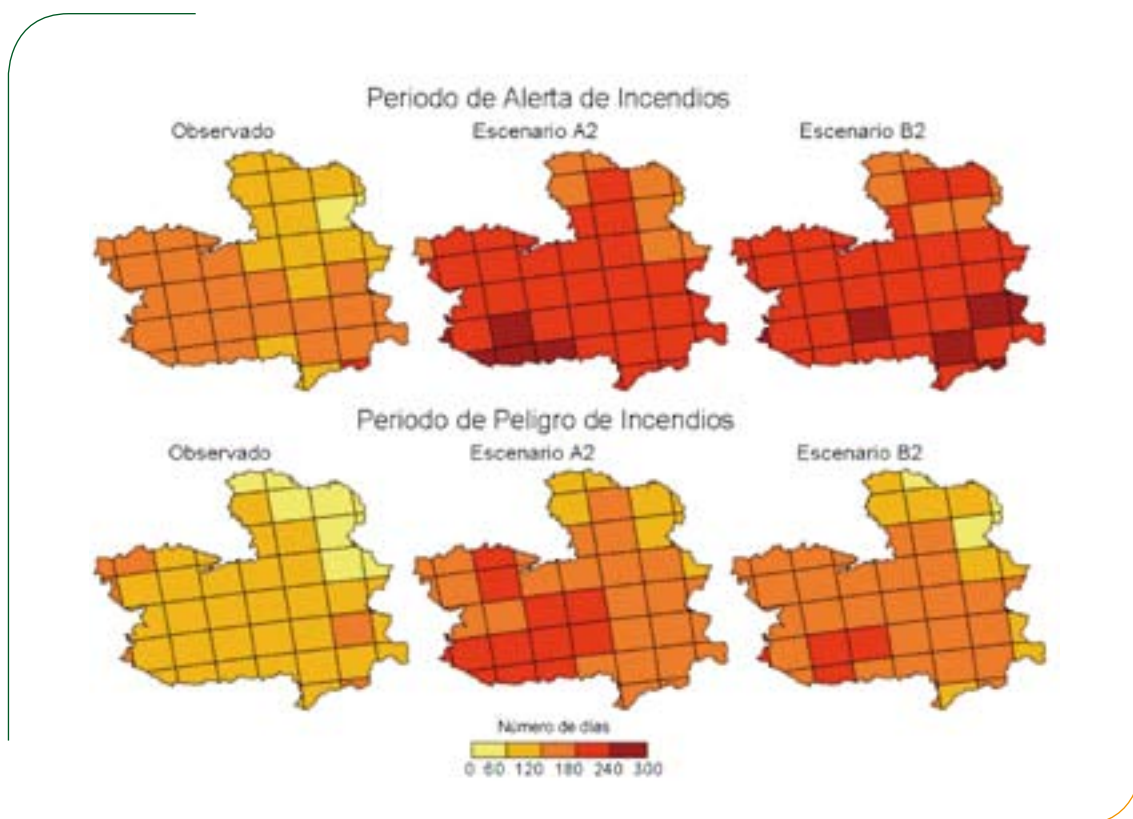


Figura 12: Periodo de alerta de incendios y periodo de peligro de incendios observados en Castilla-La Mancha en el periodo 1975-2004 y proyecciones de cambio para finales de este siglo (2071-2100) bajo los escenarios de emisiones A2 y B2.

El ejemplo del gran incendio de Guadalajara en 2005 es ilustrativo acerca de lo que puede ocurrir bajo condiciones extremas. Moreno & Zavala (2005) calcularon en base a datos de una serie de 25 años de la estación meteorológica de Molina de Aragón, próxima a la zona afectada por el incendio, que el día que comenzó el incendio algunos de los códigos e índices del FWI fueron extremos, estando en algunos casos entre los percentiles 90-95 de los observados en la serie estudiada (Fig. 13). El alto peligro y las condiciones de la vegetación, topografía y viento convirtieron al incendio en extremo en el momento de iniciarse y durante los días primeros en que continuó activo. Escenarios con mayor número de situaciones de meteorología adversa hacen pensar en una mayor frecuencia de ocasiones en las que la lucha contra incendios sea de una dificultad máxima.

