

ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS FORESTALES Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (1989-2010)

ISRAEL GÓMEZ NIETO¹, MARÍA DEL PILAR MARTÍN ISABEL², FRANCISCO JAVIER SALAS REY³

¹Instituto de Geociencias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. C/ José Antonio Novais 12. 28040 Madrid. España

israel.gomez@csic.es

²Instituto de Economía, Geografía y Demografía, Centro de Ciencias Humanas y Sociales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. C/Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. España

mpilar.martin@cchs.csic.es

³Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá. Pza. San Diego, s/n - 28801 Alcalá de Henares. España

javier.salas@uah.es

RESUMEN

En este artículo se analizan los incendios forestales ocurridos en la Comunidad Autónoma de Madrid en dos períodos, 1989-1995 y 2007-2010, con el objetivo de caracterizar y comparar el régimen de incendios en cada uno de ellos, así como la acción selectiva del fuego en relación con los usos del suelo. Los datos de incendios se generaron a partir de imágenes Landsat (TM/ETM+) mientras que la información sobre usos del suelo se obtuvo de los mapas CORINE Land Cover (1990 y 2006). El régimen de incendios fue definido a través de siete indicadores. Los resultados mostraron una clara reducción de la incidencia de incendios con un 16% menos de incendios y un 78% menos de superficie quemada en el segundo período respecto al primero. El análisis del carácter selectivo del fuego sobre los usos del suelo se basó en el cociente de selección de Manly. En el período 1989-1995 destacó una mayor incidencia en bosques de coníferas y, en menor medida, en matorrales. En el período 2007-2010, la incidencia fue mayor en las zonas de pastos. El análisis mostró el importante papel de la interfaz entre usos artificiales y forestales en la ocurrencia de incendios, especialmente en el período 2007-2010.

Palabras clave: incendios forestales, usos del suelo, régimen de incendios, selectividad del fuego, Madrid

ANALYSIS OF FOREST FIRES REGIME AND ITS RELATION WITH LAND USE CHANGES IN THE AUTONOMOUS COMMUNITY OF MADRID (1989-2010)

ABSTRACT

In this article we study forest fires in the Autonomous Community of Madrid into two periods, 1989-1995 and 2007-2010, to characterize and compare the fire regime. We also analyse the selectivity action of fire in relation to the land uses of the region. Fire data was obtained from Landsat (TM / ETM +) while the land use information was obtained from CORINE Land Cover maps (1990 and 2006). Fire regime was defined through seven indicators. Results showed a clear decreasing of fire activity between the two periods, most important in the burned area (78%) than in the number of fires (16%). The analysis of the fire selectivity on land uses was based on the Manly's selection ratio. In the period 1989-1995 a higher incidence in coniferous forests and, less important, in shrubs was observed. In the period 2007-2010 the incidence was higher in grassland areas. The analysis showed the important role that the artificial/forest interface plays in the fire occurrence, especially in 2007-2010.

Keywords: forest fires, land use, fire regime, fire selectivity, Madrid

1. Introducción y objetivos

Los incendios forestales constituyen una perturbación medioambiental frecuente en la mayor parte de los ecosistemas del mundo. En el ámbito Mediterráneo, debido a sus características climáticas y socioeconómicas, los incendios forestales han tenido una presencia secular llegando a condicionar el tipo y distribución espacial de las comunidades vegetales. En el contexto de los países mediterráneos europeos, las profundas transformaciones socioeconómicas experimentadas en las últimas décadas han provocado un ritmo elevado de cambios en los usos del suelo, lo que ha tenido efectos directos en la estructura de la vegetación, en la cantidad y composición del combustible disponible y, por tanto, en la ocurrencia, intensidad y frecuencia de incendios forestales (Moreria *et al.*, 2001, Lloret *et al.*, 2002, Parks *et al.*, 2011, Keeley *et al.*, 2012). En una determinada área o ecosistema, parámetros como la frecuencia, intensidad, estacionalidad y tipo definen, entre otros, el régimen de incendios. Su conocimiento resulta fundamental para poder realizar evaluaciones del impacto que este fenómeno produce sobre el medio, así como para obtener estimaciones futuras más precisas, que sean útiles de cara a las labores de prevención y gestión.

Son numerosos los autores que han analizado los regímenes de incendios, ya sea con un enfoque global (Carmona-Moreno *et al.*, 2005; Mouillot y Field, 2005; Giglio *et al.*, 2006; Riaño *et al.*, 2007; Chuvieco *et al.*, 2008), regional (Vázquez de la Cueva *et al.*, 2006; Moreno y Chuvieco, 2012) o local (Vazquez y Moreno, 2001). En Moreno y Chuvieco (2012) puede consultarse una completa revisión de los trabajos existentes, clasificados de acuerdo a distintos criterios (perspectiva temporal, escala, fuentes de los datos).

Uno de los elementos clave que influyen sobre el régimen de incendios es el tipo y características de la cubierta vegetal. Hasta ahora, el análisis de la relación existente entre la ocurrencia de incendios forestales y el tipo de vegetación afectada se ha abordado a partir de dos aproximaciones metodológicas distintas, que tienen su génesis en el mundo de la ecología y la biogeografía (Hairston *et al.*, 1960). En el campo de investigación de los incendios forestales,

algunos autores consideran que la ocurrencia de incendios depende fundamentalmente de la existencia de fenómenos meteorológicos extremos que afectan a todo tipo de combustibles, con independencia de sus características (Agee, 1997; Keeley y Fotheringham, 2001; Moritz, 2003; Moritz *et al.*, 2004). Esta idea se apoya en que la probabilidad de ocurrencia de incendios es muy sensible a la humedad del combustible, aspecto que depende directamente de las características del clima, que en el ámbito mediterráneo estaría marcado por la sequía estival, resultado de la combinación de altas temperaturas y escasas precipitaciones. Sin embargo, otros autores consideran que las características y distribución espacial de los combustibles vegetales ejercen una mayor influencia en la ocurrencia y propagación del fuego (Rothermel y Philpot, 1973; Minnich, 1983; Minnich y Chou, 1997) y, por tanto, la actividad humana adquiere especial relevancia como agente que determina los usos del suelo.

El estudio que hemos realizado se enmarca dentro de éste segundo enfoque metodológico. En este sentido, el concepto de selección de recursos aplicado al campo de los incendios deriva de la obra original de Bond y Keeley (2005), quienes consideran que "los efectos del fuego son, en muchos sentidos, análogos a los de los herbívoros", capaces de alterar significativamente la biomasa en los ecosistemas inflamables. Esta hipótesis tiene una primera consecuencia inmediata en la consideración de que el fuego no se distribuye por igual sobre todo tipo de cubiertas vegetales, sino que, por el contrario, puede ser más frecuente en unas que en otras. De modo parecido a como los herbívoros prefieren unas plantas frente a otras en su dieta; el fuego tiene un carácter selectivo sobre los combustibles disponibles.

Diversos estudios han analizado el número de incendios y/o la superficie afectada en relación con el tipo de cubierta del suelo, como indicadores del carácter selectivo de los incendios (Moreira *et al.*, 2001; Nunes *et al.*, 2005; Bajocco y Ricotta, 2008; Carmo *et al.*, 2011; Conedera *et al.*, 2011; Angelis *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013; Barros y Pereira, 2014). En estos trabajos se hace uso de diversas técnicas estadísticas, como el cociente de selección (Moreira *et al.*, 2001; Carmo *et al.*, 2011), o modificaciones del mismo (Oliveira *et al.*, 2013; Barros y Pereira, 2014). En otros trabajos se opta por la técnica de Montecarlo (Bajocco y Ricotta, 2008; Conedera *et al.*, 2011; Angelis *et al.*, 2012). Independientemente del método estadístico elegido, estos trabajos tratan de aceptar o rechazar la misma hipótesis inicial: los incendios se producen de un modo aleatorio y por tanto su distribución sobre el territorio es homogénea y proporcional al tipo de recurso analizado y a su extensión. La mayor parte de los trabajos citados tienen un enfoque regional, si exceptuamos el estudio realizado por Oliveira *et al.* (2013), que se centra en toda la Europa mediterránea. En lo que se refiere a la escala temporal de análisis, predominan los estudios que analizan los incendios de un sólo año (Nunes *et al.*, 2005), o de un intervalo de varios años, pero utilizando como referencia un único mapa de usos de suelo o equivalente (Bajocco y Ricotta, 2008; Carmo *et al.*, 2011; Conedera *et al.*, 2011; Angelis *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013; Barros y Pereira, 2014). Tan sólo el trabajo de Moreira *et al.* (2001) ofrece una perspectiva multi-temporal.

Lo ideal sería que este tipo de estudios se realizasen utilizando como referencia mapas de modelos de combustibles que incluyeran caracterizaciones cuantitativas del tipo de vegetación, carga de biomasa disponible, contenido de humedad y densidad aparente (Anderson, 1982); puesto que la cantidad de combustible y su distribución espacial son factores básicos en la explicación de la ignición y propagación de los incendios forestales (Burgan *et al.*, 1998; Lloret *et al.*, 2002). Sin

embargo, estos mapas son difíciles de obtener, especialmente a escalas regionales o globales, por lo que lo más habitual es recurrir a información alternativa, que normalmente consiste en cartografía de usos y ocupación del suelo, en base a la clara relación entre esta información y las características de los combustibles (Turner y Romme, 1994).

