

MEJORANDO LA CALIDAD DE LA VALORACIÓN DEL RIESGO LOCAL DE INCENDIO: APLICACIÓN AL FUTURO PARQUE NACIONAL DE LA SIERRA DE GUADARRAMA

Pablo Tejedo Sanz
IE Universidad, Segovia
pablo.tejedo@ie.edu

Resumen

Se presenta una revisión de la metodología del Ministerio de Medio Ambiente (Gobierno de España) destinada a calcular el Riesgo Local de Incendio. La principal mejora es que se considera la combustibilidad de la vegetación para cada tesela del mapa forestal y no para cada término municipal, incrementando sustancialmente la precisión espacial del índice. También se ha introducido un coeficiente de riesgo basado en la inflamabilidad de las especies y de las estructuras de vegetación dominantes en el paisaje. Para comprobar la eficacia del nuevo índice creado se ha aplicado en el área castellano-leonesa del futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, obteniendo un mapa mucho más preciso de las zonas forestales con mayor vulnerabilidad a sufrir un incendio. Esta información es de gran interés para valorar si la organización geográfica de los medios de vigilancia y extinción de incendios forestales es adecuada para una protección eficaz del territorio frente al fuego.

Palabras clave: *Incendio forestal, Índices de peligro de incendio, Modelos de combustible.*

Summary

We present a revision for the methodology about local fire risk proposed by the Ministry of Environmental (Spanish Government). The main advantage of this procedure is to considerer the combustibility for each tile from forest map, not by municipal area. This change substantially improves the spatial precision of the index. We have introduced a risk coefficient based on species and vegetation structures inflammability too. To put the new index to test, it was applied to a part of the future Guadarrama Mountains National Park. Introduced improvements allow getting a much more precise map with the forest areas with more vulnerability against fire. This knowledge is very interesting to assess if geographic organization of extinguishing means in a territory is adequate to get an effective protection against fire.

Key Words: *Forest fire, Local fire risk, Fire danger rating indexes, Fuel models.*

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un elemento inherente a los paisajes mediterráneos. Los ecosistemas de esta región biogeográfica suelen presentar una abundante carga de combustible, un periodo seco y una humedad ambiental intermedia, por lo que tienden a sufrir de forma recurrente incendios de intensidad variable. Esta predisposición natural se ha visto incrementada en los últimos años provocando un incremento de los grandes fuegos forestales, los cuales conllevan cambios drásticos en los ecosistemas que en ocasiones se aproximan a la irreversibilidad (Vélez, 2003). Existen tres factores principales que explican este aumento de la extensión, magnitud, frecuencia e intensidad de los incendios forestales en las últimas décadas. El primero de estos elementos es el cambio de los usos del suelo que se ha producido en los países de la Europa mediterránea durante el siglo XX como consecuencia de los movimientos migratorios desde las zonas rurales a las grandes ciudades. Este desplazamiento masivo de población ha tenido como resultado un retroceso del sector agrícola, una creciente despoblación de las zonas rurales, un abandono paulatino del uso del monte, la disminución del pastoreo y la desaparición de grandes superficies de cultivo (Paniagua, 1992). Estos cambios sociales han generado en los paisajes del sur de Europa un paisaje compuesto de comunidades vegetales de tempranas etapas de sucesión, con una gran cantidad y continuidad de combustible, lo cual incrementa la probabilidad de que se produzcan grandes incendios con consecuencias catastróficas. El segundo factor que ha contribuido a que aumente el número de incendios es el crecimiento poblacional registrado en el último cuarto del siglo XX, especialmente en la zona de interfase urbano-forestal. Bajo este escenario de proliferación del turismo y de las residencias en zonas rurales de población de origen urbano, la probabilidad de inicio de incendios forestales se dispara. A estos cambios en el tejido socioeconómico y en los usos del suelo se sumaría un tercer factor, el cambio climático. En la cuenca mediterránea se ha observado en los últimos años una tendencia al incremento de las condiciones de sequía estival (Maheras, 1988; Amanatidis *et al.*, 1993; Piñol *et al.*, 1998; Lebourgeois *et al.*, 2001; Pausas, 2004a), lo cual favorece la ocurrencia de incendios. Otros estudios señalan en la misma dirección: el análisis de los datos climáticos en el este ibérico entre 1910 y 2000 muestra un incremento de la temperatura estival y anual, así como de la evapotranspiración potencial (Piñol *et al.*, 1998; Pausas, 2004a). De los tres factores mencionados, los cambios en el uso del suelo es el que más ha contribuido en el

aumento de grandes incendios que se registraron durante el final del siglo XX (Pausas, 2004b).

Para dimensionar la importancia de la ecología del fuego en nuestro país basta revisar las estadísticas sobre el número de incendios forestales y las superficies recorridas anualmente por el fuego (Fig. 1). Este fenómeno da lugar cada año a graves pérdidas ecológicas y económicas (Fig. 2), por lo que las diferentes administraciones que poseen las competencias en esta materia han de realizar grandes inversiones en diferentes programas destinados a la prevención, detección y extinción de los incendios forestales, así como a la recuperación de las superficies afectadas. Si consultamos las pérdidas económicas causadas por los incendios de 2006 en el sector forestal, comprobamos que se estiman en más de 318 millones de euros (DGCN, 2006), aunque las pérdidas reales serían incluso mayores ya que la valoración económica de pérdidas no ha sido realizada en varias provincias ni en la totalidad de los incendios considerados. De las pérdidas computadas, el 39,17 % corresponde a los costes de reposición de masas arboladas jóvenes, el 57,55 % al valor de productos madereros en masas con aprovechamiento comercial, el 0,22 % al aprovechamiento de otros productos forestales tales como corcho, frutos y