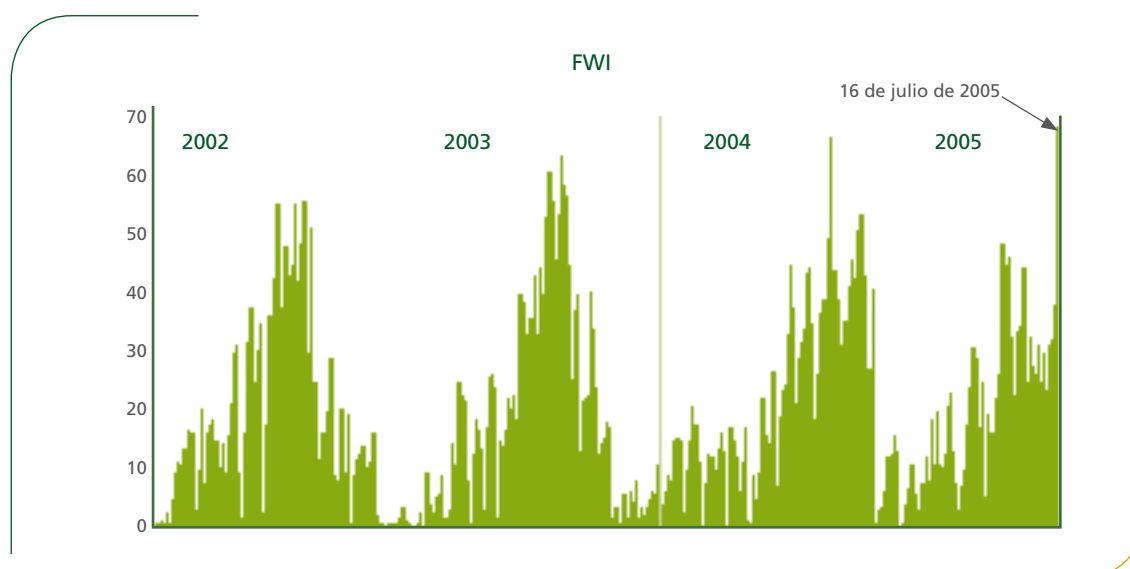


Figura 13: Variación desde Enero de 2002 hasta el 20 de Julio de 2005 del índice de peligro meteorológico de incendio (FWI) según datos de la estación meteorológica de Molina de Aragón, próxima a Riba de Saelices (Guadalajara), donde comenzó el incendio el día 16 de Julio de 2005 que terminaría afectando a 12.000 has. FWI refleja la intensidad del frente de llamas y da idea de la dificultad de extinción. La flecha indica el día en que comenzó el incendio; ese día las condiciones de peligro se situaban en el percentil 95 de la estación para los años 1974 a 2001 (Moreno & Zavala, 2005).

Aunque no es fácil predecir si habrá más o menos incendios, sí es previsible que aumenten los incendios de mayor tamaño. Además, es probable que esto sea así porque las situaciones de peligro extremo aumentarán con el tiempo, en intensidad y distribución geográfica. La combinación de peligro extremo sobre amplias áreas de nuestra geografía supondrá un reto al que será difícil de hacer frente. Los escenarios que se dibujan cara a la ocurrencia de incendios forestales están caracterizados por un incremento generalizado de los índices de peligro, una mayor duración de la temporada de incendios y una mayor frecuencia de situaciones extremas y de más larga duración. A esto se une la tendencia hacia un cambio en la vegetación, con

mayor abundancia de especies arbustivas, más sensibles al estrés hídrico. Consecuentemente, cabe esperar que los incendios sean más frecuentes, extensos e intensos.