En este contexto, el presente trabajo pretende investigar en qué medida los incendios forestales producidos en la Comunidad Autónoma de Madrid entre finales de los años 80 y la primera década del siglo veintiuno, tuvieron una acción selectiva sobre el tipo de vegetación disponible, analizando la incidencia histórica y su distribución espacial en relación con los usos del suelo en la región. Para alcanzar este objetivo general se han abordado dos objetivos concretos. En primer lugar, se ha realizado la caracterización de los incendios producidos en la Comunidad Autónoma de Madrid en dos períodos temporales distintos: los años 80-90 y la primera década de los 2000. Con ello pretendemos descubrir si se ha producido un cambio en el régimen de los incendios en las últimas décadas, teniendo en cuenta que estudiamos una región que ha experimentado una profunda transformación socioeconómica, lo que ha tenido su reflejo en importantes cambios en la distribución espacial de los usos del suelo. En segundo lugar, se ha analizado si los incendios producidos han tenido un carácter selectivo sobre los usos, basándonos en el estudio de las distintas categorías forestales existentes en la región madrileña, así como en las zonas de contacto entre el área forestal y los terrenos de uso agrícola y artificial. El resultado de este estudio trata de aportar información de interés para la definición de las estrategias de gestión de los recursos forestales, especialmente en lo que se refiere a las políticas de prevención y lucha contra incendios. Las fuentes de datos utilizadas han limitado la extensión del período temporal analizado, que idealmente hubiera debido extenderse en el pasado hasta la década de los 60, momento en el que se inicia la más importante transformación socioeconómica de la región. No obstante, por otra parte, estas fuentes garantizan la consistencia temporal de la información. De esta forma se ha eliminado un factor de incertidumbre importante en este tipo de análisis multi-temporales lo que permite garantizar que los cambios observados se relacionan principalmente con las transformaciones ocurridas en el territorio y no con las posibles inconsistencias temporales de la información utilizada.

2. Área de estudio, datos y métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio incluye el territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid. Esta región abarca una superficie de 8.027,9 km² y cuenta con una población de 6.435.152 habitantes, según el Padrón Municipal de Habitantes, a 1 de enero de 2015 (<http://www.madrid.org/iestadis/>).

El territorio de la Comunidad de Madrid se caracteriza por unos rasgos geográficos muy heterogéneos, que se deben a su diversidad climática, geomorfológica y biogeográfica. Está formada por tres grandes unidades de relieve: una barrera montañosa, que se extiende en dirección NE-SO (Sierra de Guadarrama, Somosierra y estribaciones de la Sierra de Gredos), una llanura aluvial, la del río Tajo, integrada por campiñas, páramos y vegas; y una superficie de erosión que conecta las dos unidades anteriores en forma de rampa o *pediment*.

Desde un punto de vista climático el área de estudio se encuentra dentro del dominio climático Mediterráneo matizado por su ubicación en el interior de la Península Ibérica, y está caracterizado principalmente por la estacionalidad de las temperaturas, la sequía estival y la irregularidad de las precipitaciones a lo largo del año. Dentro de la región encontramos variaciones espaciales marcadas que se reflejan en las precipitaciones medias anuales, que oscilan entre los 400 y 2.000 mm, aproximadamente. También en las temperaturas medias, que fluctúan de los 7 a los 15° C, y en las máximas y mínimas absolutas, que se mueven entre los -8 y los 44° C. Esta variabilidad de rasgos climáticos hace que la Comunidad de Madrid, a pesar de su reducida extensión territorial, incluya cuatro pisos bioclimáticos (Peinado *et al.*, 1987): Mesomediterráneo (450-750 m), Supramediterráneo (750-1.650 m), Oromediterráneo (1.650-2.250) y Crioromediterráneo (2.250-2.430 m).

Junto a la diversidad geomorfológica y climática, la Comunidad de Madrid se distingue por un alto grado de *antropización*. Según datos del mapa CLC del año 2006, las superficies artificiales y los cultivos ocupaban un 14 y 30 % de su territorio, respectivamente. Esta presión creciente del hombre sobre el medio natural se percibe, entre otros rasgos, en la sustitución de especies forestales autóctonas por otras de repoblación, como ocurre con las plantaciones de pinos en el área de la sierra, o las especies de crecimiento más rápido en los bosques de ribera. También guarda relación con la extensión de las áreas de matorral, de tipo garriga o maquis, en tradicionales terrenos de cultivo, hoy abandonados.

Pese a la gran expansión urbana, industrial/comercial y de la red de infraestructuras, la región madrileña conserva importantes espacios de vegetación natural, en gran medida utilizados intensivamente para actividades recreativas (Vilar *et al.*, 2010; Rodríguez-Rodríguez y Martínez-Vega, 2013). Estos espacios están representados por el bosque mediterráneo en el piso basal, con encinares de tipo dehesa; especies caducifolias en el piso montano, como el roble melojo o el fresno, en un primer nivel, y las hayas, acebos, tejos y arces, en el siguiente. Los pisos subalpino y alpino están cubiertos fundamentalmente por el pino silvestre y las praderas. Por último, en los cauces de los ríos, muy numerosos en esta región, pero muy afectados por la expansión del terreno artificial, se encuentran especies como los olmos, fresnos y chopos (Izco, 1984). De acuerdo a los datos del CLC 2006, el matorral y los pastos ocupan un 25 % y 14%, respectivamente, de la superficie total de la región, mientras que las coníferas ocupan un 5 % de la superficie regional, y las frondosas un 4%.

Madrid representa un claro ejemplo de los profundos cambios socioeconómicos ocurridos en las últimas décadas en la zona Mediterránea Europea y su impacto en la ocurrencia de incendios. Al abandono de las actividades tradicionales, como el pastoreo y la silvicultura tradicional (Romero-Calcerrada y Perry, 2004; Millington *et al.*, 2009), se ha unido el notable aumento de la urbanización y el desarrollo de infraestructuras que han tenido un claro impacto en el medio ambiente. Los nuevos patrones socioeconómicos han dado lugar a un aumento de la presión sobre las áreas naturales, que se vuelven más vulnerables. Las áreas urbanas de la región de Madrid se han incrementado en tamaño y población desde 1960, y se han extendido con un tipo de localización dispersa a costa de la superficie agrícola y forestal. Este proceso de transformación territorial ha sido especialmente intenso en las últimas décadas, relacionado con la elevada demanda de primeras

y segundas residencias, el gran desarrollo de la red de carreteras y ferrocarriles, así como de las zonas industriales y comerciales (López de Lucio, 2003; Catalá *et al.*, 2008). Como consecuencia de la coexistencia de lo artificial con otros usos, igualmente importantes en la Comunidad de Madrid por su extensión superficial, como el agrícola y forestal, han cobrado mucha importancia las zonas de contacto (interfaces) entre usos artificiales y naturales. En estas zonas la actividad humana representa un peligro potencial como agente causal de incendios debido a accidentes o negligencias. La importancia de la actividad humana en el origen de los incendios forestales queda atestiguada por las estadísticas oficiales sobre causalidad recopiladas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Así, para el decenio 2000-2010, del total de incendios con causa conocida, un 91 % tuvieron una causa humana (46 % por negligencias, 28 % por acciones deliberadas y 17 % por accidentes). Del resto, un 6 % se debieron a causas naturales y el 3 % a la reproducción de incendios previos.

2.2 Fuentes de datos y período de estudio

La elección del periodo de estudio estuvo condicionada por la existencia de información sobre ocurrencia de incendios y cartografía de usos del suelo a una escala espacial adecuada con suficiente consistencia temporal. El planteamiento diseñado consistió en comparar dos periodos que reflejaran una transformación socioeconómica que pudiera influir en la incidencia directa o indirecta sobre la ocurrencia de incendios en la región. En este sentido, hubiera sido deseable iniciar el estudio en la década de los años 60/70, como hito temporal del inicio de las grandes transformaciones socioeconómicas y territoriales de la Comunidad de Madrid, ligadas al proceso de éxodo rural y crecimiento urbano que dieron lugar a importantes cambios en la configuración de los usos del suelo en la región. Esto no fue posible debido a la falta de fuentes de información fiables y, sobre todo, temporalmente consistentes, que permitieran un análisis riguroso, por lo que los dos periodos seleccionados para su análisis y comparación fueron 1989-1995 y 2007-2010. Se tomó como criterio iniciar cada uno de los periodos analizados en el año siguiente al de la fecha real de la cartografía del proyecto CORINE para Madrid (1988, para el CLC 1990, y 2006, para el CLC 2006, que corresponden a la fecha de los datos de satélite utilizados en su elaboración). El segundo elemento considerado fue la inclusión de un período de cuatro años de datos de incendios. La no disponibilidad de datos en algunos años durante el primer periodo obligó a extender el rango temporal como se explica en el epígrafe 2.2.1.

