

Dinámica de paisajes forestales en relación a la incidencia del fuego en España peninsular: 1987-2000

A. Vázquez de la Cueva* y J. A. Rodríguez Martín

Centro de Investigación Forestal. CIFOR-INIA. Ctra. A Coruña, km 7,5. 28040 Madrid. España

Resumen

Los incendios forestales tienen en numerosas regiones de España un papel determinante en la configuración del paisaje, es decir, en el tipo de cubiertas vegetales y en la distribución espacial de éstas. Una manera de evaluar este papel es comparar la incidencia de los incendios forestales con los cambios registrados en la cubierta vegetal en un periodo de tiempo. Dada la importancia que el fuego ha tenido en las últimas décadas en España peninsular, sería de esperar una importante interrelación entre los cambios en el paisaje forestal y la incidencia de los incendios. Para validar esta hipótesis se han analizado las relaciones entre los cambios en los tipos de cubierta forestal identificados en las dos clasificaciones realizadas dentro del programa europeo CORINE Land Cover (CLC-1990 y CLC-2000) y la incidencia del fuego en España peninsular en un periodo de tiempo comparable. Los análisis se han basado en correlaciones no paramétricas y en un análisis canónico de ordenación entre variables relativas a la incidencia del fuego y los distintos tipos de cambios en los que se ha resumido la dinámica de los paisajes forestales. La base territorial elegida para estos análisis ha sido la división de España peninsular en comarcas agrarias y un periodo de aproximadamente 14 años que separan las imágenes Landsat empleadas en cada una de las dos clasificaciones. Centrados en la superficie forestal, los tipos de cambio más relevantes en el periodo analizado han sido los cambios de arbolado a desarbolado (21%), de desarbolado a arbolado (23%) y los cambios entre los distintos tipos de vegetación incluidos dentro de la clase superficie desarbolada (22%). Estos tres tipos de cambio, que han representado un 66% de los cambios en las superficies forestales, han sido también los más relacionados con la incidencia del fuego. Los resultados muestran que ambos procesos han estado inter-relacionados obteniéndose valores significativos tanto en las correlaciones como en el análisis multivariante de redundancia. Estos resultados confirman el papel determinante que los incendios forestales han tenido, y presumiblemente seguirán teniendo, en la dinámica de la vegetación en regiones cada vez más susceptibles al fuego como España.

Palabras clave: incendios forestales, CORINE Land Cover, análisis de redundancia (RDA).

Abstract

Forested landscapes dynamics in relation to forest fire occurrence in peninsular Spain: 1987-2000

Forest fires play a determinant role in landscape configuration, that is, the type and the spatial distribution of major land cover types in large areas of Spain. One possible way to evaluate this role is by means of the comparison between the area affected by forest fires and changes in land cover types during a certain type period. Based on the importance of wildland fires during the last decades in Spain it is expected a strong relationship between landscape changes and fire occurrence. In order to validate this hypothesis we have analysed the relationship between the changes in land cover types identified in the two land cover classifications carried out until now in the European programme CORINE Land Cover (CLC) and fire occurrence in peninsular Spain for a similar time period. The analyses are based on non parametric correlations and in a canonical ordination analysis between several fire variables and the different types of land cover change in which the dynamic of forested landscapes has been resumed according to the two land cover classification used: CLC-1990 and CLC-2000. The territorial units used are the division of Spain in agrarian counties and the reference period the 14 years spanned between the satellite images used in each classification. Focussing of the forested area, the more important changes detected are the changes from woodland to non-woodland (21%), from non-woodland to woodland (23%) and changes between the different types of land-cover included in the non-woodland class (22%). These three types of changes, that accounted for a 66% of changes in forested areas, have been the more related to fire occurrence. The results show a strong relation between both processes. We have obtained statistically significant results in the correlation and also in the multivariate redundancy analyses. These results confirm the determinant role that fires have played, and certainly will play, in the vegetation dynamic of regions each time more prone to fire such as peninsular Spain.

Key words: forest fires, CORINE Land Cover, redundancy analysis (RDA).

* Autor para la correspondencia: vazquez@inia.es

Recibido: 27-03-08; Aceptado: 23-06-08.

Introducción

Interacciones entre incendios y paisajes

Las interacciones entre el régimen de incendios forestales y los paisajes en los que éstos se propagan son complejas, se dan en las dos direcciones y a distintas escalas espaciales y temporales (Bond & Van Wilgen, 1996). Por un lado, los cambios en la cubierta vegetal del territorio, y por tanto del paisaje, se han señalado como uno de los elementos determinantes del aumento en el número de incendios y la superficie quemada en los países europeos de la cuenca mediterránea en las últimas décadas (Trabaud, 1981; Le Houerou, 1987; Rego, 1991; Moreno *et al.*, 1998). Estas afirmaciones tienen su base en una mejor propagación del fuego a través de sistemas con una continuidad alta de combustibles (Gardner *et al.*, 1987; Turner *et al.*, 1989). En general se considera que las relaciones entre la estructura del paisaje y su funcionamiento, en este caso, su susceptibilidad a una perturbación, no son lineales, sino que cambios pequeños en la estructura pueden suponer grandes modificaciones en la susceptibilidad del mismo a dicha perturbación (Turner 1989; Green *et al.*, 1991).

Por otro lado, es conocido que alteraciones en el régimen de incendios pueden, a su vez, dar lugar a cambios en la estructura del paisaje (Baker, 1992; Davis y Burrows, 1994), cambios que, de nuevo, pueden incidir sobre el propio régimen de incendios, lo que implica una interacción entre los dos procesos. Un caso particular sería la interrelación entre especies invasoras, en ocasiones favorecidas por el fuego, y las modificaciones en el régimen de incendios inducido por éstas (Zedler *et al.*, 1983; Brooks *et al.*, 2004). Los patrones de propagación del fuego varían en los distintos paisajes y diferentes regímenes de incendios dan lugar a diferentes patrones en el paisaje (Bond y Keeley, 2005; Pausas *et al.*, 2006). Por otra parte, cada vez es más reconocido el planteamiento de que la importancia de la configuración del paisaje en la propagación del fuego decrece conforme las condiciones meteorológicas se hacen más extremas (Moritz, 1997; Baeza *et al.*, 2002).

Cambios en los paisajes: programa CORINE Land Cover

Los paisajes están compuestos por unidades espaciales, o ecosistemas si se prefiere, diferentes en fun-

ción de la cubierta vegetal que soportan, sus características fisiográficas o el tipo de uso entre otros atributos (Bernáldez, 1981; Naveh y Lieberman, 1984; Forman y Godron, 1986). En los paisajes podemos distinguir tres características fundamentales: estructura, función y cambio (p. ej., Turner, 1989). Por estructura del paisaje se entiende el número, tamaño, forma y configuración espacial de los distintos elementos que lo componen. Las interacciones entre los distintos elementos (flujos de energía, materiales y especies, propagación de perturbaciones, etc.) definen su funcionamiento. Por último, el cambio hace referencia a las alteraciones en la cubierta vegetal, en su estructura o en el funcionamiento del mosaico paisajístico a lo largo de un periodo de tiempo. Este trabajo se centra en los cambios en las cubiertas vegetales cartografiados en las dos clasificaciones realizadas a nivel europeo dentro del programa CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) Land Cover y que denominaremos CLC-1990 y CLC-2000.