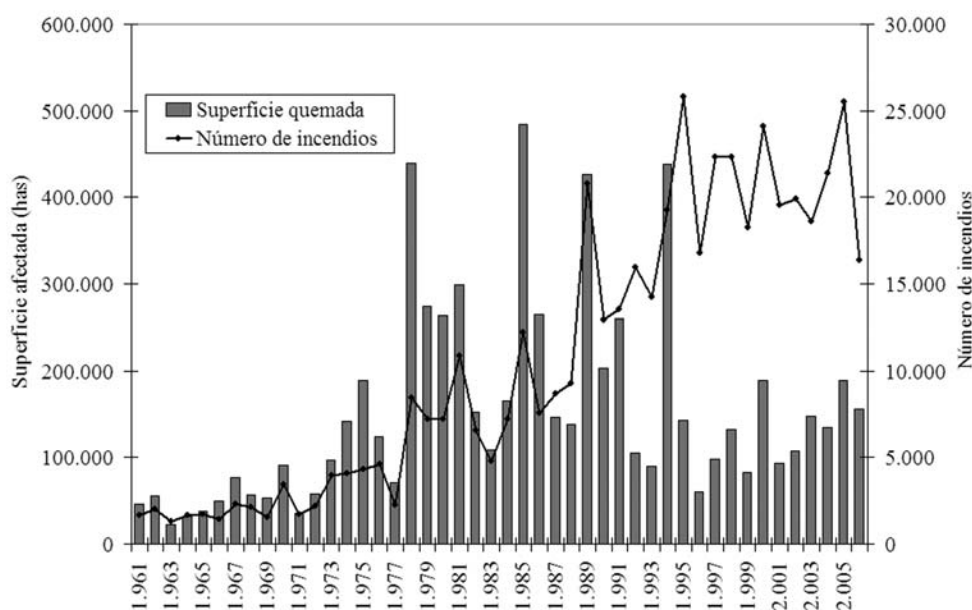


Figura 1. Número de incendios y superficie forestal quemada en España (1961-2006). El incremento del número de incendios en los últimos años se debe a una mejora de la recogida y calidad de los datos de incendios sumado a un aumento de la eficacia de la detección y extinción temprana (Martínez y Martín, 2004). En la actualidad prácticamente todos los incendios son recogidos en la estadística oficial, mientras que hasta finales de la década de los 80 y principios de los 90 algunos conatos e incluso incendios en montes privados escapaban a la contabilidad administrativa (DGCN, 2002). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

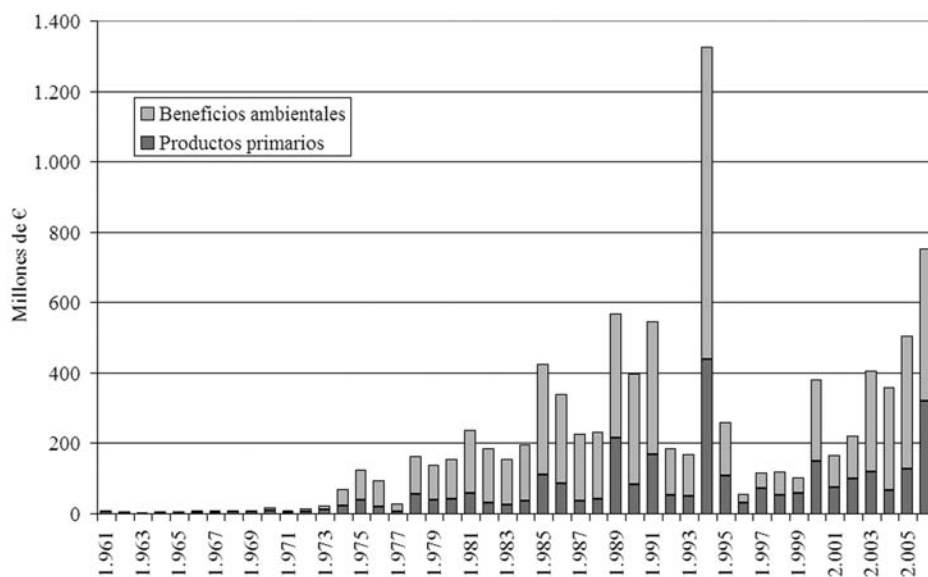


Figura 2. Pérdidas económicas debidas a los incendios forestales en España (1961-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

setas, pastos y caza, el 0,04 % a otras pérdidas y el 3,02 % a gastos extraordinarios de extinción de las distintas administraciones. A estas pérdidas económicas directas hay que sumar los costes ambientales derivados de los beneficios indirectos no percibidos por la sociedad como consecuencia de los incendios, los cuales fueron estimados para este mismo año en 433,78 millones de euros por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (Tabla 1).

La lucha contra los incendios forestales es una labor compleja que incluye diferentes instrumentos y etapas. Entre las herramientas más habituales de la fase de prevención encontramos los *Índices de Riesgo de Incendios*, los cuales tratan de predecir la ocurrencia de los fuegos con un margen aceptable de probabilidad, por lo que suelen estar basados en inferencias estadísticas (Salas y Cocero, 2004). La información generada en base a estos índices ayuda a los planificadores y gestores a establecer las épocas y zonas de peligro, así como a organizar los sistemas de defensa destinados a su extinción (Vélez, 2003). La mayoría de estos índices se basan en el estudio de las condiciones en las que se inicia el fuego, los factores que favorecen su propagación y, por último, los daños que produce el incendio sobre el medio (Fig. 3). Estimar y cartografiar el riesgo de incendio supone identificar, localizar y caracterizar espacialmente estos tres componentes. El análisis de la ignición se centra en las condiciones de aparición del fuego. Teóricamente, un fuego puede iniciarse en cualquier punto del espacio en el que se tenga material combustible, aunque sólo tendrá lugar si un agente causante lo provoca, ya sea de forma

Impacto	Núm. incendios	%
Superficie arbolada quemada autoregenerable		
Del 60 al 100%	14.939	91,46
Del 30 al 59%	1.032	6,32
Menos del 30%	363	2,22
Efecto en la vida silvestre		
Inapreciable	12.513	76,61
Pasajero	3.673	22,49
Permanente	148	0,91
Riesgo de erosión		
Bajo	13.165	80,60
Moderado	2.739	16,77
Alto	430	2,63
Alteración del paisaje y valores recreativos		
Inapreciable	12.908	79,03
Pasajero	3.344	20,47
Permanente	82	0,50
Efecto en la economía local		
Inapreciable	15.285	93,58
Pasajero	1.007	6,17
Permanente	42	0,26
Impacto global		
0	10.637	65,12
1	1.920	11,75
2	1.497	9,16
3	1.095	6,70
4	613	3,75
5	358	2,19
6	121	0,74
7	39	0,24
8	16	0,10
9	23	0,14
10	15	0,09
TOTAL	16.334	

Tabla 1. Impactos ambientales de los incendios forestales en el año 2006. La superficie forestal afectada en 2006 en España ascendió a 155.362 has, un 0,57% de las 27.459.478 has forestales identificadas en el Tercer Inventario Nacional Forestal. Fuentes: Anuarios estadísticos de la DGCN y elaboración propia.

natural (por rayos o erupciones volcánicas) o artificial (por el ser humano, directa o indirectamente). Por lo tanto, el riesgo de ignición hace referencia exclusivamente a la probabilidad de ocurrencia del incendio, estimada a partir del análisis de los factores causantes y de la disponibilidad e inflamabilidad de los combustibles. Aunque en la cuenca mediterránea la ocurrencia de incendios está estrechamente ligada a la actividad humana, ya sea por la ocurrencia de negligencias o por un ori-