3. Principales opciones adaptativas

3.1 Estrategias de prevención y lucha contra incendios

Las previsiones negativas cara a la ocurrencia de incendios conforme discurre el cambio climático pueden verse contrarrestadas por mejoras en la predicción meteorológica, en el conocimiento del estado de los combustibles y en las estrategias de prevención y vigilancia. La predicción meteorológica actual permite conocer con anticipación de pocos días la posible existencia de situaciones de peligro. Es probable que con el paso del tiempo la mejora en la capacidad predictiva meteorológica pueda alcanzar plazos más largos. Una mejora en la capacidad de predicción del peligro puede permitir planificar mejor los recursos y, particularmente, la puesta en marcha de acciones preventivas en aquellos sitios de mayor peligrosidad. En este sentido, la elaboración de planes de prevención de fincas y la obligación de realizar inscripciones registrales de las zonas quemadas y los planes para su restauración, pueden contribuir a sensibilizar a todos los implicados. A ello puede ayudar un mejor conocimiento de los combustibles, bien de su cantidad y distribución espacial, bien de su estado de hidratación y fenología (González-Alonso et al. 1997; Chuvieco et al. 2003; Riaño et al. 2003). Igualmente, son importantes las mejoras que cabe esperar como consecuencia de la implantación de sistemas de riesgo basado en las condiciones reales de cada sitio, con resoluciones cada vez más pequeñas (Carlson et al. 2002). Esto, unido a mejoras en los sistemas de vigilancia, permitirá no sólo disminuir los tiempos de respuesta sino ajustar éstas al grado real de riesgo que conlleve la eclosión de un incendio.

Para que el sistema sea más efectivo será necesario un cambio en las políticas de lucha contra incendio. Una política basada estrictamente en la exclusión del fuego puede ser contraproducente, sobre todo cuando es presumible que se produzcan cambios en el potencial forestal de muchas zonas, y la tendencia hacia un dominio de sistemas de matorral se haga más extensiva. Ello hará que la presión sobre las zonas arboladas sea mayor, por lo que se precisará articular estrategias defensivas centradas en ellas. En este sentido, esquemas de gestión que disminuyan la cantidad de combustible en aquellas zonas con mayor potencial para desencadenar un incendio de grandes dimensiones son críticos. Estos esquemas de gestión deben considerar el potencial de la biomasa para usos energéticos o, en su caso, el uso del fuego como una herramienta para disminuir el futuro riesgo de incendio. Una estrategia de este tipo puede que no evite la ocurrencia de ciertos incendios, pero sí que sólo los

posibilite en condiciones extremas. En este sentido, parece necesario determinar dónde y cuándo el incendio no es deseable a ningún coste y dónde y cuándo puede ser tolerable bajo control aunque sólo sea para minimizar el riesgo de un incendio incontrolado o porque lo requieran los objetivos de conservación. Esto se puede conseguir mediante la implantación de sistemas de gestión forestal que, entre otros, contemplen el uso de quemas prescritas, esto es, controladas (Rodríguez y Silva 1998, 2004).

Dados los importantes recursos que se dedican a la prevención y lucha contra incendios, y el límite en la eficiencia que es esperable siguiendo análisis de coste/beneficio (esto es, más recursos no necesariamente implican mayor eficacia)(Martell 2001), parece obligado revisar las políticas de lucha contra incendios, fundamentalmente a través de cambios en las estrategias preventivas, ya que los avances técnicos en la capacidad de luchar contra el fuego una vez que éste se ha producido y detectado parecen más limitados. En este sentido, las técnicas de gestión del combustible (tanto sean desbroces, quemas prescritas, postoreo u otras, como el uso de la biomasa) deberían progresar a partir del conocimiento de las características de las especies vegetales y de los ecosistemas, de manera que permitan una gestión integrada de los mismos, tomando en cuenta, además de la prevención de incendios, la conservación de la biodiversidad, la fijación del carbono y la lucha contra la desertificación.

El resultado esperable es que mejoras en la prevención, valoración del riesgo y vigilancia permitan controlar buena parte de los incendios forestales antes que adquieran cierta dimensión. Eventualmente, sólo aquellos que se den en circunstancias de gran peligrosidad serán los que terminen prosperando. La recurrencia de situaciones extremas es una posibilidad cierta, circunstancias bajo las cuales la eficiencia de los sistemas de lucha es necesariamente menor.