Desde 1985 hasta 1990 la Comisión Europea implementó la primera edición del programa CORINE. Posteriormente la Agencia Ambiental Europea (EEA) se hizo cargo de las bases de datos CORINE y de su actualización. Los trabajos de actualización de CORINE al año de referencia 2000 se iniciaron en 1999 y han dado lugar al proyecto Image & CLC-2000 (Kleeschulte y Bütter, 2004). Este proyecto incluye dos componentes. El primero, Image-2000, incluye todas las actividades relativas a la adquisición y procesamiento de las imágenes de satélite empleadas, mientras que el segundo componente integra las actividades relacionadas con la detección e interpretación de los cambios en las cubiertas. El proyecto Image & CLC 2000 ha representado en España, al igual que en los restantes países europeos, un gran esfuerzo de integración entre las distintas administraciones nacionales y regionales implicadas en su desarrollo (Arozamena *et al.*, 2004). Recientemente se han finalizado los trabajos de actualización al año 2000 (CLC-2000) y junto a estos se han divulgado los ficheros vectoriales en que se recogen los cambios en las cubiertas, denominado CLC-Changes. Se pretende llegar en el futuro a una actualización periódica en intervalos de cinco años (Nunes de Lima, 2005). Son muchas las aplicaciones científicas en las que se emplean datos o metodología basada en CORINE (p. ej., Thomson *et al.*, 2007). Los datos de la cubierta vegetal, por ejemplo, se utilizan dentro de la iniciativa EFFIS (European Forest Fires Information System) en la que se em-

plean, junto a la cartografía de las áreas quemadas, para la estimación de los daños de los incendios en los distintos tipos de cubierta (European Commission, 2006).

Con la finalidad de adecuar CLC-Changes a nuestros objetivos se han reelaborado algunos aspectos. Así, se ha simplificado la leyenda original de CLC estableciendo un menor número de tipos de cubierta, referidos fundamentalmente a superficie forestal, y definiendo un conjunto más limitado de tipos principales de cambio. Los tipos de cambio finalmente establecidos se han relacionado con la incidencia del fuego, expresada por el número de incendios y la superficie afectada, mediante correlaciones no paramétricas y mediante un análisis multivariante. Se ha seleccionado un análisis canónico de ordenación entre las variables relativas a la incidencia del fuego (variables explicativas) y los tipos de cambios (variables de respuesta) en los que se ha resumido la dinámica de los paisajes forestales.

Hipótesis y objetivos

Dado que los incendios forestales son uno de los principales factores en la configuración del paisaje forestal en numerosos territorios, nuestra hipótesis inicial es que los paisajes forestales con más dinamismo, es decir, en los que más cambios se han registrado, sean también los que han tenido una mayor incidencia del fuego.

Nuestro objetivo general es valorar la importancia de los incendios como predictor de los cambios en paisajes mientras que los objetivos específicos de este trabajo son: (1) valorar la dinámica de los paisajes forestales mediante el análisis de los tipos de cambio registrados a partir de CLC-Changes y (2) analizar las relaciones entre estos tipos de cambio y la incidencia de los incendios forestales.

Material y Métodos

Zona de estudio

Como unidades territoriales se han empleado las comarcas agrarias dado que respetan la división administrativa de España y, a su vez, reflejan en cierta medida paisajes diferentes. Se han empleado los datos de 300 comarcas dado que se han excluido del análisis las

correspondientes a dos (Álava y Navarra) de las 50 provincias que integran España peninsular. En promedio cada provincia está integrada por 6 comarcas. En una de las comarcas agrarias no se han registrados cambios por lo que el número de ellas empleadas en los análisis ha sido de 299. La superficie total del territorio es de $48,3 \times 10^6$ ha, de las cuales $27,3 \times 10^6$ ha (56%) correspondían a superficie forestal a partir de los datos de la primera clasificación CLC-1990 (NATLAN, 2000).

Programa CORINE Land Cover

Las principales especificaciones del Programa CORINE Land Cover (CLC) se definieron durante el año 1985. Los elementos principales eran según Heymann *et al.* (1994) realizar una interpretación visual de imágenes de satélite a una escala cartográfica de 100.000, con una unidad mínima inventariada de 25 ha y una anchura mínima de las teselas identificadas de 100 m. Según la información disponible (Nunes de Lima, 2005) las imágenes del satélite Landsat 5 con el sensor Thematic Mapper empleadas en el CLC-1990 eran para España mayoritariamente de finales del verano de 1986.

En la actualización de las coberturas al año de referencia 2000 (CLC-2000), se añadieron otros requerimientos como que las imágenes ortorectificadas empleadas deberían tener un error medio cuadrático no mayor de 25 m. El año de actualización debía ser el 2000 con ± 1 año de diferencia. Esta actualización empleó imágenes adquiridas por el satélite Landsat 7 con el sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper), que había sido lanzado al espacio el año anterior. Las escenas adquiridas para España se tomaron mayoritariamente durante los meses de julio y agosto, aunque algunas correspondían a los meses de Junio y también de Septiembre. Un 87% de las 47 escenas empleadas en España fueron del año 2000 (Nunes de Lima, 2005).

La actualización dio lugar a CLC-2000 y a la base de datos de los cambios en las cubiertas entre las dos fechas: CLC-Changes. Antes de realizar la comparación con las imágenes recientes, los datos de CLC-1990 se sometieron a múltiples mejoras, fundamentalmente geométricas. CLC-Changes es una base de datos europea, en formato vectorial, de los cambios en la cubierta (con teselas mayores de 5 ha y con una anchura mínima de 100 m) entre CLC-1990 y CLC-2000. Para España, el intervalo entre las dos clasificaciones

ha representado un periodo aproximado de 14 años y se han identificado unos 47.000 polígonos en los que se han detectado cambios en el tipo de cubierta.

Reelaboración de datos CLC-Changes

La leyenda original de CLC es jerárquica y distingue, en su nivel 3, 44 clases de cubierta (Heymann *et al.*, 1994; Bossard *et al.*, 2000). Con la finalidad de simplificar el análisis de los cambios entre las dos fechas y adecuarlo a nuestros objetivos, las 44 clases originales que integran la leyenda se han resumido en seis tipos de cubierta como se muestra en la Tabla 1. De éstos seis tipos, uno hace referencia a cubiertas «no forestales» mientras que los cinco restantes hacen referencia a usos «forestales». El tipo de cubierta 0 incluye todas las clases «no forestales»: es decir áreas cultivadas, urbanas, infraestructuras, etc. En el tipo de cubierta 1 «Agro-forestal», se han incluido mosaicos de cultivos y otras disposiciones en las que se mezcla vegetación natural con cultivos. Los tres tipos de cubierta relativos a superficie forestal arbolada se han mantenido igual que en las clases originales y dan lugar a los tipos de cubierta «bosques de planifolios» (2), bosques de coníferas (3) y bosques mixtos (4). Por último, en el tipo de cubierta 5 que hemos denominado «superficies desarboladas» se incluyen pastizales, áreas desarboladas, áreas quemadas, matorrales propiamente

dichos y otros tipos de vegetación esclerófila mediterránea no calificada como bosque.