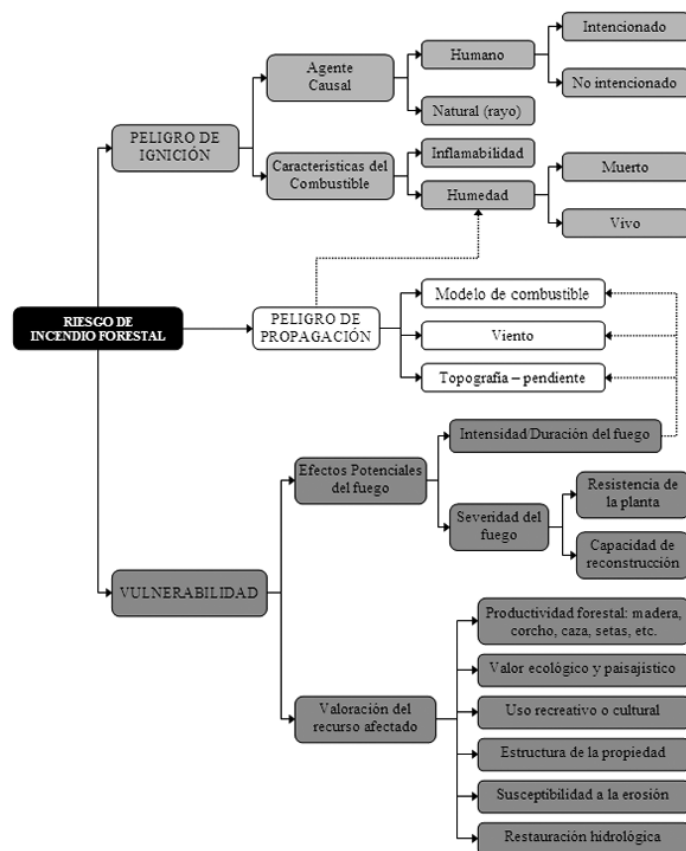


Figura 3. Esquema conceptual de las variables que intervienen en el estudio del Riesgo de incendios forestales. Fuentes: Chuvieco y Martín (2004) y elaboración propia.

gen intencionado (Aguado y Camia, 1998), es adecuado estudiar ciertos factores físicos que intervienen en el fenómeno del fuego tales como los patrones meteorológicos o el estado hídrico de los combustibles. La razón por la que no podemos prescindir de estas variables es que la incidencia y severidad de los incendios es significativamente mayor cuando estas variables naturales son críticas. El análisis de la propagación se centra en el estudio del comportamiento del fuego, es decir, en la estimación de su recorrido y de sus características (velocidad, intensidad, áreas afectadas,...). Este componente del riesgo de incendios ha sido la más analizada, contándose en la actualidad con múltiples modelos de simulación que se sustentan principalmente en las características del combustible (cantidad, estructura), las condiciones meteorológicas (patrones de viento) y la topografía. Los modelos más avanzados permiten incluir en la simulación los efectos de la intervención de los medios de extinción, ya que estos modifican la propagación natural del incendio. Por último, se ha de inventariar y analizar los recursos ecológicos, económicos y sociales del territorio con objeto de evaluar los posibles daños deriva-

dos de la aparición de un incendio, es decir, la vulnerabilidad de un área frente a los fuegos forestales.

Esta investigación se centra en el peligro de que se produzca una ignición, es decir, en el primero de los componentes del Riesgo de Incendio. Como contexto metodológico se utiliza el modelo propuesto por la DGCN para el cálculo del *Grado Actual de Peligro de Incendios Forestales* (Fig. 4). Este modelo se basa en dos conceptos: el Grado Meteorológico de Peligro (componente dinámico) y el Riesgo Local de Incendios (componente estructural semi-estático). El primero es calculado por el Instituto Nacional de Meteorología a partir de variables meteorológicas (humedad relativa, temperatura y viento) y topográficas (pendiente y orientación), mientras que el segundo tienen en cuenta la frecuencia y causalidad de los incendios ocurridos en los últimos años y la combustibilidad de la vegetación. Se trata de una propuesta teórica de índice sintético, ya que el segundo componente nunca ha estado operativo desde su diseño. A pesar de que el Índice Meteorológico de Peligro sí que es utilizado con asiduidad por diferentes instituciones y centros de investigación relacionados con el seguimiento de los incendios forestales, es necesario señalar que la correlación de los resultados de este y otros índices de peligro climáticos y la ocurrencia de los incendios no es buena, sobre todo cuando se analizan grandes territorios o se comparan distintas zonas geográficas (aunque sí que parecen funcionar bien cuando se hacen comparaciones a lo largo del tiempo). En España pues, la relación entre los valores medios de los índices de peligro meteorológico y la ocurrencia de incendios o el área quemada muestra que es enormemente variable, sin posibilidad de inferir unos de otros (Moreno, 2007; Vázquez *et al.*, 2002). Esto se debe a que la mayoría de los incendios en nuestro país son provocados, por lo que su temporalidad depende fuertemente de los objetivos de los incendiarios y no tanto de las condiciones climáticas imperantes. Por consiguien-

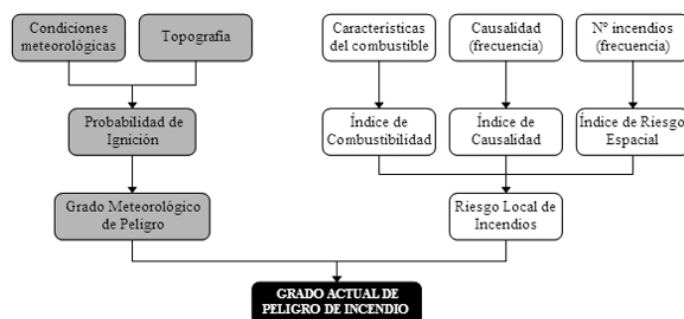


Figura 4. Esquema del Grado Actual de Peligro de Incendios Forestales (DGCN). En el Riesgo Espacial no se ha considerado el coeficiente temporal, ya que en la bibliografía consultada no aparece el modo de integración. Fuentes: DGCN y elaboración propia.

te, no suele resultar adecuado inferir número de incendios o superficie quemada en base a valores de peligro o condiciones climáticas (Moreno, 2005), salvo en aquellos casos en los que se han tenido en cuenta también las condiciones socioeconómicas, paisajísticas y de usos del suelo del territorio considerado (Vázquez y Moreno, 1993; Piñol *et al.*, 1998; Pausas, 2004b).