Finalmente, entre ambos periodos hay un lapso de más de dos décadas que consideramos suficiente para detectar cambios relevantes en una región como la de Madrid, con un enorme dinamismo social y económico.

2.2.1 Cartografía de incendios forestales

El análisis del régimen de incendios se realizó tomando como referencia un período de 4 años en cada uno de los dos momentos temporales analizados. La elección de un cuatrienio para analizar la ocurrencia en cada período se realizó tomando como referencia las estadísticas oficiales sobre incendios forestales que elabora el MAGRAMA. El propósito fue incluir en cada período años con mayor y menor incidencia, considerando así el carácter cíclico de los incendios en la región y, en

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

general, en el ámbito Mediterráneo Europeo. En la figura 1 se presentan los datos oficiales de número de incendios y superficie quemada en una serie de treinta años (1980-2010) con indicación de los años seleccionados para el estudio. Como se puede observar, el gráfico general pone de manifiesto la sucesión de años con características contrastadas en cuanto al número de incendios ocurridos y a la superficie afectada, en el que alternan años de mayor incidencia (así ocurre con años como, 1980, 1985, 1986, 1990 y 2000), con otros de menor importancia de este fenómeno (por ejemplo: 1982, 1983, 1988, 1997 y 2010). Dentro de esta serie se localizan los dos rangos temporales definidos y analizados en este trabajo que, como puede observarse, incluirían años de distinta incidencia del fuego, especialmente en cuanto a la superficie forestal quemada.

A diferencia de otros estudios sobre regímenes de incendios que se han basado en el análisis de las estadísticas oficiales cuya referencia a la localización espacial de los incendios suele ser muy imprecisa; en este trabajo, el número de incendios, así como su superficie y localización, fueron obtenidos a partir del análisis de imágenes de satélite Landsat TM y ETM+ (píxel de 30 m).

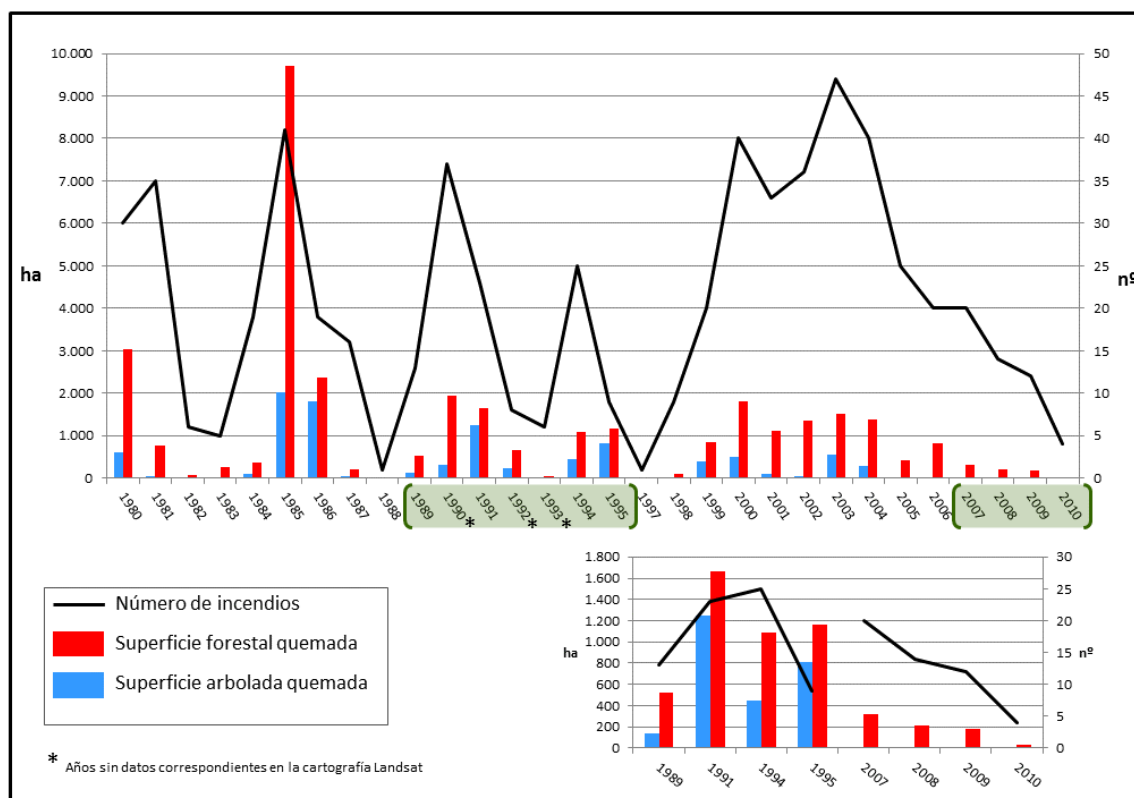


Figura 1. Evolución del nº de incendios y de la superficie quemada en la Comunidad de Madrid (1980-2010). Detalle sobre los años analizados. Fuente: MAGRAMA. Elaboración propia.

Para realizar la cartografía anual de los incendios se utilizó una imagen Landsat correspondiente al final de la estación de máximo riesgo de incendios (junio-septiembre) en cada

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

uno de los años analizados: 1989, 1991, 1994 y 1995 para el primer periodo y 2007 a 2010 para el segundo período (no fue posible tener imágenes de satélite con calidad suficiente para los años 1990, 1992 y 1993). Por lo tanto, la cartografía obtenida para cada año recoge únicamente los incendios producidos hasta la fecha de adquisición de la imagen. Sin embargo, dado que el período estival es la estación en la que se produce la mayor parte de los incendios en la Comunidad de Madrid, consideramos que la cartografía obtenida es suficientemente representativa de la incidencia de incendios en la región. Las estadísticas oficiales establecen que, en el período 1989-2010, un 74 % de todos los incendios se produjeron entre junio y septiembre, pero si nos centramos en los incendios de más de 5 ha el porcentaje asciende al 90 %. Dicho porcentaje es el mismo si consideramos sólo los años incluidos en los dos periodos de estudio analizados. El método utilizado para la cartografía, aplicado con éxito por otros autores (Barbosa *et al.*, 2007), constó de dos fases: una primera fase, basada en el establecimiento de umbrales simples sobre índices espectrales calculados a partir de las bandas originales, con el propósito de realizar una primera discriminación automática entre zonas potencialmente afectadas por incendios y otras no quemadas; y, una segunda, consistente en la depuración del resultado de la fase anterior a través de un análisis visual (composición de color RGB 7/4/1).

Para garantizar la calidad y consistencia temporal de los datos obtenidos a partir de las imágenes se decidió utilizar sólo los perímetros cartografiados mayores de 5 ha ya que, aunque la resolución espacial de las imágenes Landsat permite teóricamente discriminar incendios de menor tamaño, en la práctica la capacidad real de discriminación de incendios pequeños es variable y depende de la calidad radiométrica de la imagen, el tiempo transcurrido desde el incendio y la fecha de adquisición de la imagen, el tipo de cubierta afectada, la intensidad del fuego, etc. La cartografía resultante fue validada utilizando como referencia las estadísticas oficiales disponibles para nuestra zona de estudio.

2.2.2 Cartografía de usos y cubiertas del suelo

La información sobre usos y cubiertas del suelo para cada uno de los períodos de este estudio se obtuvo a partir de los mapas CLC (<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>) de los años 1990 y 2006. El proyecto CORINE se crea con el objetivo fundamental de obtener una base de datos europea de ocupación del suelo, útil para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas. Se trata de un mapa de escala de referencia 1:100.000, definido geodésicamente en ETRS89 y representado cartográficamente en UTM, obtenido a partir de la fotointerpretación sobre imágenes de referencia Landsat5 TM, en el año 1990, Landsat7 ETM+, en el año 2000 e imágenes SPOT4 HRV, en el año 2006. Los mapas CORINE tienen una clasificación jerárquica de 3 niveles con 44 clases de coberturas y usos del suelo, de las cuales sólo 31 están presentes en la Comunidad de Madrid, y una unidad mínima cartografiable de 25 ha.

Nuestro estudio se centró en las categorías de uso forestal en un sentido amplio, integrando cubiertas arbóreas, de matorral y pastos, que se agruparon en 6 clases (tabla 1).