Dado que es la dinámica en el paisaje nuestro objetivo principal, se han definido nueve tipos de cambio a partir de los 36 cruces posibles al considerar seis tipos de cubierta en cada año. De los nueve tipos de cambio establecidos, en ocho ha estado implicada la superficie forestal. Estos nueve tipos de cambio intentan sintetizar los principales procesos implicados en los cambios en la cubierta vegetal y se muestran en la Tabla 2.

Datos de incendios

Se han empleado los datos correspondientes a los incendios forestales registrados en el periodo 1987-2000. Para el periodo 1987-1993, se han empleado datos procedentes de la administración forestal y elaborados en el contexto de una tesis doctoral previa (Vázquez, 1996; Moreno *et al.*, 1998). Los datos correspondientes al periodo 1994-2000 se obtuvieron posteriormente de la administración central (Dirección General de Conservación de la Naturaleza) y están ya referidos a mapas topográficos a escala 1:250.000 (los anteriores estaban referidos a una cartografía previa a escala 1:200.000). En ambos casos, los datos de cada incendio están referenciados a la cuadrícula de 10 × 10 km, basada en el sistema de proyección UTM, en la que comenzó el fuego. Aunque la mayoría de las cuadrículas

Tabla 1. Tipos de cubierta resultantes de la reclasificación de las 44 clases jerárquicas originales empleadas en el programa «CORINE Land Cover». La clase 0 agrupa todo el territorio considerado como no forestal y las 5 restantes clasifican los distintos tipos de cubierta forestal. Alguna de las 6 clases establecidas (clases 2, 3 y 4) se identifican totalmente con alguna de las 44 clases originales (se incluyen los códigos originales y una breve descripción) mientras que otras se han definido por exclusión (clase 0) o agrupando varias clases originales (clases 1 y 5)

Código de clase	Tipo de cubierta (reelaborado)	Descripción y códigos originales CORINE Land Cover
0	No forestal	Áreas urbanas, superficies cultivadas... (todas las clases no consideradas expresamente abajo)
1	Agro-forestal	Zonas agrícolas con vegetación natural (2.4.3) Áreas agro-forestales (2.4.4)
2	Forestal arbolado	Bosques de planifolios (3.1.1)
3	Forestal arbolado	Bosques de coníferas (3.1.2)
4	Forestal arbolado	Bosques mixtos (3.1.3)
5	Forestal desarbolado	Pastizales naturales (3.2.1), turberas y brezales (3.2.2), vegetación esclerófila (3.2.3), transición de matorral a arbolado (3.2.4), rocas desnudas (3.3.2), zonas con vegetación dispersa (3.3.3), áreas quemadas (3.3.4)

Tabla 2. Matriz de transición de los cambios detectados entre las dos clasificaciones CORINE Land Cover (CLC-1990 y CLC-2000) en España peninsular. Para cada año se emplean los 6 tipos de cubierta reelaborados a partir de la base de datos CLC-Changes (ver la Tabla 1). Cada una de las 36 celdas muestra los porcentajes relativos al total de cambios (cifrado en 2,4 millones de ha) y entre paréntesis el «tipo de cambio» al que se ha asignado y que se define en la Tabla 3

Tipo de cubierta en CLC-1990	Tipo de cubierta en CLC-2000							Total
	No forestal	Agroforestal	Forestal arbolado			Forestal desarbolado	5	
			Planifolios	Coníferas	Mixtos			
			0	1	2			
No Forestal	0	33,4 (—)	1,0 (5)	0,2 (5)	0,1 (5)	0,0 (5)	2,6 (5)	37,3
Agro-Forestal	1	2,5 (6)	0,1 (—)	0,2 (1)	0,1 (1)	0,0 (1)	1,3 (1)	4,2
Forestal arbolado:								
— Planifolios	2	0,5 (6)	0,5 (4)	0,0 (—)	0,1 (2)	0,1 (2)	3,9 (3)	5,1
— Coníferas	3	0,3 (6)	0,0 (4)	0,0 (2)	0,0 (—)	0,2 (2)	8,7 (3)	9,2
— Mixtos	4	0,2 (6)	0,0 (4)	0,1 (2)	0,2 (2)	0,0 (—)	1,1 (3)	1,5
Forestal desarbolado	5	7,8 (6)	4,9 (4)	5,4 (7)	6,8 (7)	3,2 (7)	14,7 (8)	42,7
Total		44,7	6,5	5,9	7,1	3,5	32,2	100,0

tienen este tamaño, las situadas en fronteras, costas y las próximas a los cambios de uso pueden tener distintos tamaños. En este trabajo se han excluido las provincias de Álava y Navarra de las que no se dispone de datos en alguno de los años implicados. Se han empleado únicamente los incendios con una superficie forestal quemada igual o mayor a 0,1 ha. Las variables empleadas como indicadoras de la incidencia del fuego han sido el número de incendios, la superficie forestal total quemada, y el desglose de ésta en superficie quemada arbolada y no arbolada.

Procedimientos de análisis

Los análisis estadísticos se han basado en correlaciones simples y también en un análisis multivariante de ordenación canónica. Las correlaciones bivariantes han sido no paramétricas y basadas en rangos (Spearman r_s) entre los tipos de cambio definidos y las variables relativas a la incidencia del fuego. La evaluación multivariante de las relaciones entre los tipos de cambio (variables de respuesta) y la incidencia del fuego (variables explicativas) se ha realizado mediante un análisis de ordenación canónica. Se ha seleccionado un análisis de gradiente directo basado en métodos lineares en el que los ejes canónicos obtenidos están forzados (constreñidos) a ser una combinación lineal de las variables explicativas (Ter Braak, 1994). Este procedimiento se denomina Análisis de Redundancia (RDA)

(Rao, 1984). Se ha realizado un análisis híbrido de manera que los dos primeros ejes son canónicos (1 y 2) y los dos segundos son libres (3 y 4). La relación entre las varianzas absorbidas por los ejes 1 y 2 frente a los ejes 3 y 4 informa de la relación entre los dos conjuntos de datos. Se ha seleccionado un «biplots» de correlación para sintetizar las relaciones entre los dos conjuntos de datos y visualizar de manera directa las correlaciones entre las variables explicativas y las de respuesta (Ter Braak, 1994). Los análisis multivariantes se han llevado a cabo con el programa CANOCO 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002). Para la gestión y procesado de la información espacial, se han empleado utilidades de los Sistemas de Información Geográfica MiraMon (Pons, 2002) y ArcGis (ESRI, 2005). Este procesado ha implicado cruces y reclasificaciones entre las distintas capas temáticas (cubiertas en CLC-1990, polígonos de cambio en CLC-Changes, datos de incendios en cuadrículas de 10x10 km y delimitación de las comarcas agrarias) correspondientes a las diversas fuentes de información espacial empleadas.