La zona de estudio seleccionada para aplicar el Riesgo Local de Incendios es la vertiente castellano leonesa del futuro Parque Nacional de Guadarrama (Fig. 5). No se ha incluido en la investigación el territorio del Parque Nacional perteneciente a la Comunidad Autónoma de Madrid debido a que la administración competente en la actualidad en esta zona en materia de prevención y lucha contra los incendios forestales es distinta. Por otro lado, hay que considerar que en esta zona ya se han aplicado con éxito otros sistemas de gestión integral de incendios forestales, como es el caso del E-FIS (Caballero *et al.*, 2001). Debido al alto valor ecológico del territorio escogido, es prioritario optimizar y ampliar el índice de riesgo potencial de incendio forestal que se le aplica en la actualidad (Fig. 6-c), el cual ha sido elaborado por la Dirección General del Medio Natural de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León siguiendo la metodología propuesta en el “Plan de Protección Civil ante Emergencias por Incendios Forestales (INFOCAL)” (Junta de Castilla y León, 1999). Dicha metodología consiste en la categorización de los términos municipales del territorio castellano leonés en base a su orografía, climatología, superficie, características de la masa forestal (se diferencia entre masa vegetal arbolada y des-

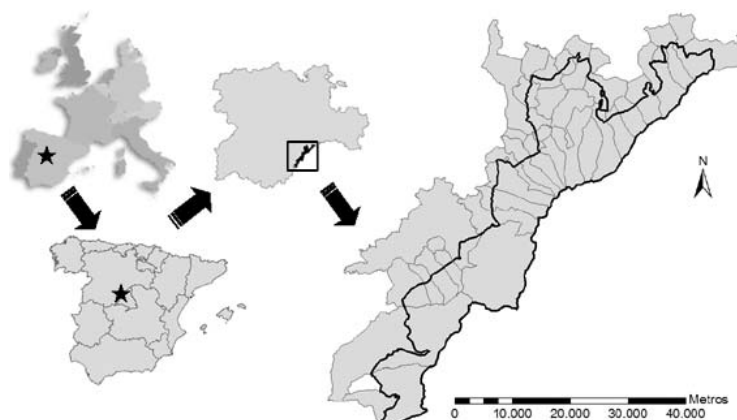


Figura 5. Localización de la zona de estudio. Para la aplicación de la metodología propuesta se ha escogido la vertiente castellano-leonesa del futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. En el mapa de referencia se incluyen los términos municipales del área de influencia, tanto los directamente afectados por el Parque Nacional como los limítrofes. La línea marca los límites administrativos del área protegida, 83.762 hectáreas en total considerando el Parque Nacional y la zona periférica de protección. Fuente: elaboración propia.

arbolada) y, fundamentalmente, al número de los incendios ocurridos en los últimos años. Su cálculo se realiza a partir del sumatorio de los valores obtenidos para dos subíndices: el Índice de Riesgo Local (Fig. 6-a) y el Índice de Vulnerabilidad (Fig. 6-b). El primero considera los promedios del número de incendios en un término municipal determinado (Índice de Frecuencia), la tipología más frecuente de causas de incendios forestales en la zona (Índice de Causalidad) y la superficie cubierta por cada tipo de combustible, así como con su mayor o menor probabilidad de ignición, combustión y propagación (Índice de peligrosidad derivada del combustible vegetal). El segundo índice contempla la distribución de la población en el territorio, los valores ecológicos y paisajísticos de cada municipio, su actividad económica, sus bienes patrimoniales y su sensibilidad frente a la erosión del suelo. Dichos índices, de gran utilidad para la organización plurianual de los medios de extinción a escala comunitaria, adolecen de importantes limitaciones a la hora de aplicarlos a una escala infraprovincial, por lo que es necesario proponer un nuevo modelo de predicción mejor adaptado a las características locales de las

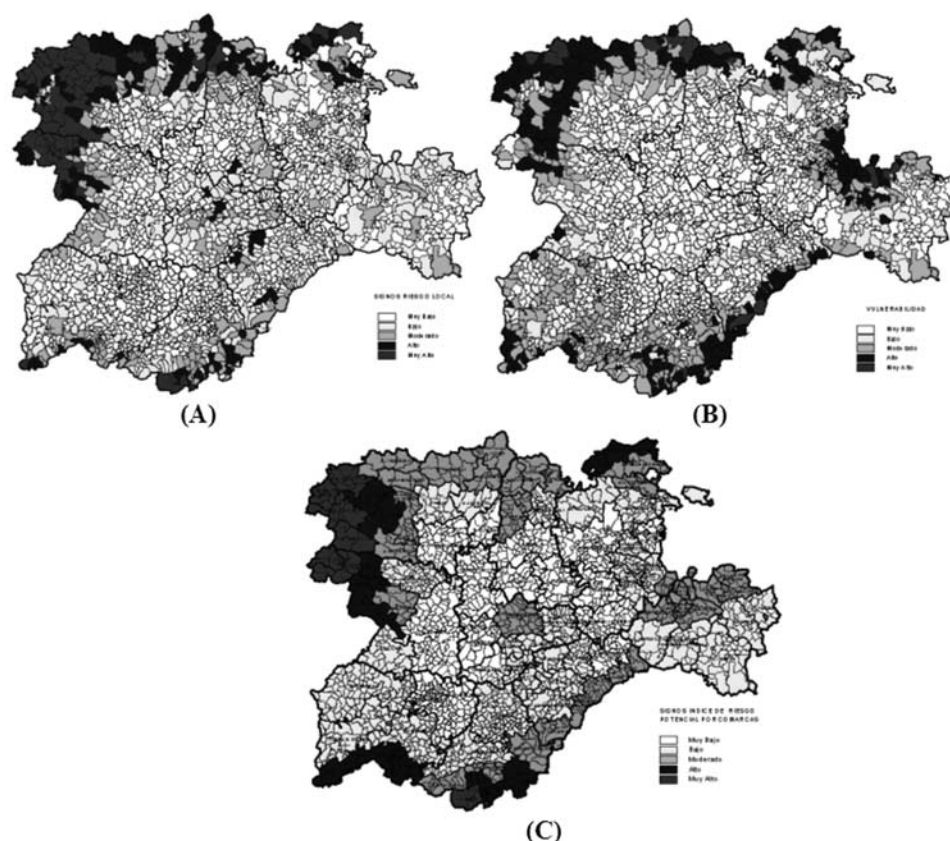


Figura 6. Índice de Riesgo Local (A), Vulnerabilidad (B) y Riesgo Potencial por comarcas (C) para Castilla y León (período 1988-2003). Fuente: Servicio de Defensa del Medio Natural de la Junta de Castilla y León.

comunidades vegetales y los municipios afectados por el futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

MATERIALES Y MÉTODOS

La aplicación del Riesgo Local de Incendios Forestales en el área de estudio seleccionada implica necesariamente su adaptación. No olvidemos que dicho índice fue originalmente diseñado para ser obtenido en base a las cuadrículas de 100 Km² del Mapa Militar de España a escala 1:250.000, por lo que se trata de un indicador grosero al ser aplicado a una escala como la que nos ocupa. Se consigue así tanto maximizar su adecuación a las características propias de este territorio, como salvar ciertas limitaciones referidas a la información de partida disponible. A continuación se describe la metodología aplicada para el cálculo de cada uno de los tres componentes de este índice: el Riesgo Espacial (Frecuencia), el Índice de Causalidad y el Índice de Combustibilidad. El primero se define como la frecuencia media anual de incendios en un lugar determinado. Los resultados del índice se escalan en 6 intervalos, desde riesgo muy bajo (valores < 1) a extremo (valores > 10). Para su determinación se ha recurrido a la Base de Datos Nacional de Incendios Forestales (EGIF) de la Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente, la cual se obtiene a partir de los Partes de Incendio