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Tabla 1. Tipos de cubiertas y usos del suelo definidas para el estudio, correspondencia con las categorías de nivel 3 del mapa CLC, superficies ocupadas por cada categoría en los años 1990 y 2006 y porcentaje de cambio entre los dos períodos

Tipo de cubierta	Nivel 3 CLC	Superficie (ha) CLC90	Superficie (ha) CLC06	% cambio CLC06 respecto CLC90
Sistemas agroforestales	243, 244	47.396,73	47.567,02	0,36
Pastos	231, 321	122.779,45	109.884,72	-10,50
Matorral	323, 324, 333	194.046,55	200.064,84	3,10
Bosque de frondosas	311	31.031,55	31.683,58	2,10
Bosque de coníferas	312	44.829,47	43.243,17	-3,54
Bosque mixto	313	4.077,68	3.518,76	-13,71
Zonas agrícolas	211, 212, 221, 222, 223, 242	283.728,14	241.696,42	-14,81
Áreas artificiales	111, 112, 121, 122, 124, 131, 132, 133, 141, 142	64.375,83	114.643,86	78,09
Categorías excluidas: canchales y roquedos, zonas quemadas, humedales y zonas pantanosas, cursos y láminas de agua	332, 334, 411, 511, 512	10.528,99	10.492,01	-0,35
Área forestal total	-	444.163,42	435.962,09	-1,85
Área total	-	802.794,38	802.794,38	-

Además, se consideraron las cubiertas artificiales y agrícolas con objeto de analizar las zonas de interfaz de estas categorías con las cubiertas forestales. El concepto de interfaz tiene su origen en el análisis del riesgo de incendios forestales en zonas de contacto entre usos urbanos y forestales (Butler, 1976). En la actualidad, su definición tiene una doble vertiente; por un lado, la que se refiere a ser un espacio de contacto físico entre usos del suelo diferentes y, por otro, en el que subyace una relación compleja de interacciones e intercambios entre dos subsistemas territoriales, el social/humano y el natural/forestal, que hace que se incremente el riesgo de incendio (Vince *et al.*, 2005). En nuestra área de estudio hemos considerado las zonas de contacto entre usos urbanos y forestales y entre usos agrícolas y forestales como áreas dónde la actividad humana tiene una potencial relación con la ocurrencia de incendios debido al desarrollo de actividades que, por negligencia o accidente, pueden desembocar en el inicio de un incendio que se propague a la zona forestal. Cada una de ellas, se calculó como un corredor de 400 m en torno a las áreas agrícolas y artificiales en contacto con las cubiertas forestales. Esta distancia se estableció basándose en estudios que consideran el riesgo de que las pavesas de un incendio puedan ser desplazadas por el viento y acaben afectando a zonas aledañas (FUME-D113, 2011). Tras el cálculo de los corredores para las respectivas zonas de contacto o interfaces se generaron áreas de solape entre ambas, por lo

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

que se decidió incorporarlas al análisis como un tercer tipo, al no ser estrictamente agrícolas ni artificiales. De este modo, finalmente, las interfaces definidas fueron: agrícola/forestal, artificial/forestal y zona de solape entre las dos anteriores.

2.3 Análisis de régimen de incendios

Uno de los aspectos fundamentales en el estudio de los incendios forestales es la definición del régimen de incendios, concepto introducido por Gil (1975) que se ha convertido en un elemento clave en muchos campos científicos. Sin embargo, a pesar de su amplio uso, aún carece de una definición clara y ampliamente establecida (Krebs et al. 2010). En nuestro caso, del conjunto de parámetros medibles, y teniendo en cuenta la información disponible, hemos analizado los siguientes indicadores, referidos a cada periodo de estudio:

- Incidencia: superficie quemada total, número total de incendios y tamaño medio por año.
- Índice de riesgo: número de incendios por cada 10.000 ha de superficie forestal.
- Índice de gravedad: porcentaje del área quemada sobre la superficie forestal.
- Índice de Diversidad de Shannon (SHEI por sus siglas en inglés) (Shannon y Weaver, 1949):

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)}{\ln m}$$

Dónde, P_i es el cociente entre el área ocupada por una de las categorías de usos del suelo y el área total de cada perímetro de incendios y m es el número de categorías de usos del suelo existentes en cada perímetro. El valor del SHEI se mueve en el rango 0-1. Será 0 si el perímetro del incendio contiene sólo 1 categoría (es decir, si no existe diversidad alguna), se aproximará a 0 cuanto la distribución de la superficie entre las diferentes categorías sea más desigual (es decir, haya tendencia a ser dominada por 1 uso), y alcanzará valor 1 cuando la distribución de la superficie quemada entre las categorías presentes sea perfectamente uniforme.

- Índice de Riqueza Relativa de Usos (RPRI por sus siglas en inglés) (Romme, 1982):

$$RPRI = \frac{m}{m_{max}} (100)$$

Dónde, m es el número de categorías de usos del suelo afectados en cada incendio y m_{max} es el número total de categorías de usos del suelo existentes en el área de estudio. El índice está acotado entre 0 y 100. En nuestro caso, como el número máximo de categorías forestales definidas es 6, el valor mínimo posible será 16,7 %. El índice alcanzará el valor 100 cuando todas las categorías de usos del suelo presentes en el área de estudio aparezcan en el perímetro del incendio analizado. Este índice pone en relación la diversidad de categorías afectadas con la diversidad existente en la región, complementando la información aportada por el índice SHEI.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Todos los índices se calcularon para el conjunto de incendios cartografiado en cada período y también para diferentes rangos de tamaño de incendio. Para establecer estos rangos se tomó como referencia la clasificación de incendios en función de su tamaño en España (Vélez, 2000), que considera grandes incendios a los mayores de 500 ha. Así, se estableció una categoría para los grandes incendios y por debajo de este tamaño se crearon cinco categorías de igual intervalo. De este modo, se calcularon todos los índices para las siguientes categorías: < 100 ha, 100-200 ha, 200-300 ha, 300-400 ha, 400-500 ha y > 500 ha.

2.4 Análisis de la acción selectiva de los incendios forestales sobre las categorías de uso del suelo

Con el objeto de analizar si ha existido o no una acción selectiva sobre los combustibles (en nuestro caso categorías de uso del suelo) en los incendios de la Comunidad de Madrid calculamos el cociente de selección estandarizado (Manly *et al.*, 2010). Para ello, en primer lugar es necesario caracterizar el área quemada según el tipo de cubierta del suelo afectada, lo que permite posteriormente calcular un primer indicador llamado cociente de selección (CS), cuya expresión matemática es la siguiente:

$$w_i = o_i / \pi_i,$$

Donde, o_i el cociente entre el área quemada en la categoría i y el total de área quemada y π_i el cociente entre la superficie que ocupa la categoría i y el total de la superficie existente en el área de estudio.

Un valor $w_i = 1$ indica que la proporción de la superficie quemada de una categoría respecto al total de la superficie quemada es igual a la proporción de esa categoría respecto a la superficie total de la zona de estudio. Por debajo de 1 es inferior y por encima es superior, aumentando la diferencia cuanto más se aleja de 1. Este indicador supone una aproximación intuitiva para el análisis de selección de recursos de una variable categórica simple, pero generalmente no se ha reconocido como medida de probabilidad relativa de selección. Para estimar la probabilidad de que un incendio ocurra aleatoriamente en una categoría de uso del suelo en el caso de que todas las categorías fuesen igual de frecuentes, es decir, sin que afecte la diferente distribución superficial de categorías en la zona de estudio, se propone el cociente de selección estandarizado (CSE), cuya expresión matemática es:

$$B_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$$

En nuestro caso, este análisis lo hemos realizado sobre dos conjuntos de datos distintos. El primero incluye las 6 categorías forestales definidas en la tabla 1, que tratan de constituir grupos más o menos homogéneos desde el punto de vista de la estructura de la vegetación. En un segundo análisis, hemos agrupado en una única categoría las 6 categorías forestales de la tabla 1 y hemos añadido tres nuevas categorías que representan las zonas de interfaz entre zonas forestales y otras cubiertas, resultando un total de cuatro categorías: forestal, interfaz forestal/agrícola, interfaz

forestal/artificial e interfaz de solape (coincidencia espacial entre la interfaz agrícola y la artificial). Estas áreas son importantes desde el punto de vista de la ocurrencia de incendios, ya que en ellas se intensifica la actividad humana como agente causal de ignición. Así, determinadas prácticas agrícolas, como la quema de pastos y de rastrojos o la utilización de maquinaria, constituyen causa frecuente de incendios, tal y como se recogen en los informes oficiales elaborados cada año por el MAGRAMA. Lo mismo ocurre en la zona de interfaz entre las áreas forestales y urbanas, dónde la presencia de edificaciones, en muchos casos de carácter disperso, próximas o integradas en áreas forestales (caso frecuente en muchas urbanizaciones de la sierra de Madrid), constituyen otro foco potencial de riesgo de incendio por uso negligente o accidental del fuego. La existencia de estas zonas sensibles a los incendios forestales ha hecho que la legislación nacional y autonómica en materia de prevención, haya fijado franjas de seguridad y restricciones a las actividades humanas en su interior (RDL 11/2005, de 22 de julio; Decreto 58/2009, de 4 de junio). De igual modo, estas interfaces han sido incluidas por varios autores como variables de análisis en las investigaciones realizadas en materia de riesgo humano de incendio en los últimos años (Martínez et al., 2009; Vilar et al., 2010; Vilar et al., 2011).

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis del régimen de incendios

La cartografía generada para los dos períodos analizados registra un total de 58 incendios mayores de 5 ha en el período 1989-1995 y 49 incendios en el período 2007-2010 (figura 2). La superficie afectada por estos incendios fue de 3.734 ha en el primer periodo y de 823 ha en el segundo. En ambos periodos, la mayor parte de los incendios se localizaron en el sector que discurre desde el Norte de la región hacia el Suroeste, coincidente con el eje montañoso y piedemonte, donde se encuentran la mayor parte de las áreas forestales.