Resultados

Superficies quemadas en España peninsular

La superficie forestal afectada por el fuego en los 14 años del periodo de referencia analizado (1987-2000) ha sido de $2,4 \times 10^6$ ha en unos 189.000 incen-

dios según datos de la estadística oficial. De esta superficie total quemada $0,9 \times 10^6$ ha (38%) afectaron a superficie arbolada (Fig. 1A) y $1,5 \times 10^6$ ha (62%) a superficie desarbolada (Fig. 1B).

Estas cifras contrastan con la información contenida en CLC-Changes y que asciende a $1,6 \times 10^6$ ha si tenemos en cuenta la superficie afectada por los ocho tipos de cambios con implicación de superficies forestales. Esta cifra es bastante menor que la superficie quemada a partir de los datos estadísticos oficiales empleados ($2,4 \times 10^6$ ha). Si se considera la mitad del periodo, los 7 años de 1994-2000, la superficie quemada se aproxima a $1,1 \times 10^6$ ha, una cifra más cercana a la de los cambios registrados en CLC-Changes.

Las discrepancias en cuanto a las superficies quemadas identificadas en CLC-Changes y las afectadas

realmente por el fuego son mucho mayores. Una de las clases originales de la leyenda de CLC hace referencia a «áreas quemadas» (clase 3.3.4 en la Tabla 1). Los polígonos clasificados como quemados en CLC-2000 suman unas 67.000 ha. Es decir, las áreas expresamente dadas como quemadas en CLC-Changes no han llegado a un 3% de la superficie realmente afectada por incendios.

Tipos de cambios entre CLC-1990 y CLC-2000

Cruzando los seis tipos de cubierta descritos para la situación inicial (CLC-1990) frente a la final (CLC-2000) se obtiene la matriz de transición mostrada en

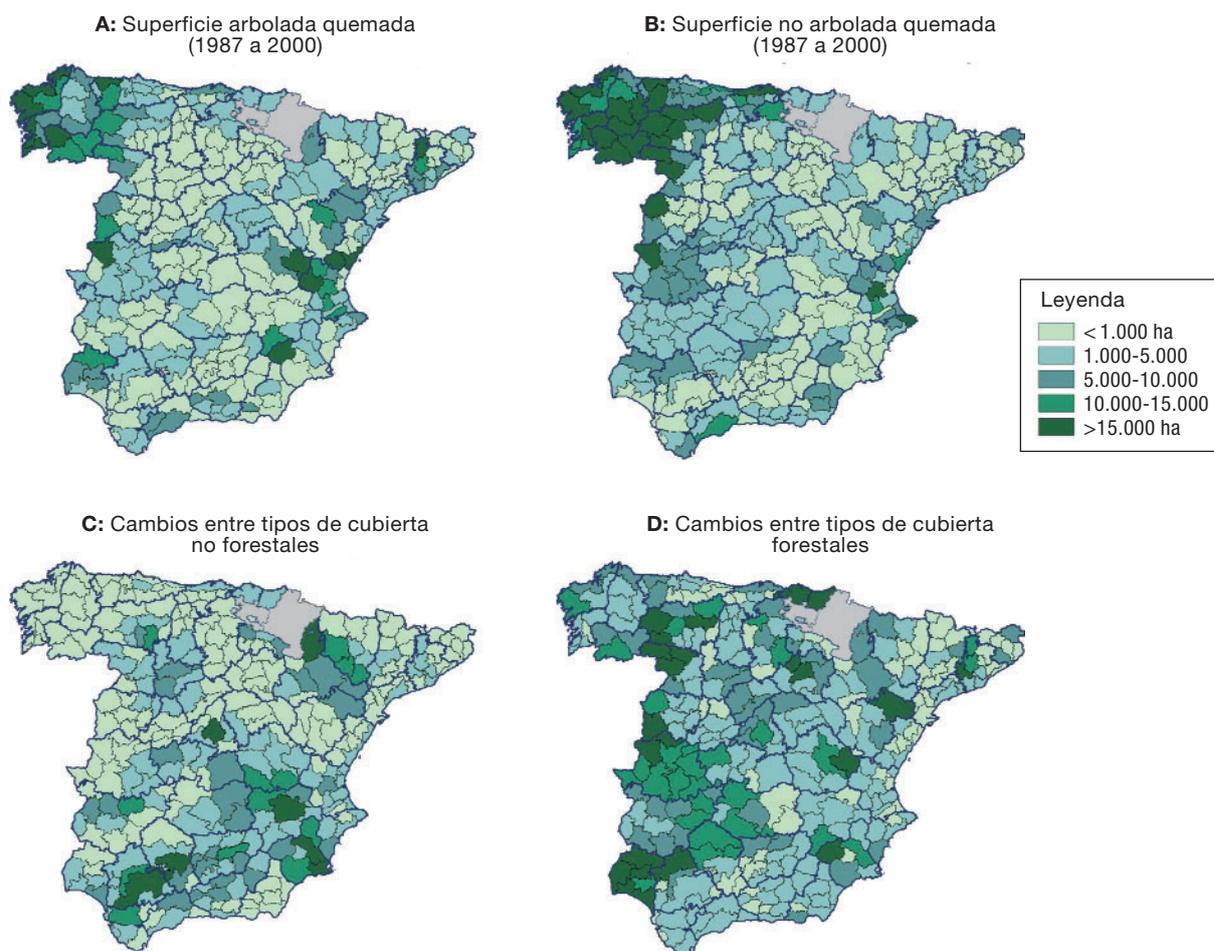


Figura 1. Superficie quemada arbolada (A) y no arbolada (B) en el periodo 1987-2000 por comarca agraria. Cambios identificados en CLC_Changes como Tipo 0 (entre clases no forestales o bien de forestal a no forestal) (C) y suma de los cambios de tipo 1 a 8 (entre clases forestales) representados también por comarcas agrarias y para un periodo de tiempo equivalente. En gris se muestran las provincias de Alava y Navarra.

la Tabla 2 con la suma de las áreas correspondientes a los polígonos que han cambiado su tipo de cubierta en este periodo. Los 36 cambios posibles se han agrupado en nueve tipos de cambio principales que se describen y cuantifican en la Tabla 3. El total de superficie para la que se han identificado cambios ha sido de $2,4 \times 10^6$ ha. Los cambios entre superficies «No forestales» (Tipo_0) han representado $0,8 \times 10^6$ ha, (34%) y se muestran en la Figura 1C. Por otra parte, los tipos de cambios 1 a 8, en los que se ha visto afectada superficie considerada como forestal en alguno de los dos años, han representado el 66% restante, es decir $1,6 \text{ ha} \times 10^6$ (Fig. 1D). Al clasificar estos tipos de cambio en función de su tendencia desde no forestal hacia superficies forestales arboladas, los cambios de tipo positivo han representado un 31%, los de tipo igual un 23% y los de tipo negativo un 46%. Los tamaños medios de los polígonos de cambio han sido mayores en los tipos 3, 8 y 7 que en los restantes (Tabla 3).