País	Nº medio anual	Superficie quemada media por incendio	Superficie quemada media anual	Índice de Riesgo ²	Índice de Gravedad ³
España	20.887	5,9	123.460	7,69	0,45
Francia¹	5.132	4,8	24.612	17,51	0,83
Grecia	1.811	20,3	36.836	2,57	0,54
Italia	8.453	9,4	79.482	10,43	0,98
Portugal	28.368	5,8	163.222	95,87	5,51

1: Sólo la Región Mediterránea y Las Landas.
 2: Número de incendios (media anual) por cada 10.000 hectáreas de superficie forestal.
 3: Porcentaje de Superficie forestal quemada (media anual) en relación a la superficie forestal total

Tabla 2. España en el contexto europeo de la región mediterránea (1996-2005). En la Europa Mediterránea tan solo Portugal aventaja a España en lo relativo al número de incendios medio y a la superficie quemada media. Para el Índice de Riesgo, nuestro país ocupa el segundo lugar menos desfavorable en el decenio considerado de los cinco países europeos incluidos en la tabla debido a la gran extensión forestal que posee. Por otro lado, presenta el mejor resultado para el Índice de Gravedad, lo que indica que la pérdida relativa de recurso forestal es menor que en el caso de los otros cuatro países. Fuentes: Anuarios estadísticos de la DGCN y elaboración propia.

Forestal que se generan después de cada incendio desde 1961. Este parte es un formulario con más de 150 campos de datos bajo los siguientes epígrafes: localización del incendio; tiempos de inicio, llegada de medios y extinción del fuego; procedimiento de detección; causa del incendio; condiciones meteorológicas del incendio; tipo de fuego; medios terrestres y aéreos que han intervenido; tipo de ataque del fuego; víctimas; superficies afectadas; impactos ambientales; espacios naturales protegidos afectados; especies arbóreas afectadas según propiedad; y valoración de pérdidas en productos forestales. Las Comunidades Autónomas deben remitir al Ministerio de Medio Ambiente la base de datos de cada año dentro del primer trimestre del año siguiente. Una vez recibidas las bases de datos autonómicas son integradas en la EGIF y se elabora una publicación anual con las cifras definitivas del año. En este caso se ha considerado conveniente utilizar un período de tiempo de 20 años (1987-2006), lo cual permite obtener tendencias sólidas. Inicialmente, se propuso georreferenciar cada incendio y establecer un buffer de proximidad para identificar aquellos puntos del territorio donde los incendios fueran recurrentes, pero finalmente esto no fue posible debido a que las coordenadas UTM no comenzaron a ser registradas de forma más o menos sistemática en los partes de incendio hasta 2002. Esta limitación nos ha obligado a seguir utilizando los términos municipales como unidad territorial de análisis en este componente del índice de Riesgo Local de Incendios.

El Índice de Causalidad refleja la peligrosidad intrínseca que puede atribuirse a cada causa y la frecuencia con la que éstas se presentan. Se obtiene de la frecuencia de incendios para cada una de las causas presentes en el lugar, ponderada según la peligrosidad específica. Los coeficientes de peligrosidad se establecen en función de la eficacia para incendiar de cada una de las posibles causas: los incendios intencionados presentan un 100% de eficacia (producen un incendio cada vez que actúan), las negligencias un 50%, los incendios de origen desconocido un 75% (se considera que la mayoría son provocados, aunque no se haya podido determinar la causa), y los accidentes y rayos un 10% (adaptado de Vélez, 2003). Los resultados del índice, comprendidos entre 0 y 10, se escalan en 5 intervalos, desde peligrosidad muy baja (valores < 1) a grave (valores > 7). De nuevo la Base de Datos Nacional de Incendios Forestales ha sido la fuente utilizada para la obtención de este índice para cada uno de los municipios del área de estudio.

Para completar el Riesgo Local de Incendios faltaría estimar el Índice de Combustibilidad, el cual se define como la presencia ponderada de las distintas formaciones vegetales teniendo en cuenta las características de continuidad y acu-

mulación de los combustibles vegetales, al margen de las especies que las constituyan (Andrews y Queen, 2001). El conocimiento de los combustibles es muy importante para diferentes fases de los sistemas de defensa contra el fuego. En la prevención se usan para la obtención de índices de peligro de incendio, la limpieza de combustibles y la realización de fuegos prescritos. Son la base de los programas informáticos que modelizan el comportamiento del fuego, tales como el BEHAVE (Burgan y Rothermel, 1984), FARSITE (Finney y Andrews, 1994), el canadiense Fire Behaviour Prediction (Hirsch, 1996), el australiano SiroFire, el español CARDIN (Caballero *et al.*, 1994) o el FIRE! (Campbell *et al.*, 1995). Esta información también es útil para la detección temprana de incendios, ya que la presencia de carburante implica la posibilidad de inicio de un incendio. Por último, la distribución espacial de los modelos de combustible determina la localización de los retenes y de la maquinaria de extinción, así como el diseño de estrategias de ataque al fuego. La DGCN utiliza 13 modelos de combustible adaptados a partir de los modelos establecidos en el NFDRS (*National Fire Danger Rating System*) del Departamento de Agricultura del Servicio Forestal de los Estados Unidos (Tablas 3 y 4). La clasificación original describía formas estructurales de vegetación representativas de zonas templadas del planeta, por lo que tuvo que ser adaptada para aplicarla a los ecosistemas ibéricos. La base del sistema es la definición del principal elemento propagador del fuego, el cual puede ser el pasto (modelos 1 a 3), el matorral (modelos 4 a 7), la hojarasca bajo arbolado (modelos 8 a 10) o el residuo de los trabajos silvícolas (modelos 11 a 13). Los coeficientes de riesgo establecidos por la DGCN para cada modelo son (Vélez, 2003): herbáceas 10, matorrales 10, restos bajo arbolado 5 y restos leñosos 1. Los resultados del índice, comprendidos entre 1 y 10, se escalarían en cuatro intervalos, desde riesgo bajo (valores < 2) a extremo (valores > 7). Los coeficientes de riesgo establecidos por la DGCN para cada tipo combustible son ciertamente limitados, ya que el riesgo asignado a cada modelo no permite, por ejemplo, discriminar entre diferentes especies con mayor o menor pirofilia. Por ello en nuestro caso este índice ha sido sustituido por otro de elaboración propia basado en una segunda variable: la inflamabilidad. Este parámetro se define como el tiempo transcurrido hasta que una cierta cantidad de muestra vegetal emite gases inflamables bajo la acción de un foco de calor constante (Valette, 1988). A cada una de las 23.688 teselas incluidas en la zona de estudio se le ha asignado un valor de inflamabilidad creciente en una escala de 0 a 10 considerando el tipo estructural definido en el mapa forestal (Tabla 5). En aquellas teselas en las que el tipo estructural era cualquier tipo de bosque se ha consi-