La comparación de la cartografía de incendios obtenida a partir de imágenes Landsat con las estadísticas oficiales disponibles, para los meses de junio-septiembre de los años utilizados en el estudio, ofreció un 7 % de sobre-estimación en lo que respecta a la superficie total afectada por los incendios mayores de 5 ha. Por tanto, considerando la existencia de un cierto nivel de incertidumbre de las estadísticas oficiales, podemos decir que los resultados indican que el uso de una única imagen post-incendios adquirida al final del verano resulta adecuada para detectar y delimitar la mayor parte de los perímetros de incendios, debido al mayor contraste espectral respecto a zonas no afectadas que presentan los incendios recientes. Sin embargo, creemos que el uso de imágenes adicionales adquiridas a lo largo del año podría contribuir a mejorar la discriminación de algunos incendios, especialmente los de menor tamaño, mediante la comparación de la respuesta espectral pre y post incendio.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

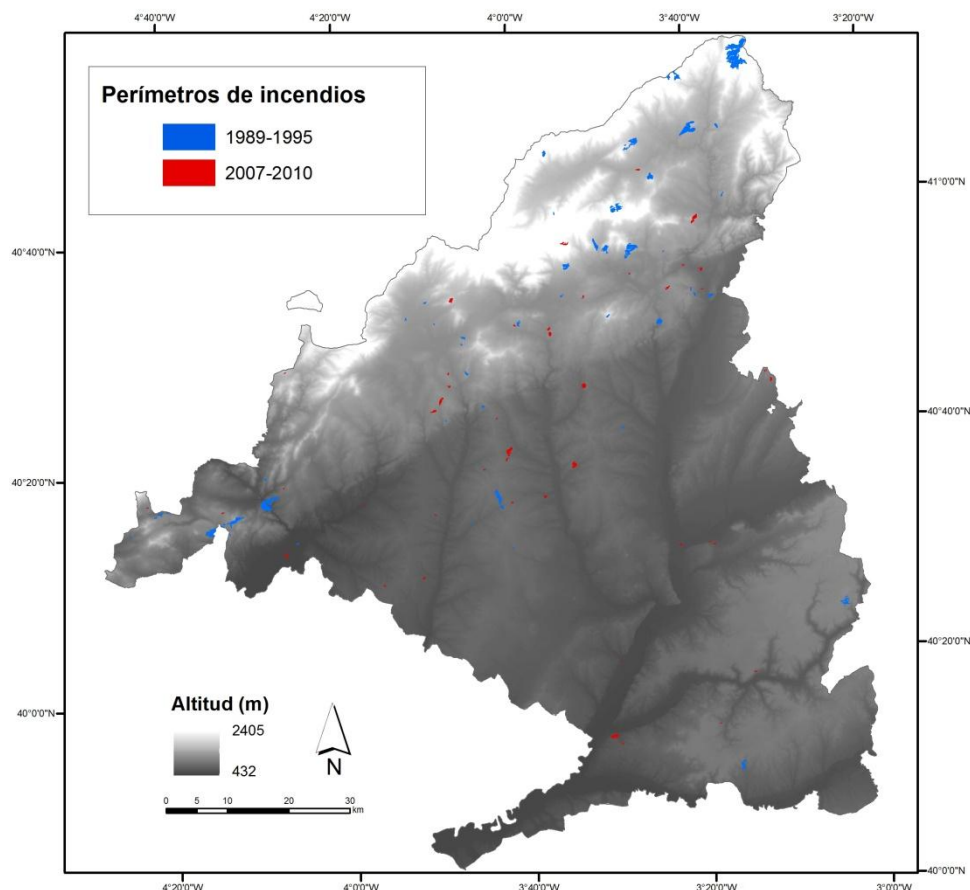


Figura 2. Cartografía de incendios forestales en la Comunidad de Madrid con imágenes Landsat (1989-1995 y 2007-2010). Elaboración propia.

Al comparar los dos periodos analizados con los indicadores relacionados con el régimen de incendios obtenidos a partir de la cartografía generada (tabla 2), comprobamos que el número de incendios fue un 15,5 % inferior en el segundo periodo, siendo significativamente mayor la reducción de la superficie total afectada, el 77,9 %. El tamaño medio de los incendios también se redujo de forma notable entre ambos periodos, pasando de 64,38 ha en el primero a 16,80 ha en el segundo, lo que supuso una disminución del 73,9 %.

En cuanto a la distribución de los incendios por tamaño, en el periodo 1989-1995 se produjeron 10 incendios mayores de 100 ha, superando uno de ellos las 500 ha. Los incendios inferiores a 100 ha fueron los más frecuentes en este periodo, con un 82,7 % del total, pero solo afectaron al 37 % de la superficie total. Se observa una clara disminución del número de incendios a medida que aumenta su tamaño. El segundo periodo, 2007-2010, tiene características muy distintas, con todos los incendios cartografiados por debajo de las 100 ha de superficie, y un tamaño medio de 16,8 ha. Así pues, atendiendo al número, tamaño y superficie afectada por los incendios, se observa una mayor incidencia de este fenómeno en el primer periodo de estudio.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Las diferencias entre ambos periodos también las encontramos en los índices de riesgo y gravedad. Ambos índices utilizan la superficie total forestal como referencia. Dado que esta superficie apenas experimentó cambios entre ambos períodos de estudio (se redujo tan sólo un 1,8 %), los índices permiten realizar una comparación temporal adecuada. El primer periodo presenta valores superiores en ambos índices, aunque con diferencias destacadas. Así, el índice de riesgo es un 17 % mayor en el primer período, mientras que el índice de gravedad lo es un 342 %, lo que pone de manifiesto que entre ambos periodos se ha producido una reducción muy importante en la superficie quemada y menor en el número de incendios. En cuanto a la evolución de los valores relativos al tamaño de los incendios, en el primer periodo se observa, en general, una disminución de los índices de riesgo y gravedad a medida que aumenta el tamaño de incendio.

Tabla 2. Indicadores del régimen de incendios

Periodo	Tamaño (ha)	Número	Área total (ha)	Tamaño medio	Índice riesgo	Índice gravedad	RPRI	SHEI
1989/1995	5-100	48	1.380,00	28,75	1,08	0,31	27,08	0,54
	100-200	6	831,00	138,50	0,14	0,19	44,44	0,68
	200-300	3	680,00	226,67	0,07	0,15	38,89	0,86
	300-400	0	0,00					
	400-500	0	0,00					
	> 500	1	843,00	843,00	0,02	0,19	50,00	0,58
	Total	58,00	3.734,00	64,38	1,31	0,84	40,10	0,67
2007/2010	5-100	49	823,00	16,80	1,12	0,19	20,41	0,51
	100-200	0	0,00					
	200-300	0	0,00					
	300-400	0	0,00					
	400-500	0	0					
	> 500	0	0,00					
	Total	49,00	823,00	16,80	1,12	0,19	20,41	0,51

En el caso de los índices de diversidad, el RPRI ofrece, en general, valores bajos (recordemos que el mínimo posible en nuestro estudio es 16,7 y el máximo 100), lo que significa que los incendios afectaron a un número reducido de categorías de uso respecto al total de categorías existentes en la región. En el caso del primer período, se observa como este índice aumenta cuando aumenta el tamaño de los incendios pasando de 27,08 a 50 para los incendios de menor y mayor tamaño, respectivamente; lo que indica una clara relación entre una mayor superficie afectada y una mayor diversidad. Dado que predominan los incendios de menor tamaño, es lógico que el índice ofrezca valores medios y bajos.

El índice SHEI presenta valores medios, pero siempre superiores a 0,5 (valor medio de su rango teórico de variación), lo que indica que la distribución de la superficie quemada entre las

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

diferentes categorías de usos del suelo no es homogénea. En el caso del primer período, se observa como este índice presenta los valores más bajos en los incendios de menor tamaño, asociado a que en estos incendios solo se quema, o lo hace predominantemente, una clase de uso del suelo. En los incendios de mayor tamaño el valor del índice aumenta, lo que indica que los diversos usos del suelo se queman en proporciones más similares, exceptuando en el incendio de más de 500 ha. Este cambio de tendencia podría estar relacionado con el hecho de que los grandes incendios tienden a producirse en cubiertas homogéneas donde el fuego no encuentra barreras naturales que frenen su propagación. En este caso, el único gran incendio cartografiado en el primer periodo quemó una superficie total de 843 ha y afectó sólo a tres de las seis clases forestales existentes en la región correspondiendo en su mayor parte a bosque de coníferas (70,3 %) y, en menor medida, a matorrales (29 %) y pastos (0,7 %).

Comparando los resultados de ambos índices en los dos periodos, encontramos diferencias que parecen determinadas por el tamaño de los incendios. Así, el valor de ambos índices es superior en el primer periodo, en el que se producen incendios de mayor tamaño. Dado que en el segundo periodo no se produjeron incendios superiores a 100 ha, si comparamos los resultados de los índices para los incendios con tamaño entre 0-100 ha, se observa que los valores son muy similares entre ambos periodos. En lo que respecta al RPRI, el valor es ligeramente inferior en los años 2000, asociado a un menor tamaño medio de los incendios en ese periodo (16,8 ha frente a 28,75 ha). Estos resultados se ajustan a lo esperable en incendios de menor superficie, con una menor probabilidad de afectar a un gran número de categorías. De hecho, en ambos periodos, especialmente en el segundo, los incendios con una sola categoría afectada son muy frecuentes, lo que se traduce en un valor del RPRI muy bajo afectando también al valor promedio del SHEI (con valor 0 para este tipo de incendios).