La Figura 2 muestra la importancia que han tenido cada uno de los tipos de cambio considerados en las distintas comarcas agrarias y se representan en proporción a la superficie forestal en la fecha inicial (CLC-1990). La Figura 2A muestra la suma de los cambios de Tipo 1 a 8 mientras que los restantes mapas (Fig. 2B a 2I) muestran cada uno de ellos por separado. De los ocho tipos de cambio en los que se ve implicada la superficie forestal, hay cuatro que han representado más de un 10% en cuanto a superficie afectada de acuerdo a la Tabla 3. Estos han sido los cambios de arbolado a desarbolado (Tipo_3) (Fig. 2D) con un 14%, los cambios de agro-forestal o forestal a no forestal (Tipo_6) (Fig. 2G) con un 11%, los cambios de desarbolado a arbolado (Tipo_7) (Fig. 2H) con un 15% y los cambios entre las cubiertas incluidas en el tipo desarbolado (Tipo_8) (Fig. 2I) con un 15%.

tada de acuerdo a la Tabla 3. Estos han sido los cambios de arbolado a desarbolado (Tipo_3) (Fig. 2D) con un 14%, los cambios de agro-forestal o forestal a no forestal (Tipo_6) (Fig. 2G) con un 11%, los cambios de desarbolado a arbolado (Tipo_7) (Fig. 2H) con un 15% y los cambios entre las cubiertas incluidas en el tipo desarbolado (Tipo_8) (Fig. 2I) con un 15%.

Correlaciones de rangos

Los resultados de las correlaciones de rangos (r_s : coeficiente de correlación de Spearman, $n = 299$) entre los tipos de cambio definidos, en términos relativos a las superficie de cada comarca, y la variables relativas a la incidencia del fuego se muestran en la Tabla 4. Los valores de r_s más altos y significativos se han mostrado entre los cambios de Tipo 3 (de arbolado a desarbolado) y la superficie arbolada quemada ($r_s = 0,56$). Para este mismo tipo de cambio (Tipo 3) se han obtenido valores de r_s superiores a 0,4 con las demás variables relativas a incendios. En segundo lugar, en cuanto a los valores de los coeficientes de correlación, se sitúa el tipo de cambio 8 (cambios entre superficies desarboladas) con valores de r_s también superiores a 0,4. Con valores de r_s entre 0,3 y 0,4 se encuentran el tipo de cambio 7 (de desarbolado a arbolado) y también el tipo de cambio 1 (de agro-forestal a forestal). En resumen, los incendios registrados

Tabla 3. Tipos de cambio establecidos a partir de los 36 posibles entre los 6 tipos de cubierta definidos para CLC-1990 y CLC-2000. La asignación de los 36 cambios posibles a los nueve tipos de cambio definidos se muestra en la Tabla 2. Para cada uno de los nueve tipos de cambio definidos se muestra el número de polígonos implicados, los porcentajes frente al total, la superficie afectada, los porcentajes referidos a la superficie total (1) y a la superficie forestal (2), el tamaño medio y la tendencia hacia superficie arboladas valorada como positiva, igual y negativa (+, = y -)

Tipos de cambios definidos		Cambios basados en CLC-Changes						
Tipo de cambio	Descripción	Número de polígonos	%	Superficie afectada (ha)	% (1)	% (2)	Tamaño medio (ha)	Tendencia
Tipo 0	Cambios entre «no forestales»	17.602	38	803.551	34	—	46	=
Tipo 1	De agro-forestal a forestal	824	2	38.708	2	2	47	+
Tipo 2	Cambios entre «arbolado»	365	1	10.532	0	1	29	=
Tipo 3	De arbolado a desarbolado	3.949	8	327.016	14	21	83	-
Tipo 4	De forestal a agro-forestal	2.650	6	129.015	5	8	49	-
Tipo 5	De no forestal a forestal	2.240	5	93.806	4	6	42	+
Tipo 6	De agro/forestal a no forestal	8.888	19	272.739	11	17	31	-
Tipo 7	De desarbolado a arbolado	5.401	12	368.003	15	23	68	+
Tipo 8	Cambios entre «desarbolado»	4.649	10	350.842	15	22	75	=
Total		46.568	100	2.394.211	100	100	51	