3.2 Selvicultura y usos del suelo

Los estudios llevados a cabo en el pasado muestran que, si bien en el conjunto del país no parece que el tipo de cubierta vegetal haya sido determinante de la ocurrencia de incendios (Vázquez et al. 2002), en determinadas zonas, los incendios han sido selectivos, esto es, no han afectado por igual a toda la vegetación. Por otro lado, no es fácil hacer predicciones acerca del valor comercial o de otro tipo de las plantaciones arbóreas en el futuro lejano. No obstante, teniendo en cuenta que en el pasado un número considerable de plantaciones arbóreas ardió a edades tempranas (Moreno et al. 1998), hay que suponer que en el futuro puede ocurrir lo mismo. La ocurrencia de incendios en zonas forestadas, con suelos poco desarrollados, que son los que predominan en los montes mediterráneos, puede suponer un impacto altamente negativo sobre los recursos edáficos, debido a las pérdidas de nutrientes y suelo que ello conlleva (Andreu et al. 1996 ; Bautista et al. 1996; Soto & Díaz-Fierros 1998). El escenario de lluvias concentradas en el tiempo hace prever que los efectos

negativos tiendan a ser mayores (de Luis et al. 2003). La mayor frecuencia de sequías puede ser doblemente negativa al limitar el desarrollo de la vegetación en los estadios tempranos. Consecuentemente, las estrategias de uso forestal, incluyendo las especies que se usen en la reforestación, sobre todo de aquellos suelos con un alto potencial forestal, deben tener en cuenta la eventualidad de incendios frecuentes. El riesgo asociado a las pérdidas del suelo debe calcularse a fin de verificar la idoneidad de los diferentes usos del suelo.

3.3 Usos recreativos del monte

La tendencia al incremento poblacional, las mejoras socioeconómicas, y la presumible propensión hacia un interés cada vez mayor por mantener una vida en contacto con la naturaleza, permite presumir que la demanda de uso de los montes aumentará. No es posible establecer cómo las situaciones originadas por el cambio climático pueden incidir sobre quienes incendian el monte. La persistencia de situaciones de alto peligro hará que las oportunidades para ejecutar una acción dolosa aumente. La posibilidad de que durante estas situaciones se produzca algún incendio que estimule a dichos agentes no puede ser excluida. En lo que concierne a los incendios accidentales, esto es, a aquellos en los que la fuente de ignición se origina como consecuencia fortuita de la actividad humana, la mayor peligrosidad del clima puede conllevar una mayor probabilidad de que las situaciones que aportan fuentes de ignición terminen originando un incendio. Contrarrestando esta posibilidad está la mejora paulatina en información y formación de la población y su sensibilización hacia el problema de los incendios, de manera que las fuentes de ignición puedan reducirse.

La mejora en la educación probablemente conllevará una mayor sensibilidad al riesgo así como prácticas menos peligrosas. No obstante, un uso recreativo del monte más intenso, junto a una mayor duración de los periodos de actividad debido a las temperaturas más benignas, pueden añadir factores de riesgo importantes, si bien, la cuantificación del mismo no es posible. Por otro lado, habría que considerar el riesgo de incendio en los planes urbanísticos, de manera que cualquier recalificación de los terrenos para hacerlos urbanizables tomara en cuenta el riesgo de incendios. De otra parte, se debería reforzar la legislación sobre protección contra incendios en la interfase urbano-forestal y las medidas encaminadas a aplicarla.

3.4 Sistemas de predicción y vigilancia

Las mejoras en los sistemas de vigilancia, favorecidos por el desarrollo tecnológico, facilitarán su extensión a amplias zonas, acortando los tiempos de avistamiento y respuesta, lo que supondrá una ayuda importante en la lucha contra incendios. Por otro lado, la posibilidad de disponer de mapas de combustible con resoluciones espaciales altas, y de sus condiciones (contenido en humedad) ajustadas a la meteorología, unido a la integración en SIG (Sistemas

de Información Geográfica) de toda la información existente y a la aplicación de modelos de propagación en el supuesto de un fuego incipiente, facilitará una rápida y oportuna respuesta. Igualmente, la capacidad de disponer de información *in situ* gracias a las comunicaciones remotas y a la informática puede poner en manos del gestor unas herramientas potentes para mejor calibrar el riesgo inminente y mejor planificar la lucha contra el fuego. El poder anticiparse a medio plazo, con simulaciones aproximadas a las peores condiciones posibles puede permitir una mejor planificación de las campañas. Todo ello hace pensar que la capacidad de lucha aumente sensiblemente, sobre todo en las fases tempranas de un incendio.