Los resultados de los indicadores del régimen de incendios analizados en este estudio revelan diferencias significativas entre los dos periodos analizados, especialmente en lo que se refiere a la superficie total quemada y al tamaño medio de los incendios que, a su vez, condicionan el resto de indicadores utilizados. Esto podría relacionarse con una mayor eficacia de las medidas de prevención y, fundamentalmente, de las labores de extinción que se infiere de los datos de inversión en estas actividades realizadas en ambos periodos, ya que permiten confirmar la hipótesis de un incremento notable de las partidas presupuestarias. Así, la inversión realizada por la Comunidad Autónoma de Madrid en materia de prevención y extinción de incendios (bajo la denominación de planes INFOMA) fue de 16,8 millones de euros en el año 1990 (EL PAÍS, 25/07/1990, http://elpais.com/diario/1990/07/25/madrid/648905056_850215.html), mientras que en 2004, 2005 y 2006, esta inversión supuso 27,3, 30,0 y 32,0 millones de euros, respectivamente (Hernández, 2006), llegando a alcanzar los 41 millones de euros, en el año 2010 (<http://www.espormadrid.es/2010/06/infoma-2010-la-comunidad-activa-el-plan.html>). A nivel nacional, también es indicativa la evolución de la inversión por parte de la Administración General del Estado. En el año 1990, la inversión en materia de prevención y extinción de incendios fue de 33,7 millones de euros (MAGRAMA, 1990), mientras que en el año 2007 el total ascendió a 87,3 millones de euros (MAGRAMA, 2007).

3.2 Análisis de la acción selectiva de los incendios forestales sobre las categorías de uso del suelo

Los cocientes CS y CSE de recursos reflejan grandes diferencias entre los dos periodos analizados en cuanto a la incidencia de incendios sobre determinadas categorías de usos del suelo (tabla 3). En el período 1989-1995, solo los bosques de coníferas y los matorrales ofrecen cocientes de selección superiores a 1, es decir, su proporción respecto a la superficie quemada es mayor que su proporción respecto al total de territorio. Podría decirse, por tanto, que sólo estas dos cubiertas se han quemado más de lo que cabría esperar en función de la superficie que ocupan en el total regional. Destaca el bosque de coníferas con un cociente de selección de 2,43. En el extremo opuesto están bosques mixtos y agroforestal, con valores cercanos a 0. En el periodo 2007-2010 se registra un importante cambio, tan solo el pasto ofrece un cociente de selección superior a 1. Con valores próximos, pero inferiores a 1, se encuentran las categorías matorral y agroforestal. El resto de usos del suelo tienen valores próximos a 0. El CSE nos permite comparar ambos periodos, observándose una cierta estabilidad en el grado de afectación de los matorrales (0,21 en el primer período frente a 0,18 en el segundo) y una clara disminución de la preferencia del fuego por superficies arboladas. Por el contrario, en los incendios del segundo periodo se observa una clara preferencia por zonas de pasto y agroforestales con valores hasta 6 veces superiores en el caso del pasto a los obtenidos en el primer periodo.

Las diferencias encontradas entre ambos periodos hay que enmarcarlas, de nuevo, dentro de una reducción notable de la superficie quemada y en la inexistencia de grandes incendios durante el segundo período. También habría que añadir una mayor eficacia de las labores de vigilancia y extinción sobre zonas arboladas por su mayor valor ecológico y paisajístico. En este contexto, se explicarían los notables cambios registrados por el bosque de coníferas, que pasa de ser la clase más seleccionada por el fuego en el primer periodo a ocupar las últimas posiciones en el segundo; y el bosque de caducifolios, que aunque menor, también experimenta un importante descenso (el CSE pasa de 0,18 a 0,03). En cambio, las zonas de matorral, se mantienen con valores similares de CSE entre ambos periodos y en ambos también ocupan el segundo puesto en cuanto a capacidad selectiva, lo que indica la importancia de este tipo de cubierta en la incidencia de incendios en el área de estudio.

Tabla 3. Cociente de selección de recursos aplicado a las categorías forestales

Periodo	Categorías	Área categoría (ha)	Área quemada (ha)	Cociente selección	Cociente selección estandarizado
1989/1995	Agroforestal	47.396,73	18,33	0,05	0,01
	Pasto	122.779,45	738,96	0,72	0,14
	Matorral	194.046,55	1.820,20	1,12	0,21
	Bosque caducifolio	31.031,55	241,58	0,93	0,18
	Bosque coníferas	44.829,47	915,50	2,43	0,46
	Bosque mixto	4.077,68	0	0,00	0,00
	Total	444.161,42	3.734,57	5,23	1,00

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

2007/2010	Agroforestal	47.567,02	60,76	0,68	0,17
	Pasto	109.884,72	482,50	2,33	0,59
	Matorral	200.064,84	262,01	0,69	0,18
	Bosque caducifolio	31.683,58	6,22	0,10	0,03
	Bosque coníferas	43.243,17	11,50	0,14	0,04
	Bosque mixto	3.518,76	0,00	0,00	0,00
	Total	435.962,09	822,99	3,94	1,00

El otro gran cambio que revelan los análisis es el incremento en la existencia de incendios en las zonas de pastos en el segundo período. Los incendios en estas zonas se atribuyen tradicionalmente a quemadas intencionadas con objeto de mejorar los pastos para el ganado en régimen de explotación extensiva. Por tanto, en principio, el aumento de la incidencia de incendios en estas zonas podría relacionarse con un aumento de la actividad ganadera en la región. En este sentido, las cifras oficiales indican un aumento del número de unidades ganaderas (UG), que pasaron de 109.640, en 1989, a 119.883, en 2009 (un 9% de incremento), según se recoge en el Banco de Datos Almudena, del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este dato agrega todo tipo de ganado con regímenes de explotación distintos y, en ocasiones, con una evolución temporal diferente a la expresada por el dato global. Si nos centramos en tres clases de ganado que suelen estar en parte asociados a una explotación extensiva, en parcelas de pastos contiguos a sectores forestales, generalmente en áreas de montaña, como son el bovino, el equino y el caprino, el incremento es de un 8 % entre ambas fechas (de 66.953 a 72.474 UG).

Los datos oficiales del MAGRAMA coinciden con los resultados obtenidos en este estudio. Así, aunque las categorías de uso no son las mismas (las del ministerio sólo distinguen entre superficie arbolada y no arbolada, dentro de la categoría forestal), sí que ponen de manifiesto una drástica reducción de la superficie arbolada quemada, que pasa de ser el 46 % de la superficie total quemada en 1989-1995, a sólo un 0,7 % en 2007-2010. En nuestro caso, el 31 % de la superficie quemada en el primer período corresponde a zonas arboladas, siendo de tan sólo un 2 % en el segundo.

Los resultados también son comparables con los de otros trabajos realizados en espacios mediterráneos de Europa. En estudios que utilizan series temporales largas o incendios previos a los años 2000 destacan el matorral y los bosques de coníferas como usos más afectados en España (Lloret *et al.*, 2002; Pausas *et al.*, 2008; Rodríguez y Salas, 2011), Portugal (Barros y Pereira, 2014; estos autores incluyen los pastos en la categoría matorral) y en el conjunto de países de la Europa Mediterránea (Sebastián-López *et al.*, 2008). En los trabajos que se centran en la década del 2000 los usos más frecuentes son pastos y matorral, como sucede en un estudio localizado en Cerdeña (Bajocco y Ricotta, 2008) o, para España, dentro de un estudio realizado para toda la Europa Mediterránea (Oliveira *et al.*, 2013).

Los resultados del análisis realizado diferenciando las zonas forestales de aquellas en contacto con áreas agrícolas o artificiales se muestran en la tabla 4. Se observa que en el primer

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

periodo analizado sólo la categoría forestal ofrece un CS superior a 1, seguido por el interfaz artificial, con un CS de 0,97. Las otras dos interfaces registran valores bajos. Atendiendo a los valores del CSE, el sector forestal que no está en contacto con áreas agrícolas o/y artificiales tiene una probabilidad ligeramente superior al interfaz artificial (CSE de 0,45 y 0,35, respectivamente) y triplica al interfaz agrícola. En el período 2007-2010 se invierte la tendencia, así, las tres interfaces ofrecen valores superiores a 1 en el cociente de selección (entre 1,82 y 2,51), mientras que las zonas forestales registran valores inferiores a 1. La interfaz artificial registra el valor más alto del CSE, 0,35, muy próximo al del solape de interfaces. En este periodo la probabilidad de selección de la interfaz artificial es casi seis veces superior al de las zonas forestales.