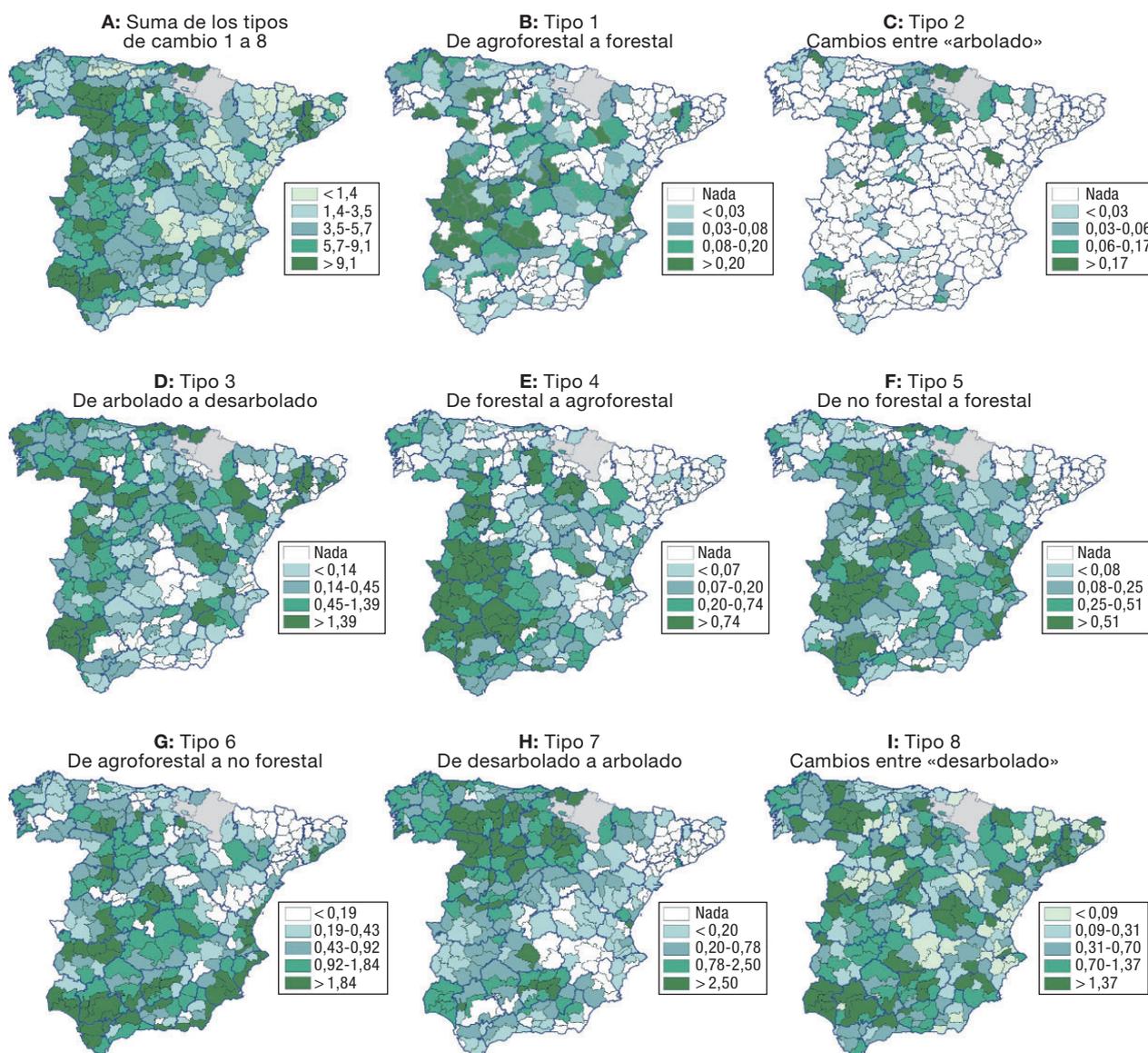


Figura 2. Tipos de cambio a partir de la reelaboración de CLC-Changes y expresados como una proporción de la superficie forestal (a partir de CLC-1990) de cada comarca agraria. A: Suma de todos los procesos con implicación de superficie forestal. B: Tipo 1: de agroforestal a forestal. C: Tipo 2: cambios entre superficie arboladas. D: Tipo 3: de arbolado a desarbolado. E: Tipo 4: de forestal a agroforestal. F: Tipo 5: de no forestal a forestal. G: Tipo 6: de agroforestal a no forestal. H: Tipo 7: de desarbolado a arbolado. I: Tipo 8: cambios entre superficies desarboladas.

a nivel de comarcas se han relacionado con los tipos de cambio siguiendo el patrón: Tipo_3 > Tipo_8 > Tipo_7 > Tipo_1. Los dos primeros (de arbolado a desarbolado y cambios entre superficies desarboladas) se relacionarían directamente con el efecto de los incendios forestales mientras que los dos restantes (de desarbolado a arbolado y de agroforestal a arbolado) implicaría que las comarcas más dinámicas en cuanto a los cambios en los paisajes son también las más afectadas por los incendios forestales. Los cambios de des-

arbolado a arbolado en este periodo se pueden interpretar también como el efecto de incendios anteriores a la fecha de la primera clasificación empleada. Las áreas expresamente dadas como quemadas en CLC-2000, a pesar de representar un porcentaje muy bajo, se han relacionado también significativamente con la incidencia del fuego (Tabla 4).

Habría que destacar que los valores de las correlaciones no se han visto afectados en gran medida al considerar los incendios registrados en periodos de tiem-

Tabla 4. Resultados de las correlaciones de rangos (rs de Spearman, n = 299 casos) entre los 9 tipos de cambio establecidos y la superficie quemada a partir de CLC-Changes y el número de incendios, la superficie forestal quemada, la superficie arbolada quemada y la superficie no arbolada quemada

Tipo de cambio (CLC-Changes)		Coeficientes de correlación de rangos			
Tipo de cambio	Descripción	Número de incendios	Superficie forestal quemada	Superficie arbolada quemada	Superficie no arbolada quemada
Tipo 0	Cambios entre «no forestales»	-0,15 *	-0,17 *	-0,12	-0,16 *
Tipo 1	De agro-forestal a forestal	0,29 **	0,34 **	0,30 **	0,36 **
Tipo 2	Cambios entre «arbolado»	0,27 **	0,17 *	0,16 *	0,19 **
Tipo 3	De arbolado a desarbolado	0,45 **	0,50 **	0,56 **	0,41 **
Tipo 4	De forestal a agro-forestal	0,10	0,16 *	0,08	0,24 **
Tipo 5	De no forestal a forestal	0,11	0,14	0,08	0,21 **
Tipo 6	De agro/forestal a no forestal	0,24 **	0,16 *	0,09	0,23 **
Tipo 7	De desarbolado a arbolado	0,37 **	0,31 **	0,21 **	0,40 **
Tipo 8	Cambios entre «desarbolado»	0,43 **	0,45 **	0,46 **	0,41 **
—	Áreas quemadas en CLC-2000	0,34 **	0,38 **	0,35 **	0,35 **

Significación estadística: * $p < 0,01$. ** $p < 0,001$. En negrita se señalan las correlaciones con valores iguales o superiores a 0.30.

po distintos. Se han realizado correlaciones para el periodo 1994-2000 y los resultados, en cuanto al patrón de correlaciones, son muy similares (datos no mostrados).

Correlaciones canónicas

Los mismos tres tipos de cambio (Tipo_3, Tipo_8 y Tipo_7) para los que se han obtenido correlaciones de rangos más altas son también los que aparecen resaltados en el diagrama de ordenación de la Figura 3. Los ejes canónicos mostrados 1 y 2 son una combinación lineal de las variables explicativas y han resultado significativos de acuerdo al test de MonteCarlo realizado pero absorben muy poca varianza: 5,5% y 2,5%. Los dos ejes libres, por el contrario, absorberían un 49,3% y 15,5% de la varianza de las variables de respuesta (los tipos de cambio). Estos valores bajos en la relación entre los dos conjuntos de datos (incidencia del fuego y tipos de cambio) están en consonancia con los valores moderados, aunque estadísticamente significativos, obtenidos en las correlaciones de rangos.

El número de incendios y la superficie total quemada han tenido un comportamiento muy similar y se relacionan con los dos ejes de ordenación (Fig. 3). El primer eje se asocia más a la superficie arbolada quemada mientras que la superficie desarbolada quemada se asocia más al segundo eje. En esta ordenación destacan por sus mayores correlaciones (longitud de los vectores) los tipos de cambio 3 y 8 (de arbolado a

desarbolado y cambios en superficie desarboladas) con la superficie arbolada y el tipo de cambio 7 (de desarbolado a arbolado) con la superficie no arbolada quemada. Los restantes tipos de cambio presentan vectores cortos (indicativos de correlaciones bajas) y no se muestran directamente correlacionados con la incidencia del fuego.