4. Implicaciones para las políticas regionales

4.1 Lucha contra incendios

El cambio climático y su posible efecto sobre el peligro de incendio inevitablemente afectarán a las políticas de prevención y lucha contra incendios. Estas políticas deben centrarse en gestionar sistemas complejos, como los forestales, esto es, ecosistemas, en los que el fuego, a la postre, puede ser inevitable. Por tanto, hay que decidir cómo se manejan estos ecosistemas y qué papel damos al fuego, si es que alguno. Por ello, cabe plantearse que en algunos casos se intente excluir el fuego a todo coste o, por el contrario, que se admita bajo ciertas condiciones. Y, de ser así, dónde y cuando debe aceptarse un incendio debe ser el resultado de objetivos de gestión claramente establecidos. En algunos casos la decisión será la de parar el incendio, en otros, cuando los valores en juego no sean importantes, o menos importantes que los recursos necesarios para detener el fuego, o faciliten minimizar un riesgo mayor, la decisión puede que sea la de tolerar el fuego, siempre bajo control. Puede, incluso, que haya que considerar introducirlo bajo condiciones controladas y en relación a objetivos de conservación. No existe receta única para todos los ecosistemas forestales ni para todas las situaciones que se producirán. Por ello, debe implantarse un sistema de gestión flexible, con objetivos bien marcados que salvaguarde todos los valores en juego, en primer lugar la vida y los bienes de las personas, y tienda a asegurar la sostenibilidad ecológica del sistema. Ante escenarios de mayor peligro la política de exclusión total de fuego puede simplemente no ser posible, ni deseable por la cantidad de recursos que ésta demandará para conseguir unas eficiencias que, en última instancia, nunca llegarán a cumplir los objetivos deseados. Por tanto, el cambio climático debe abrir una reflexión acerca de las políticas de prevención y lucha contra incendios.

4.2 Conservación de la biodiversidad

Actualmente, las políticas de conservación raramente incluyen al fuego como elemento de gestión de los áreas protegidas. Además, no existen modelos aplicados a los ecosistemas que se

protegen que permitan anticiparse al impacto de un incendio. Tampoco existen predicciones acerca de los impactos que puede ocasionar la propia gestión para la conservación, y menos de cómo el cambio climático interaccionará con el fuego. Consecuentemente, es necesario elaborar modelos ajustados a los ecosistemas que se protegen, que tengan en cuenta la eventualidad, no ya de un incendio, sino de situaciones de peligro que incrementen la frecuencia, intensidad o magnitud de los mismos. La valoración de la vulnerabilidad de los ecosistemas y especies protegidas frente al fuego es imperiosa.

4.3 Lucha contra la desertificación

Los incendios forestales son una causa reconocida de la desertificación. La lucha contra la desertificación, sobre todo en las zonas con menor cubierta vegetal, se encuentra con una encrucijada de difícil solución. Por una parte, la falta de cubierta vegetal causa pérdida de suelo. Por otra, una cubierta vegetal abundante aumenta el riesgo de incendio. En este dilema el peor escenario posible es uno de incendios frecuentes, dado que la eliminación transitoria de la cubierta vegetal puede acarrear pérdidas crecientes de suelo y nutrientes. Por ello, ante escenarios de un incremento del peligro es necesario disponer de modelos que simulen los procesos implicados y sirvan de guía para la gestión de estos territorios.

4.4 Ordenación del territorio en zonas sometidas a riesgo de incendio

El aumento del bienestar en las últimas décadas, y las nuevas tendencias de conquistar parte del monte como zona residencial, suponen una situación nueva en nuestro entorno. Esta tendencia es previsible que siga en aumento, sobre todo en aquellas zonas donde la falta de suelo urbanizable es más acuciante, como las zonas residenciales de montaña. De nuevo, un futuro de peligro de incendio creciente puede poner en grave riesgo zonas residenciales que antaño eran menos peligrosas. Por tanto, la planificación de estas zonas ha de hacerse teniendo en cuenta los posibles escenarios de cambio climático.