Tabla 4. Cociente de selección de recursos aplicado al área forestal e interfaces del periodo 1989-1995

Periodos	Categorías	Área categoría (ha)	Área quemada (ha)	Cociente selección	Cociente selección estandarizado
1989/1995	Forestal	299.647,00	3.098,89	1,23	0,45
	Interfaz forestal/agrícola	89.479,85	272,81	0,36	0,13
	Interfaz forestal/artificial	42.200,82	342,93	0,97	0,35
	Solape interfaces	12.833,73	19,93	0,18	0,07
	Total	444.161,40	3.734,56	2,74	1,00
2007/2010	Forestal	290.497,78	240,96	0,44	0,06
	Interfaz forestal/agrícola	78.064,24	268,22	1,82	0,26
	Interfaz forestal/artificial	51.773,30	245,28	2,51	0,35
	Solape interfaces	15.626,76	68,45	2,32	0,33
	Total	435.962,08	822,91	7,09	1,00

Las diferencias encontradas entre ambos periodos ponen de manifiesto la importancia de los cambios en los usos del suelo e, indirectamente, del factor humano en los incendios forestales de la región. Así, la zona forestal que no está en contacto con áreas artificiales o agrícolas experimenta un gran descenso en la probabilidad de selección (CSE de 0,45 a 0,06). Al ser el agente causal de incendios en la región principalmente de carácter humano, ya sea por negligencia, accidente o intencionalidad, los incendios se inician habitualmente cerca de las interfaces artificial o agrícola. Si el incendio se sofoca sin afectar a una gran superficie, gracias a la eficacia de las labores de extinción, la probabilidad de que afecte en su mayoría a estas interfaces es muy grande. La interfaz artificial no registra cambios en cuanto a su probabilidad de selección (CSE = 0,35 en ambos periodos) lo que indica que no se han producido variaciones significativas en la ocurrencia de incendios en estas zonas entre los dos periodos. Nuestra hipótesis es que el problema de los incendios de causa humana que, ya sea por accidente o negligencia, se producen en esta zona de contacto entre usos artificiales y naturales, se inició precisamente en la década de los años 70/80 y

se ha mantenido hasta la actualidad. Aunque la superficie de esta interfaz ha aumentado en estos años, también lo ha hecho la eficacia de las labores preventivas y de extinción lo que ha compensado este incremento. En el caso de la interfaz agrícola, sin embargo, el aumento de la preferencia de los incendios por esta categoría ha sido significativo en el segundo periodo lo que podría estar relacionado con un uso menos prudente del fuego en las labores agrícolas como consecuencia del envejecimiento de la población en zonas rurales. También es notable el aumento de la incidencia en las zonas de solape entre interfaces agrícolas y artificiales lo que estaría relacionado con la mayor concurrencia de posibles fuentes de ignición en zonas en las que se combinan estos usos con zonas de vegetación natural como consecuencia de un uso accidental o negligente del fuego por parte de la población.

Todo ello pone de manifiesto la transcendencia que tiene en la región de Madrid la zona de contacto entre los usos antrópicos y naturales, relacionados con el riesgo de incendio asociado a un uso negligente o accidental del fuego (quemados de rastrojos, eliminación de malas hierbas en entornos poblados, barbacoas etc.). La importancia de las zonas de contacto entre las áreas forestales y otros usos que albergan distintas actividades humanas ya ha sido puesta de manifiesto por otros autores que han analizado el riesgo de incendio en relación con factores antrópicos en España (Martínez et al., 2009), y también en la Comunidad Autónoma de Madrid (Vilar et al., 2010).

4. Conclusiones

El análisis del régimen de incendios en la Comunidad de Madrid y de la acción selectiva del fuego sobre los usos del suelo ha revelado diferencias significativas entre los dos periodos analizados. De los resultados obtenidos es posible deducir que, en tan sólo dos décadas, se ha producido una transformación de la incidencia de incendios en la región que se caracteriza por una disminución del área total afectada y del tamaño medio de los incendios. Estos cambios también conllevan una disminución en los índices de diversidad y de riqueza relativa. Sin embargo, para confirmar si las tendencias observadas en los dos periodos analizados se mantienen o no en otros distintos, sería deseable continuar con este análisis en el futuro, aprovechando la disponibilidad de las fuentes analizadas y, de este modo, poder establecer conclusiones más robustas sobre la relación entre cambios de usos y régimen de incendios en la región. Igualmente, sería muy interesante ampliar el análisis en el pasado para poder explicar en qué medida la intensa transformación territorial experimentada por la región de Madrid a mediados del siglo XX como consecuencia del proceso de industrialización y del éxodo rural afectó a la ocurrencia de incendios. Este análisis, sin embargo, resulta más complicado de abordar debido a la falta de datos comparables a los empleados en este estudio. Sería preciso recurrir a fuentes de información alternativas como fotografías aéreas, estadísticas e informes locales, etc, cuya disponibilidad y precisión no están garantizadas. No obstante, a pesar de las limitaciones mencionadas, este trabajo ha permitido realizar un análisis infrecuente en lo que respecta a su componente temporal entre dos fechas que recogen, al menos, una parte del proceso de transformación socioeconómica y territorial que ha experimentado la región de Madrid en las últimas décadas, realizando una propuesta metodológica respecto al uso de fuentes de información (imágenes de satélite y mapas de usos estandarizados) que permitirá extender el análisis en el futuro.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

En cuanto al análisis de selección de recursos, ha quedado patente que hay cubiertas sobre las que los incendios tienen mayor incidencia de la que cabría esperar por la superficie total que ocupan. En el período 1989-95 las áreas cubiertas por coníferas y matorrales fueron las más afectadas, en tanto que en 2007-2010 fueron los pastos y matorral. El análisis de las zonas de interfaz revela también aspectos destacables, quedando patente la incidencia de incendios en las zonas de contacto entre usos forestales y artificiales en ambos períodos y el mayor protagonismo de las zonas de contacto con usos agrícolas en los últimos años. Además, destaca la reducción de la incidencia en los sectores forestales frente a las zonas de interfaz. Estos resultados refuerzan el interés que este tipo de áreas deben tener en los estudios relacionados con la ocurrencia de incendios forestales en su vertiente de causalidad humana. Los análisis de selección de recursos ponen de manifiesto la importancia de la incidencia del fuego, en ambos casos los cambios producidos entre los dos períodos parecen ligados a la disminución de la superficie quemada y del tamaño de los incendios.

Finalmente, para interpretar los resultados referidos al régimen de incendios, así como a los del estudio de selección de recursos, planteamos la hipótesis de la influencia que la eficacia de los medios de prevención y extinción de incendios han tenido en la evolución temporal entre los dos períodos estudiados, que tendrían un claro reflejo en la reducción de la superficie quemada y del tipo de cubiertas afectadas. Dicha mayor eficacia se fundamenta en el análisis de los datos sobre las inversiones económicas efectuadas en esta materia que demuestran un incremento sustancial entre los períodos analizados; tanto desde la Administración Autonómica, que tiene transferidas las competencias en la lucha contra los incendios forestales desde los años 80, como desde la Administración Central, que desarrolla una función clave de apoyo y coordinación en estas tareas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el contexto del proyecto FUME "Forest fires under climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the World" (grant agreement n°243888) financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea. Agradecemos al United States Geological Survey la posibilidad de acceder de forma gratuita a la serie histórica de imágenes Landsat. También queremos expresar nuestra gratitud al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente por el acceso a la información de su base de datos sobre los incendios forestales en España, así como, al Instituto de Estadística de la Comunidad Autónoma de Madrid y a su banco de datos "ALMUDENA".

Referencias bibliográficas

- Agee, J. (1997): "The severe weather wildfire - too hot to handle". *Northwest Science Forum*, 71, 153-156.
- Anderson, H.E. (1982): "Aids to determining fuel models for estimating fire behavior". *USDA forest service general technical report, INT-122, Intermountain forest and range experiment station, Ogden, UT*, 22.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Angelis, A.D.; Bajocco, S. y Ricotta, C. (2012): "Phenological variability drives the distribution of wildfires in Sardinia". *Landscape Ecology*, 27, 1535-1545.

Bajocco S. y Ricotta C (2008): "Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer?". *Landscape Ecology* 23, 241-248.

Barbosa, P.M.; Kucera, J.; Strobl, P.; Camia, A.; Amatulli, G. y San-Miguel, J. (2007): "European Forest Fire Information System (EFFIS). Rapid Damage Assessment: appraisal of burnt area maps in southern Europe using MODIS data (2003 to 2006)", *IV Conferencia Internacional sobre incendios forestales*, Sevilla, España.

Barros, A.M.G. y Pereira, J.M.C. (2014): "Wildfire Selectivity for Land Cover Type: Does Size Matter?". *Plos One*, 9, 1, e84760.

Bond, W. y Keeley, J. (2005): "Fire as a global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems". *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 387-395.

Burgan, R.E.; Klaver, R.W. y Klaver, J.M. (1998): "Fuel models and fire potential from satellite and surface observations". *International Journal of Wildland Fire*, 8, 159-170.

Butler, C.P. (1976): "The urban/wildland fire interface". *Fire Prevention Notes*, California Department of Forestry, nº 10.