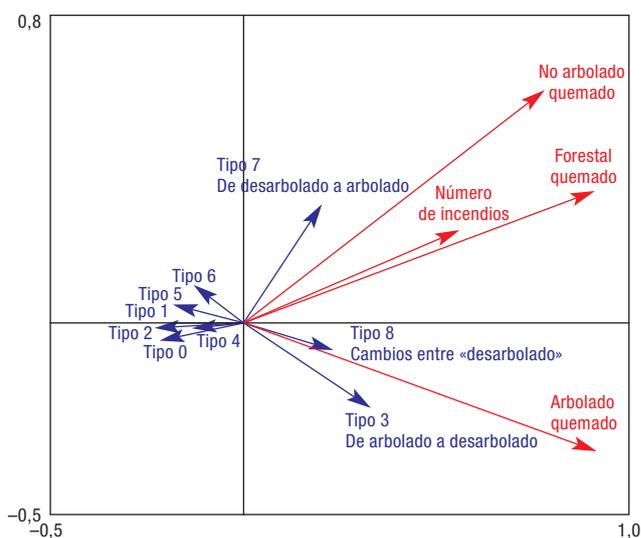


Figura 3. Biplot de correlaciones basado en un análisis de redundancia (RDA) entre variables relativas a la incidencia del fuego (variables explicativas; en rojo) y los tipos de cambio en la cubierta vegetal a partir de CLC-Changes (variables de respuesta; en azul). Cada vector señala la dirección de máxima variación en los valores de la variable y su longitud indica la fuerza de las correlaciones. Los vectores que apuntan en el mismo sentido están correlacionados entre sí.

Discusión y Conclusiones

En este trabajo los datos del CLC-Changes correspondientes a España peninsular se han reelaborado mediante la agrupación de los cambios en una serie de tipos principales para adecuarlos a nuestro objetivo. Hay que tener en cuenta que la base de datos original para España peninsular está integrada por unos 47.000 polígonos y que los tipos de cambio teóricos serían más de 2.000 si se consideran las 44 clases iniciales contenidas en la leyenda.

El procedimiento empleado y tanto los análisis de correlación como la aproximación multivariante efectuada han permitido validar la hipótesis inicial de que los paisajes forestales con más dinamismo, es decir con más cambios, son también los que han tenido una mayor incidencia del fuego. Además, de los tipos de cambio definidos, los más importantes por su magnitud (tipos 3, 8 y 7), han sido también los que más se han relacionado con la incidencia del fuego en los análisis efectuados. Así los incendios registrados han estado significativamente relacionados con los cambios de arbolado a desarbolado, los cambios entre superficies desarboladas y entre éstas y la superficie arbolada. Estos tres tipos de cambio (tipos 3, 8 y 7) han supuesto un 66% de la superficie forestal que ha cambiado y han dado lugar a polígonos de mayor tamaño que los demás tipos (Tabla 3). Por tanto, los incendios forestales se pueden considerar como una variable explicativa determinante de los cambios identificados en CLC-Changes. Estos resultados confirman la importancia que tienen los incendios en la configuración y la dinámica de numerosos paisajes españoles.

La superficie identificada como expresamente quemada en CLC-Changes ha representado únicamente un 3% de la superficie quemada a partir de los datos estadísticos oficiales. Este hecho pone de manifiesto que el efecto de los incendios en el paisaje es muy variable y que pasado un cierto tiempo las áreas quemadas no se distinguen fácilmente del resto del territorio (Díaz-Delgado y Pons, 2001). En esta primera actualización de las coberturas CLC el intervalo de tiempo ha sido de 14 años y dados los intervalos de recurrencia entre incendios registrados en diversas regiones peninsulares (Vázquez y Moreno, 2001; Díaz-Delgado *et al.*, 2004) en 14 años se puede haber producido más de un incendio en un mismo lugar. Además, la resiliencia de muchos sistemas forestales hace que el efecto del fuego en ellos pase desapercibido en unos po-

cos años, especialmente en incendios que afectan fundamentalmente al sotobosque. Otro elemento que contribuye a distorsionar el impacto de los incendios en el paisaje es el hecho de que éstos no se distribuyan al azar por todo el territorio sino que más bien tiendan a concentrarse en determinados lugares (Trabaud y Galtié, 1996; Vázquez y Moreno, 2001). Además, dada la mayor incidencia del fuego que se registra en España en territorios más productivos (Vázquez *et al.*, 2006) y que la productividad se relaciona con el tiempo de regeneración de la vegetación después del fuego, sería de esperar que la visibilidad de las áreas quemadas a partir de las imágenes de media resolución empleadas variase entre las distintas regiones, siendo menor en las más productivas.

Diversos trabajos recientes realizados en España han señalado mediante distintos procedimientos la importancia que los cambios en el paisaje pueden tener en el régimen de incendios. Los cambios en el uso del territorio relacionados con las modificaciones en las condiciones socio-económicas de las poblaciones rurales se han señalado repetidamente (p. ej., Rego, 1991; Moreno *et al.*, 1998) como una causa importante de los cambios en los patrones del paisaje. Estos cambios generalmente dan lugar a un incremento en la biomasa de la vegetación y a una mayor homogenización del paisaje (Alados *et al.*, 2004; Bielsa *et al.*, 2005; Perry *et al.*, 2004; Viedma *et al.*, 2005) que frecuentemente los hace más susceptibles a la propagación del fuego.

En este contexto, es importante mencionar el último informe de evaluación del IPCC (2007), en el que se destaca que los ecosistemas de tipo mediterráneo se encuentran entre los más vulnerables al cambio climático y sufrirán impactos muy severos. Esta sensibilidad viene dada en parte porque dos de los componentes del cambio global, el cambio climático y el cambio de usos, están mediados y amplificados por el papel que el fuego juega en los ecosistemas mediterráneos. Es importante destacar también que las predicciones climáticas no dibujan, en la cuenca mediterránea, un panorama demasiado optimista. La recurrencia de sequías más severas (mayores intervalos entre lluvias) y las condiciones más cálidas y áridas, fruto del aumento de temperaturas, pueden dar lugar a una mayor frecuencia de incendios y a una mayor relevancia de los grandes incendios y por tanto a mayores impactos en el paisaje forestal. Estas predicciones junto a los resultados de este trabajo señalan hacia el fuego como un elemento cada vez más determinante, y ya lo es hoy, de la dinámica de la ve-

getación lo que hace necesario su mayor integración en la planificación y gestión forestal.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a un contrato Ramón y Cajal (Ministerio de Educación y Ciencia) concedido al primer autor y financiado parcialmente con fondos FEDER. También queremos agradecer a la Agencia Ambiental Europea la posibilidad de emplear los datos CORINE, a la administración forestal española por proporcionar los datos de los incendios forestales, a los revisores anónimos de SRF que han contribuido a la mejora del trabajo y a «Sísifo» por su apoyo.