5. Principales necesidades de investigación

Conocer qué situaciones sinópticas propician incendios en distintas partes del territorio, así como los factores que las controlan.

Estimar la peligrosidad del territorio, con datos de los combustibles ajustados a su cambio estacional. Cuantificar los riesgos ante situaciones del tipo “peor escenario posible” con objeto de tener una mejor medida del riesgo en ciernes. Evaluar qué se quema, dónde y con

qué recurrencia, con el fin de valorar el impacto de incendios recurrentes sobre la integridad del ecosistema.

Las proyecciones de los MCG no permiten descender al detalle espacial que requiere el estudio de los incendios forestales. Por ello, es preciso progresar en la proyección de los MCG al detalle espacial y temporal requerido. Igualmente, se necesita disponer de escenarios socioeconómicos adaptados a la realidad de Castilla-La Mancha.

Avanzar en el conocimiento sobre la interacción entre incendios y paisaje, pues es la base de la ordenación forestal. Deben abordarse estudios que permitan verificar en qué medida las condiciones de peligro hacen al paisaje más o menos determinante frente al fuego. La investigación y desarrollo de técnicas de gestión de los ecosistemas amenazados por los incendios debe progresar bajo la perspectiva de un manejo multifuncional de nuestros montes que debe dar respuesta a múltiples amenazas y objetivos.

El impacto de los incendios forestales sobre la capacidad de los ecosistemas para fijar o liberar carbono es aún una asignatura pendiente. Se precisan medidas directas de los flujos de carbono en diferentes ecosistemas así como de los factores que los controlan y su interacción con el fuego.

La climatología adversa, en concreto las sequías extremas, no sólo induce un mayor peligro, sino que afecta a las plantas en varias maneras. Precisamos conocer con más detalle cómo varía la respuesta de las plantas a situaciones extremas, particularmente de sequía. Dado que la ventana temporal para el establecimiento tras el fuego de algunas especies es limitada, cuándo no llueve puede ser más relevante que cuánto llueve, si no lo hace en el tiempo oportuno. Simulaciones experimentales en varios ecosistemas pueden darnos la pauta de lo que cabe esperar ante la eventualidad de sequías extremas.

La valoración del estado de los combustibles, de su biomasa y humedad, en relación con el clima, y a escalas de detalle temporal y espacial es elemental para poder anticipar situaciones de máxima peligrosidad en el tiempo y en el espacio.

Poco sabemos sobre los aspectos sociológicos que condicionan la ocurrencia de incendios. Su relación con la meteorología puede darnos una idea de lo que cabe esperar en el futuro.

Finalmente, es necesario aplicar escenarios de cambio climático, peligro e impacto de los incendios en las áreas protegidas con objeto de valorar su vulnerabilidad ante el peligro creciente de incendios forestales.