Carmo, M.; Moreira, F.; Casimiro, P. y Vaz, P. (2011): "Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal". *Landscape and Urban Planning*, 100, 169-176.

Carmona-Moreno, C.; Belward, A.; Malingreau, J.P.; Hartley A.; Garcia-Alegre, M.; Antonovskiy, M.; Buchshtaber, V. y Pivovarov, V. (2005): "Characterizing interannual variations in global fire calendar using data from Earth observing satellites". *Global Change Biology*, 11, 1537-1555.

Catalá Mateo, R.; Bosque Sendra, J. y Plata Rocha, W. (2008): "Análisis de posibles errores en la base de datos CORINE Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid". *Estudios Geográficos*, LXXIX, 264, 81-104.

Conedera, M.; Torriani, D.; Neff, C.; Ricotta, C.; Bajocco, S. y Pezzatti, G.B. (2011): "Using Monte Carlo simulations to estimate relative fire ignition danger in a low-to-medium fire-prone region". *Forest Ecology and Management*, 261, 2179-2187.

Chuvieco, E.; Giglio, L. y Justice, C. (2008): "Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data". *Global Change Biology*, 14, 1488-1502.

Decreto 58/2009, de 4 de junio, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales en la Comunidad de Madrid (INFOMA), (BOCM, 12 de junio de 2009).

Deliverable D1.1.3 Tool for RUI mapping (2011). FUME Project (Grant agreement nº 243888). Seventh Framework Programme Theme ENV 1.3.1.1

Fernandez, E. (2006): *Incendios forestales en España. Su impacto sobre el medio ambiente, la economía y el empleo: diagnóstico y propuestas*. ISTAS, 66.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Giglio, L.; Csiszar, I. y Justice, C.O. (2006): Global distribution and seasonality of active fires observed with the Terra and Aqua moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) sensors. *Journal of Geophysical Research*, 111, G02016.

Gil, A.M. (1975): "Fire and the Australian flora: a review". *Australian Forestry*, 38, 1, 4-25.

Hairston, N.G.; Smith, F.E y Slobodkin, L.B. (1960): "Community structure, population control and Competition". *The American Naturalist*, 94, 879, 421-425.

Izco, J. (1984): *Madrid Verde*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Keeley, J. y Fotheringham, C. (2001): "Historic fire regime in southern California shrublands". *Conservation Biology*, 15, 1252-1262.

Keeley, J.; Bond, W.; Bradstock, R.; Pausas, J. y Rundel, P. (2012): "Fire in the Mediterranean Basin. In: Fire in Mediterranean ecosystems". *Ecology, Evolution and Management*. New York, Cambridge University Press, 87-91.

Krebs, P.; Pezzatti, G.; Mazzoleni, S.; Talbot, L. y Conedera, M. (2010): "Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology". *Theory in Biosciences*, 129, 53-69.

López de Lucio, R. (2003): "Transformaciones territoriales recientes en la región urbana de Madrid". *Urban*, 8, 124-161.

Lloret, F.; Calvo, E.; Pons, X. y Diaz-Delgado, R. (2002): "Wildfires and landscape patterns in the eastern Iberian Peninsula". *Landscape Ecology*, 17, 745-759.

Manly, B.; Macdonald, L.; Thomas, D.; Macdonald, T. y Erickson, W. (2010): *Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

Martínez, J.; Vega-García, C. y Chuvieco, E. (2009): "Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain". *Journal of Environmental Management*, 90, 1241-1252.

Milligton, J.D.A.; Wainwright, J.; Perry, G.L.W.; Romero-Calcerrada, R. y Malamud, B. (2009): "Modelling Mediterranean landscape succession-disturbance dynamics: a landscape fire-succession model". *Environmental Modelling & Software*, 24, 10, 1196-1208.

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (1990): *Los incendios forestales en España durante 1990*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, 72.

Ministerio de Medio Ambiente, (2006): *Los incendios forestales en España durante el año 2006*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 118.

Minnich, R.A. (1983): "Fire mosaics in southern California and northern Baja California". *Science*, 219, 1287-1294.

Minnich, R.A. y Chou, Y.H. (1997): "Wildland fire patch dynamics in the Chaparral of Southern California and Northern Baja California". *International Journal of Wildland Fire*, 7, 3, 221-248.

Moreira, F.; Rego, F. y Ferreira, P. (2001): "Temporal (1985-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence". *Landscape Ecology*, 16, 557-567.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Moreno, V. y Chuvieco, E. (2012): "Characterising fire regimes in Spain from fire statistics". *International Journal of Wildland Fire*, 22, 296–305.

Moritz, M. (2003): "Spatiotemporal analysis of controls on shrubland fire regimes: age dependency and fire hazard". *Ecology*, 84, 351–361.

Moritz, M.A.; Keeley, J.E.; Johnson, E.A. y Schaffner, A.A. (2004): "Testing a basic assumption of shrubland fire management: How important is fuel age?". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 65–70.

Mouillot, F. y Field, C.B. (2005): "Fire history and the global carbon budget: a 1 degrees x 1 degrees fire history reconstruction for the 20th century". *Global Change Biology*, 11, 398–420.

Nunes, M.C.S.; Vasconcelos, M.J.; Pereira, J.M.C.; Dasgupta, N.; Alldredge, R.J. y Rego, F.C. (2005): "Land cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively?". *Landscape Ecology*, 20, 661-673.

Oliveira, S.; Moreira, F.; Boca, R.; San-Miguel-Ayanz, J. y Pereira, J.M. (2013): "Assessment of fire selectivity in relation to land cover and topography: a comparison between southern European countries". *International Journal of Wildland Fire*, 23, 5, 620-630.

Parks, S.; Parisien, M. y Miller, C. (2011): "Multi-scale evaluation of the environmental controls on burn probability in a southern Sierra Nevada landscape". *International Journal of Wildland Fire*, 20, 815–828.

Pausas, J.G.; Lloret, J.; Rodrigo, A. y Vallejo, R. (2008): "Are wildfires a disaster in the Mediterranean Basin? - a review". *International Journal of Wildland Fire*, 17, 6, 713–723.

Peinado, M.; Moreno, G. y Bartolomé, C. (1987): "Datos florísticos y ecológicos sobre los abedules del Sistema Central". Universidad La Laguna, Ser. Informes, 22.

Real Decreto Ley 11/2005, de 22 de Julio, por el que se aprueban medidas urgentes en materia de incendios forestales (BOE nº 175, de 23/07/2005).

Riaño, D.; Moreno, J.A.; Isidoro, D. y Ustin, S.L. (2007): "Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA–NASA Pathfinder". *Global Change Biology*, 13, 40–50.

Rodríguez-Rodríguez, D. y Martínez-Vega, J. (2013): "Results of the implementation of the System for the Integrated Assessment of Protected Areas (SIAPA) to the protected areas of the Autonomous Region of Madrid (Spain)". *Ecological Indicators*, 34, 210-220.

Rodríguez Verdú, F. y Salas Rey, F.J. (2011): "Caracterización de variables biofísicas en los incendios forestales mayores de 25 ha de la España peninsular (1991-2005)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 57, 79-100.

Romero-Calcerrada, R. y Perry, G.L.W. (2004): "The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984–1999". *Landscape and Urban Planning*, 66, 217–232.

Romme, W.H. (1982): "Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park". *Ecological Monographs*, 52, 199-221.

Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): "Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157

Rothermel, R.C. y Philpot, C.W. (1973): "Fire in wildland management: predicting changes in chaparral flammability". *Journal of Forestry*, 71, 164-169.

Shannon, C. y Weaver, W. (1949): *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana.

Sebastián-López, A.; Salvador-Civil, R.; Gonzalo-Jiménez, J. y San-Miguel-Ayán, J. (2008): "Integration of socio-economic and environmental variables for modelling long-term fire danger in Southern Europe". *European Journal of Forest Research*, 127, 2, 149-163.

Turner, M.G. y Romme, W.H. (1994): "Landscape dynamics in crown fire ecosystems". *Landscape Ecology*, 9, 59-77.

Vázquez, A. y Moreno, J.M. (2001): "Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain)". *Forest Ecology and Management*, 147, 55-65.

Vázquez de la Cueva, A.; García del Barrio, J.M.; Ortega, M. y Sánchez, O. (2006): "Recent fire regimes in peninsular Spain in relation to forest potential productivity and population density". *International Journal of Wildland Fire*, 15, 397-405.

Vélez, R. (2000): "Perspectiva histórica de los incendios forestales en España", en Vélez, R. (Ed.): *La Defensa contra Incendios Forestales: Fundamentos y experiencias*. Madrid, McGraw Hill, 315-331.

Vince, S.W.; Duryea, M.L.; Macie, E.A. y Hermansen, A. (eds.) (2005): *Forests at the wildland-urban interface: conservation and management*. Boca Raton, CRC Press, 293.

Vilar, L.; Woolford, D.G.; Martell, D.L. y Martín, M.P. (2010): "A model for predicting human caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain". *International Journal of Wildland Fire*, 19, 325-337.

Vilar, L.; Martín, M.P. y Martínez, F.J. (2011): "Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data". *European Journal of Forest Research*, 130, 983-996.