Referencias bibliográficas

- ALADOS C.L., PUEYO Y., BARRANTES O., ESCÓS J., GINER L., ROBLES A.B., 2004. Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem. *Landscape Ecology* 19(5), 543-559.
- AROZAMENA A., VILLA G., DEL BOSQUE I., PORCUNA A., 2004. CLC2000 in Spain. In: Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for environmental applications. 20-21 January 2004, Berlin, UBA texte 04/04. pp. 178-183.
- BAEZA M.J., DE LUIS M., RAVENTÓS J., ESCARRÉ A., 2002. Factors influencing fire behavior in shrublands of different stand age and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. *Journal of Environmental Management* 65, 199-208.
- BAKER W.L., 1992. Effects of settlement and fire suppression on landscape structure. *Ecology* 73(5), 1879-1887.
- BERNÁLDEZ F.G., 1981. *Ecología y Paisaje*. Ed Blume, Madrid.
- BIELSA I., PONS X., BUNCE B., 2005. Agricultural abandonment in the north eastern iberian peninsula: the use of basic landscape metrics to support planning. *Journal of Environmental Planning and Management* 48(1), 85-102.
- BOND W.J., KEELEY J.E., 2005. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20(7), 387-394.
- BOND W.J., VAN WILGEN B.W., 1996. *Fire and plants. Population and Community Biology Series 14*, Chapman & Hall. 263 pp.
- BOSSARD M., FERANEC J., OTAHEL J., 2000. CORINE land cover technical guide - Addendum 2000. Technical Report No. 40, EEA.
- BROOKS M.L., D'ANTONIO C.M., RICHARDSON D.M., GRACE J.B., KEELEY J.E., DITOMASO J.M., HOBBS R.J., PELLANT M., PYKE D., 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes. *BioScience* 54(7), 677-688.
- DAVIS F.W., BURROWS D.A., 1994. Spatial simulation of fire regime in Mediterranean-Climatic landscapes. En: *The role of fire in Mediterranean-type ecosystems* (Moreno J.M., Oechel, W.C., eds). *Ecological Studies* 107, Springer-Verlag, NY. pp. 117-139.
- DÍAZ-DELGADO R., PONS X., 2001. Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE of Spain) along the period 1975-1995. *Analysis of vegetation recovery after fire. Forest Ecology and Management* 147, 67-74.
- DÍAZ-DELGADO R., LLORET F., PONS X., 2004. Statistical analysis of fire frequency models for Catalonia (NE Spain, 1975-1998) based on fire scar maps from Landsat MSS data. *International Journal of Wildland Fire* 13, 89-99.
- ESRI, 2005. ArcGis 8.x. Redland, California.
- EUROPEAN COMMISSION, 2006. *Forest fires in Europe 2005*. Directorate General, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 22312 EN.
- FORMAN R.T.T., GODRON M., 1986. *Landscape ecology*. Wiley & Sons, New York.
- GARDNER R.H., MILNE B.T., TURNER M.G., O'NEILL R.V., 1987. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology* 1(1), 19-28.
- GREEN D.G., TRIDGELL A., GILL A.M., 1991. Interactive simulation of bushfires in heterogeneous fuels. *Mathematical and Computer Modelling* 13, 57-66.
- HEYMANN Y., STEENMANS C., CRISSILLE G., BOS-SARD M., 1994. CORINE Land Cover technical guide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 136 pp.
- 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.
- KLEESCHULTE S., BÜTTER G., 2004. Coordination and technical implementation of CLC2000. Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for environmental applications, 20-21 January 2004, Berlin, UBA texte 04/04, pp. 46-51.
- LE HOUEROU H.N., 1987. Vegetation wildfires in the mediterranean basin: evolution and trends. *Ecologia Mediterranea* 13(4), 13-23.
- PERRY G., MILLINGTON J., ROMERO-CALCERRADA R., 2004. Implications of landscape change for wildfire incidence and risk in the SPA Encinares del río Alberche y Cofio (Central Spain). *Geophysical Research Abstracts* 6.
- MORENO J.M., VÁZQUEZ A., VÉLEZ R., 1998. Recent history of forest fires in Spain. En: *Large forest fires* (Moreno J.M., ed). Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. pp. 159-185.
- MORITZ M.A., 1997. Analyzing extreme disturbance events: fire in Los Padres National Forest. *Ecological Applications* 7, 1252-1262.
- NATLAN, 2000. CORINE Land cover 250 m. European Environment Agency. <http://natlan.eea.europa.eu/dataservice>.
- NAVEH Z., LIEBERMAN A.S., 1984. *Landscape ecology: theory and applications*. Springer-Verlag, New York.

- NUNES DE LIMA M.V. (ed), 2005. IMAGE2000 and CLC2000 - Products and Methods. Ispra, European Commission, DG JRC, IES, LMU, EUR 21757 EN. 150 pp.
- PAUSAS J.G., LLORET F., VILÀ M., 2006. Simulating the effects of different disturbance regimes on Cortadeira seloana invasion. *Biological Conservation* 128, 128-135.
- PONS X., 2002. MiraMon. Geographic Information System and Remote Sensing software. CREA, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra. Barcelona.
- RAO C.R., 1984. The use and interpretation of principal components analysis and applied research. *Sankhya* 26, 329-358.
- REGO F.C., 1991. Land use changes and wildfires. En: Responses of forest ecosystems to environmental changes (Teller A., Mathy P., Jeffers J.N.R., eds). Elsevier Applied Science, Londres. pp. 367-373.
- TER BRAAK C.J.F., SMILAUER P., 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows. User's guide: software for canonical community ordination (v. 4.5), Microcomputer Power: Ithaca, NY. 500 pp.
- TER BRAAK C.J.F., 1994. Canonical community ordination. Part I: basic theory and linear methods. *Ecoscience* 1, 127-140.
- THOMSON A.G., MANCHESTER S. J., SWETNAM R.D., SMITH G.M., WADSWORTH R.A., PETIT S., GERARD F.F., The use of digital aerial photography and CORINE-derived methodology for monitoring recent and historic changes in land cover near UK Natura 2000 sites for the BIOPRESS project. *Int J of Remote Sensing* 28(23), 5397-5426.
- TRABAUD L., GALTÍÉ J.F., 1996. Effects of fire frequency on plant communities and landscape pattern in the Massif des Aspres (southern France). *Landscape Ecology* 11(4), 215-224.
- TRABAUD L., 1981. Man and fire: Impact on Mediterranean vegetation. En: Mediterranean-type shrublands (Di Castri F., Goodall D.W., Specht R.L., eds). *Ecosystems of the World* 11, Elsevier, Amsterdam. pp. 523-537.
- TURNER M.G., 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematic* 20, 171-197.
- TURNER M.G., GARDNER R.H., DALE V.H., O'NEILL R.V., 1989. Predicting the spread of disturbance across heterogeneous landscapes. *Oikos* 55, 121-129.
- VÁZQUEZ A., GARCÍA DEL BARRIO J.M., ORTEGA, M., SÁNCHEZ-PALOMARES O., 2006. Recent fire regime in peninsular Spain in relation to forest potential productivity and population density. *International Journal of Wildland Fire* 15, 397-405.
- VÁZQUEZ A., 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., 1996. Régimen de incendios en España peninsular 1974-94: relaciones con la climatología y el paisaje. Tesis doctoral, Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid.
- VIEDMA O., MORENO J.M., RIEIRO I., 2006. Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos (Central Spain). *Environmental Conservation* 33(3), 212-222.
- ZEDLER P.H., GAUTIER C.R., MCMASTER G.S., 1983. Vegetation change in response to extreme events: the effect of a short interval between fires in California chaparral and coastal scrub. *Ecology* 64(4), 809-818.