Modelo y descripción	Carga de combustible (t/ha)					Altura del combustible (m)	Calor de combustión (Kcal/kg)	Humedad de extinción (%)
	1h	10h	100h	Vivo	Total			
PASTOS								
1 Pastizal bajo	1,6	-	-	-	1,6	0,32	4.500	12
2 Arbolado abierto con pastiz. y matorral disp.	4,5	2,2	1,1	1,1	8,9	0,32	4.500	15
3 Pastizal alto	6,7	-	-	-	6,7	0,5	4.900	25
MATORRAL								
4 Mat. alto y continuo (2 m)	11,2	9,0	4,5	11,2	35,9	1,83	5.200	20
5 Mat. verde (0,6 m)	2,2	1,1	-	4,5	7,8	0,61	5.200	20
6 Mat. más inflamable	3,4	5,6	4,5	-	13,5	0,76	4.900	25
7 Arbolado con sotobosque	2,5	4,2	3,4	0,83	10,9	0,76	5.000	40
HOJARASCA								
8 Hojarasca compacta bosque cerrado	3,4	2,2	5,6	-	11,2	0,06	4.500	30
9 Hojarasca no compacta	6,5	0,9	0,3	-	7,7	0,06	4.500	25
10 Arbolado (comb. muerto y regeneración)	6,7	4,5	11,2	4,5	26,9	0,30	4.500	25
RESTOS DE CORTA								
11 Restos ligeros	3,4	10,1	12,3	-	25,8	0,30	4.500	15
12 Restos medios	9,0	31,4	37,0	-	77,4	0,70	4.500	20
13 Restos pesados	15,7	51,6	62,8	-	120,1	0,91	4.500	25

Tabla 3. Descripción de los modelos de combustible. Se indican sus parámetros de carga de combustible, espesor del estrato combustible, calor de combustión y humedad de extinción de los combustibles muertos. La carga de combustible de la materia muerta se divide en función del tiempo que tarda en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental: 1 hora (\emptyset de las partículas entre 0 y 0,62 cm), 10 horas (entre 0,63 y 2,54 cm) y 100 horas (entre 2,55 y 7,62 cm). Fuentes: Albini (1976), Vélez (2003) y elaboración propia.

derado la inflamabilidad de las tres especies leñosas dominantes ponderada en base al porcentaje de cobertura de cada una en la tesela.

La inflamabilidad varía con el grado de humedad del combustible vegetal, por lo que los valores de la tabla 5 pueden alterarse a lo largo del año (Tabla 6). Este parámetro, el contenido de humedad de la vegetación, es un factor crítico en el inicio del fuego que no puede ser medido fácilmente en el campo pues sería una labor muy tediosa, escasamente representativa al tratarse de mediciones puntuales y tendría además un coste muy elevado (Aguado y Rodríguez, 2004). Los servicios forestales han recurrido al uso de parámetros meteorológicos para tratar de estimar de una forma más sencilla el contenido de humedad del combustible en función de las condiciones atmosféricas actuales y pasadas. Esta es la causa de que el grado de humedad del combustible se contemple dentro del Índice Meteorológico

Grupo	Modelo	Descripción
PASTOS	1	Pasto fino, seco y bajo, que recubre completamente el suelo. El matorral o el arbolado cubren menos de un tercio de la superficie. El fuego se propaga rápidamente por el pasto seco.
	2	Pastizal con presencia de matorral o arbolado claro que cubren entre uno y dos tercios de la superficie. El combustible está formado por el pasto seco, la hojarasca y ramillas caídas de la vegetación leñosa. El fuego corre rápidamente por el pasto seco.
	3	Pastizal espeso y alto (> 1m.). Es el modelo típico de las sabanas. Los campos de cereales son representativos de este modelo. Los incendios son los más rápidos y de mayor intensidad.
MATORRAL	4	Matorral o arbolado joven muy denso de unos 2 m de altura. Continuidad horizontal y vertical del combustible. Abundancia de combustible leñoso muerto (ramas) sobre plantas vivas. El fuego se propaga rápidamente sobre las copas del matorral con gran intensidad y llamas grandes. La humedad del combustible vivo tiene gran influencia en el comportamiento del fuego.
	5	Matorral denso pero bajo, de altura no superior a 0,6 m. Cargas ligeras de hojarasca del mismo matorral, que contribuye a propagar el fuego con vientos flojos. Fuegos de intensidad moderada.
	6	Matorral más viejo que en el modelo 5, con alturas entre 0,6 y 1,2 m. Los combustibles vivos son más escasos y dispersos. El conjunto es más inflamable que el modelo 5. El fuego se propaga a través del matorral con vientos de moderados a fuertes.
	7	Matorral inflamable de 0,6 a 2,0 m de altura, que propaga el fuego bajo el arbolado. El incendio se desarrolla con contenidos más altos en humedad del combustible muerto que en los otros modelos debido a la naturaleza más inflamable de los combustibles vivos.
HOJARASCA BAJO ARBOLADO	8	Hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas. La hojarasca forma una capa compacta al estar formada por acículas cortas (5 cm o menos) o por hojas planas no muy grandes. Los fuegos son de poca intensidad, con llamas cortas y velocidades de avance bajas. Solamente en condiciones meteorológicas desfavorables (altas temperaturas, bajas humedades relativas y vientos fuertes) este modelo puede volverse peligroso.
	9	Hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas, que se diferencia del modelo 8 en que forma una capa esponjada poco compacta, con mucho aire interpuesto. Está formada por acículas largas, como en masas de <i>Pinus pinaster</i> , o por hojas grandes y rizadas como las de <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Castanea sativa</i> , etc. Los fuegos son más rápidos y con llamas más largas que en el modelo 8.
RESTOS DE CORTA YOPE-RACIONES SELVÍCOLAS	10	Restos leñosos originados naturalmente, incluyendo leña gruesa caída como consecuencia de vendavales, plagas intensas, o excesiva madurez de la masa, con presencia de vegetación herbácea y matorral que crece entre los restos leñosos.
	11	Restos ligeros ($\varnothing < 7,5$ cm) recientes, de tratamientos selvícolas o de aprovechamientos, formando una capa poco compacta de escasa altura (alrededor de 30 cm). La hojarasca y el matorral presentes ayudarán a la propagación del fuego. Los incendios tendrán intensidades altas y pueden generar pavesas.
	12	Restos más pesados que en el modelo 11, formando una capa continua de mayor altura (hasta 60 cm). Más de la mitad de las hojas están aún adheridas a las ramas sin haberse secado completamente. No hay combustibles vivos que influyan en el fuego. Los incendios tendrán intensidades altas y pueden generar pavesas.
	13	Grandes acumulaciones de restos gruesos ($\varnothing < 7,5$ cm) y pesados, cubriendo todo el suelo.