Bibliografía

- ANDREU V, RUBIO JL, FORTEZA J, & CERNI R. 1996. Postfire effects on soil properties and nutrient losses. *International Journal of Wildland Fire* 6 (2): 53-58.
- 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.
- BAUTISTA S, BELLOT J, & VALLEJO VR. 1996. Mulching treatment for postfire soil conservation in a semiarid ecosystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10 (3): 235-242.
- BRUNET, M, SALADIÉ O, JONES PD, SIGRÓ J, MOBERG A, AGUILAR E, WALTHER A, LISTER D, & LÓPEZ D. 2006. The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003). *International Journal of Climatology* 26: 1777-1802.
- CARCAILLET C, ALMQUIST H, ASNONG H, BRADSHAW RHW, CARRION JS, GAILLARD MJ, GAJEWSKI K, HAAS JN, HABERLE SG, HADORN P, MULLER SD, RICHARD PJH, RICHOSZ I, ROSCH M, GOÑI MFS, VON STEDINGK H, STEVENSON AC, TALON B, TARDY C, TINNER W, TRYTERUD E, WICK L, & WILLIS KJ. 2002. Holocene biomass burning and global dynamics of the carbon cycle. *Chemosphere* 49 (8): 845-863.
- CARLSON JD, BURGAN RE, ENGLE DM, & GREENFIELD JR. 2002. The Oklahoma Fire Danger Model: An operational tool for mesoscale fire danger rating in Oklahoma. *International Journal of Wildland Fire* 11 (3-4): 183-191.
- CARRIÓN JS, & VAN GEEL B. 1999. Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession. *Review of Palaeobotany & Palynology* 106 (3-4): 209-236.
- CARRIÓN JS, SANCHEZ-GÓMEZ P, MOTA JF, ILL R, & CHAIN C. 2003. Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gádor, southern Spain. *Holocene* 13 (6): 839-849.
- CHUVIECO E, AGUADO I, COCERO D, & RIAÑO D. 2003. Design of an empirical index to estimate fuel moisture content from NOAA-AVHRR images in forest fire danger studies *International Journal of Remote Sensing* 24 (8): 1621-1637.
- CLARK JS. 1988. Effect of climate change on fire regimes in Northwestern Minnesota. *Nature* 334 (6179): 233-235.
- DE LUIS M, GONZÁLEZ-HIDALGO JC, & RAVENTÓS J. 2003. Effects of fire and torrential rainfall on erosion in a Mediterranean gorse community. *Land Degradation & Development* 14: 203-213.
- EASTERLING DR, HORTON B, JONES PD, PETERSON TC, KARL TR, PARKER DE, SALINGER MJ, RAZUVAYEV V, PLUMMER N, JAMASON P, & FOLLAND CK. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe *Science* 277 (5324): 364-367.
- FIGUEROA ME, & DAVY AJ. 1991. Response of Mediterranean grassland species to changing rainfall. *Journal of Ecology* 79 (4): 925-941.

- FRANCO MÚGICA F, GARCÍA ANTÓN M, & SAINZ OLLERO H. 1997. Impacto antrópico y dinámica de la vegetación durante los últimos 2000 años en la vertiente septentrional de la Sierra de Gredos: Navarredonda (Ávila, España). *Revue de Paléobiologie* 16 (1): 29-45.
- FRANCO MÚGICA F, GARCÍA ANTÓN M, & SAINZ OLLERO, H. 1998. Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain. *The Holocene* 8: 69-82.
- GOÑI MFS, & HANNON GE 1999. High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *Holocene* 9 (1): 39-57.
- GONZÁLEZ-ALONSO F, CUEVAS JM, CASANOVA JL, CALLE A, & ILLERA P. 1997. A forest fire risk assessment using NOAA AVHRR images in the Valencia area, eastern Spain. *International Journal of Remote Sensing* 18 (10): 2201-2207.
- HAINES D. (1988). Lower atmospheric severity index (LASI) for wildland fires. USDA Forest Service. R.M. Research Station.
- HULME M, & CARTER TR. 2000. The changing climate of Europe. En: M. Parry (Ed.), *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, pp. 47-84.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
- LEHNER B, DÖLL P, ALCAMO J, HENRICHS H, & KASPAR F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment. *Climatic Change* 75: 273-299.
- LEVINE J.S. (Ed.). 1991. *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- MARTELL D.L. 2001. Forest Fire Management. En: E.A. Johnson (Ed.), *Forest Fires Behaviour and Ecological Effects*. Academic Press, Orlando, FL., pags. 527-575.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ J & CEBALLOS A. 2003. Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain. *Soil Science Society of America Journal* L 67 (6): 1647-1656.
- METZGER M, LEEMANS R, SCHRÖTER D, CRAMER W & THE ATEAM CONSORTIUM. 2004. *The ATEAM Vulnerability Mapping Tool*. Quantitative Approaches in System Analysis No. 27. Wageningen, C.T. de Witt Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, CD ROM.
- MORENO JM, VÁZQUEZ A, & VÉLEZ R. 1998. Recent History of Forest Fires in Spain. En: J. M. Moreno (Ed.), *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden, pags. 159-185.
- MORENO JM. 2005. Riesgos de Origen Climático: Impactos sobre los Incendios Forestales. En Moreno J.M. (Coord./Ed.), *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, págs. 581-615.