Tabla 4. Modelos de combustible propuestos por Rothermel para el NFDRS y adaptados por la DGCN a España. Fuentes: Rothermel 1987 y DGCN.

Tipos Estructurales		Especies-Formaciones Dominantes	
Bosque	-	<i>Alnus glutinosa</i>	1 (1)
Bosque de plantación	-	<i>Amelanchier ovalis</i>	1 (1)
Bosque adhesionado	-	<i>Betula pubescens</i>	1 (1)
Complementos de bosque	-	<i>Betula spp.</i>	1 (1)
Temporalmente Desarbolado (Talas)	3	<i>Castanea sativa</i>	5 (1)
T. D. (Incendio)	1	<i>Corylus avellana</i>	1 (1)
Matorral	10	<i>Crataegus monogyna</i>	3 (1)
Herbazal	10	<i>Crataegus spp.</i>	3 (1)
M. sin vegetación superior	1	Cultivo en mosaico	5 (—)
Áreas Fuera de Monte (Riberas)	1	<i>Cupressus arizonica</i>	1 (1)
A. F. M. (Bosquetes)	3	<i>Fagus sylvatica</i>	1 (1)
A. F. M. (Alineaciones)	3	<i>Fraxinus angustifolia</i>	1 (1)
Agrícola	5	Herbazal en mosaico	10 (10)
Artificial	0	<i>Ilex aquifolium</i>	5 (1)
Humedal	1	<i>Juglans regia</i>	1 (1)
Agua	0	<i>Juniperus communis</i>	3 (1)
Autopistas y autovías	7	<i>Juniperus oxycedrus</i>	3 (1)
Infraestructuras de conducción	7	<i>Juniperus phoenicea</i>	5 (1)
Minería, escombreras, vertederos	10	<i>Juniperus thurifera</i>	3 (1)
Prados con setos	5	Matorral en mosaico	10 (10)
Mosaico arbolado sobre cultivo y/o prados	5	Pastizal-Matorral en mosaico	10 (10)
Mosaico arbolado sobre forestal desarbolado	5	<i>Pinus halepensis</i>	7 (7)
Mosaico desarbolado sobre cultivo y/o prados	5	<i>Pinus nigra</i>	3 (1)
Cultivo con arbolado disperso	5	<i>Pinus pinaster</i>	7 (6)
Parque periurbano	10	<i>Pinus pinea</i>	5 (4)
Área recreativa	10	<i>Pinus sylvestris</i>	3 (3)
Prado	10	<i>Pinus uncinata</i>	3 (0)
Pastizal-matorral	10	<i>Populus alba</i>	1 (1)
		<i>Populus nigra</i>	1 (1)
		<i>Populus tremula</i>	1 (1)
		<i>Populus x canadensis</i>	1 (1)
		Prado en mosaico	10 (10)
		<i>Prunus spinosa</i>	1 (1)
		<i>Prunus spp.</i>	1 (1)
		<i>Quercus faginea</i>	3 (1)
		<i>Quercus ilex</i>	5 (1)
		<i>Quercus petraea</i>	3 (1)
		<i>Quercus pyrenaica</i>	3 (1)
		<i>Quercus rubra</i>	3 (1)
		<i>Quercus suber</i>	5 (1)
		<i>Salix alba</i>	1 (1)

Tabla 5. Continua en la página siguiente.

Tipos Estructurales	Especies-Formaciones Dominantes
	<i>Salix spp.</i> 1 (1)
	<i>Sorbus aucuparia</i> 1 (1)
	<i>Taxus baccata</i> 3 (1)
	<i>Ulmus glabra</i> 1 (1)
	<i>Ulmus minor</i> 1 (1)

Tabla 5. Inflamabilidad de los tipos estructurales y de las especies dominantes de las teselas del mapa forestal consideradas en el estudio. Se asigna un valor de inflamabilidad creciente en una escala de 0 a 10 en base a los estudios del INIA (Puerta de Hierro, Madrid), INRA (Aviñón, Francia), EUROFIRELAB (proyecto transnacional europeo) y el INFOCAL. Las autopistas y autovías, así como las infraestructuras lineales de conducción reciben un valor de inflamabilidad de 7,5 debido a su papel como focos recurrentes de inicio de incendios. Los tipos estructurales boscosos no reciben ningún valor de inflamabilidad ya que ésta se ha calculado en base a las especies dominantes presentes en estas teselas, ponderando sus valores mediante el porcentaje de cobertura de cada especie. En la columna de la derecha se indica entre paréntesis el *Coficiente de Peligrosidad* asignado por la Junta de Castilla y León a diferentes formaciones forestales predominantes para la determinación de su Índice de Combustibilidad. Fuentes: Valette (1979, 1988), Elvira y Hernando (1989), EUROFIRELAB (2002), Junta de Castilla y León (1999) y elaboración propia.

Estado de desarrollo de la vegetación	Contenido de agua (%)
Follaje tierno, plantas anuales desarrollándose, al principio del ciclo de crecimiento	300
Follaje madurando, todavía en desarrollo, con turgencia plena	200
Follaje maduro, nuevo crecimiento completo y comparable al follaje perenne antiguo	100
Comienzo del reposo vegetativo y del cambio de color, y algunas hojas que pueden haber caído del tallo	50
Completamente seco (considerado como combustible muerto)	Menor del 30

Tabla 6. Variación teórica de la humedad del combustible vivo a lo largo del año según el estado vegetativo. Fuente: Rothermel (1983).

de Peligro y no en el Riesgo Local en la metodología de la DGCN destinada a determinar el Grado Actual de Peligro de Incendio Forestal de un territorio. No obstante, esta opción tampoco es siempre satisfactoria por dos razones: por un lado, la red actual de estaciones meteorológicas es inadecuada para este fin (el número de estaciones es insuficiente, lo que obliga a interpolar en la mayoría de los casos debido a que las masas forestales se encuentran alejadas de estos observatorios) y, por otro lado, hay que considerar que las condiciones atmosféricas son muy determinantes de la cantidad de humedad en el caso de los combustibles muertos, pero no así de los vivos, los cuales varían su contenido de humedad en función de otros factores biológicos no considerados en los índices de peligro atmosférico. En la actualidad se está imponiendo como una alternativa más ade-

cuada el uso de imágenes de satélite para obtener esta información en tiempo prácticamente real. El sensor más utilizado hasta el momento en este tipo de estudios es el AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo del satélite NOAA (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*) debido a que su resolución temporal permite contar con varias imágenes diarias, cubriendo en todos los casos las horas centrales del día, momento considerado como el más crítico en cuanto al estrés hídrico de la vegetación (Aguado y Rodríguez, 2004). A esto hay que añadir una resolución espacial de aproximadamente 1 Km², lo cual resulta adecuado para trabajos a escala regional (Cracknell, 1997). El lanzamiento reciente de sensores como el SPOT-VEGETATION o el MODIS puede contribuir a mejorar la potencialidad de este tipo de sensores, ya que poseen una mejor resolución espacial y están mejor preparados para la adquisición de datos del IR medio, que es la región del espectro más relacionada con el contenido de agua.