- MORENO JM, & ZAVALA G. 2005. Informe sobre las condiciones de peligro meteorológico del incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). Informe presentado a la Comisión de las Cortes de Castilla-La Mancha sobre el Incendio de Ribas de Saelices, Guadalajara, Agosto de 2005.
- MORENO J, ZAVALA G, MARTÍN M & MILLÁN A. 2009. Forest fire risk in Spain under future climate change. In: J. Settele et al. (Eds.), Atlas of Biodiversity Risks - from Europe to the Globe, from Stories to Maps. Pensoft, Sofia & Moscow.
- NASH CH, & JOHNSON EA. 1996. Synoptic climatology of lightning-caused forest fires in subalpine and boreal forests. Canadian Journal of Forest Research 26 (10): 1859-1874.
- NEW MG, LISTER D, HULME M & MAKIN I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. Climate Research 21: 1-25.
- PAUSAS JG. 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin) Climatic Change 63 (3): 337-350.
- PEÑALBA MC. 1994. The history of the Holocene vegetation in Northern Spain from pollen analysis. Journal of Ecology 82 (4): 815-832.
- PIÑOL J, TERRADAS J & LLORET F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. Climatic Change 38 (3): 345-357.
- PRENTICE IC, HEIMANN M & SITCH S. 2000. The carbon balance of the terrestrial biosphere: Ecosystem models and atmospheric observations. Ecological Applications 10 (6): 1553-1573.
- PRICE C, & RIND D. 1994. The impact of a 2-X-CO2 climate on lightning-caused fires. Journal of climate 7 (10): 1484-1494.
- RAMBAL S & HOFF C. 1998. Mediterranean ecosystems and fire: the threats of global change. En: J.M. Moreno (Ed.), Large Forest Fires. Backhuys Publishers, Leiden, NL. págs. 187-214.
- RIAÑO D, MEIER E, ALLGOWER B, CHUVIECO E & USTIN SL. 2003. Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. Remote Sensing of Environment 86 (2): 177-186.
- RODRÍGUEZ Y SILVA F. 1998. Bases técnicas para la elaboración de un plan regional de quemas prescritas, aplicación a la comunidad autónoma de Andalucía. Actas de la reunión sobre quemas prescritas. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 9: 253-264.
- RODRÍGUEZ Y SILVA F. 2004. Análisis económico aplicado al control de la carga de combustibles en ecosistemas forestales mediterráneos. Quemias prescritas, una alternativa frente a los métodos mecánicos. En: Actas del II Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía en la Defensa contra los Incendios Forestales, Córdoba, ES.
- SCHÄR C, VIDALE PL, LUTHI D, FREI C, HABERLI C, LINIGER MA & APPENZELLER C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 427 (6972): 332-336.

- SOTO B & DÍAZ-FIERROS F. 1998. Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena* 31 (4): 257-270.
- 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.
- 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 relationship to meteorological variables in Spain. En: Moreno J.M. & Oechel W.C. (Eds.), *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*. Springer-Verlag, Ecological Studies 117: 408-434.
- VÁZQUEZ A, PÉREZ B, FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F & MORENO JM. 2002. Forest fires characteristics and potential natural vegetation in peninsular Spain during the period 1974-1994. *Journal of Vegetation Science* 13: 663-676.
- VÉLEZ R. 2000a. Perspectiva histórica de los incendios forestales en España. En Vélez (coord.) *La Defensa contra Incendios Forestales: Fundamentos y experiencias*. McGraw Hill, Madrid, España., pags. 3.15-3.31.
- VÉLEZ R. 2000b. Motivaciones de los incendios intencionados. En: Vélez (coord.) *La Defensa contra Incendios Forestales: Fundamentos y experiencias*. McGraw Hill, Madrid, España., pags. 3.31-3.52.
- VÉLEZ R. 2000c. Los índices meteorológicos de peligro. En: Vélez (coord.) *La Defensa contra Incendios Forestales: Fundamentos y experiencias*. McGraw Hill, Madrid, España., pags. 8.10-8.28.
- VIEGAS DX, BOVIO G, FERREIRA A, NOSENZO A & SOL B. 2000. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* 9 (4): 235-246.