Para estimar si la variabilidad del contenido de humedad de la vegetación de la zona de estudio podía ser un factor determinante a la hora de establecer la inflamabilidad se recurrió a un estudio basado en los datos del satélite NOAA. Dicha investigación, realizada en 2006 por Domingo Alcaraz, utilizó como material de trabajo 648 imágenes del sensor AVHRR tomadas entre 1982 y 1999, lo que nos da una media de una imagen cada diez días. El objetivo de este investigador era identificar tipos funcionales de ecosistemas en la Península Ibérica en base a diferentes atributos de las curvas estacionales del Índice Verde Normalizado (NDVI). Uno de los parámetros analizados fue el rango relativo, el cual es un indicador de la estacionalidad de los ecosistemas basado en las diferencias en cuanto a productividad entre el período de crecimiento y la estación de reposo. Este mismo parámetro puede interpretarse como un indicador indirecto del estrés hídrico que sufre la vegetación; las zonas con mayor rango relativo son aquellas en las que existe un período de crecimiento netamente diferenciado de otro de reposo, bien por una mayor carestía del recurso agua, bien por la existencia de un período frío. Dicho estudio muestra que en el área de estudio predominan los ecosistemas con un rango relativo bajo respecto al conjunto de la Península Ibérica (Fig. 7). La no inclusión del contenido de humedad de la vegetación en el índice de inflamabilidad quedaría pues explicado por el hecho de que los ecosistemas forestales de la Sierra de Guadarrama no se caractericen por una marcada estacionalidad.

Una vez determinado el Riesgo Espacial, el Índice de Causalidad y el Índice de Combustibilidad, sólo resta obtener el Índice de Riesgo Local. La integración de estos tres elementos debe reflejar el carácter multiplicativo resultante de

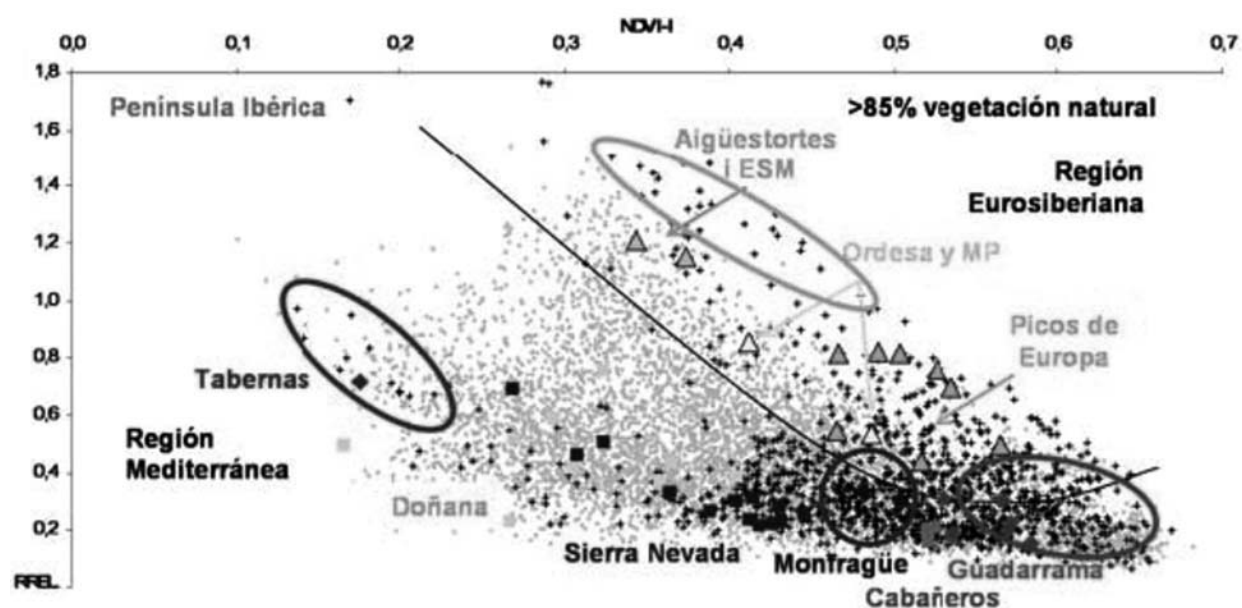


Fig. 7. Caracterización funcional en términos de productividad y estacionalidad de la vegetación natural y de algunos de los Parques Nacionales españoles actuales y futuros. El NDVI-I es la integral anual del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), por lo que se considera un indicador de la productividad total anual. El RREL, o Rango Relativo, hace referencia a la diferencia entre la producción en la estación de reposo y en la de crecimiento (estacionalidad). Cada punto representa un píxel de 8x8 Km. Los círculos rodean a tipos de funcionamiento cuyos ecosistemas no tienen representación en la red de Parques Nacionales, salvo en el caso de Monfragüe, que ha sido declarado recientemente a través de la Ley 1/2007, de 2 de marzo. Como puede observarse en la figura, Guadarrama se clasificaría según estos datos como un ecosistema mediterráneo con una baja estacionalidad y una alta producción primaria anual. Fuente: Alcaraz (2006).

combinar los efectos negativos de varios factores a la vez, por lo que este índice sintético se propone como una multiplicación de los tres índices básicos, que por definición varían entre 0 y 10. Por lo tanto, el valor resultante quedaría comprendido entre 0 y 1.000, con la siguiente gradación de riesgo: muy elevado (>250), elevado (101-250), mediano (11-100) y bajo (<10). La ventaja de la propuesta aquí realizada es que el último de los componentes, el referido a la combustibilidad de la vegetación, ha sido calculado para cada tesela de vegetación del territorio y no para cada término municipal, tal y como se hace en el Índice de Riesgo Local de la Junta de Castilla y León. Esto es mucho más ventajoso para un estudio a nivel de meso-escala como es el caso. Por otro lado, este nivel de detalle facilita la valoración de ciertas estrategias de gestión destinadas a la defensa contra el fuego, como es el caso de la distribución espacial de los medios aéreos y terrestres de extinción (Fig. 8). Para el cálculo de los tiempos de accesibilidad de los medios aéreos a las zonas que presentan un cierto riesgo de incendio se han utilizado las características técnicas (radio de acción, autonomía y velocidad de crucero) de los helicópteros Bell 212

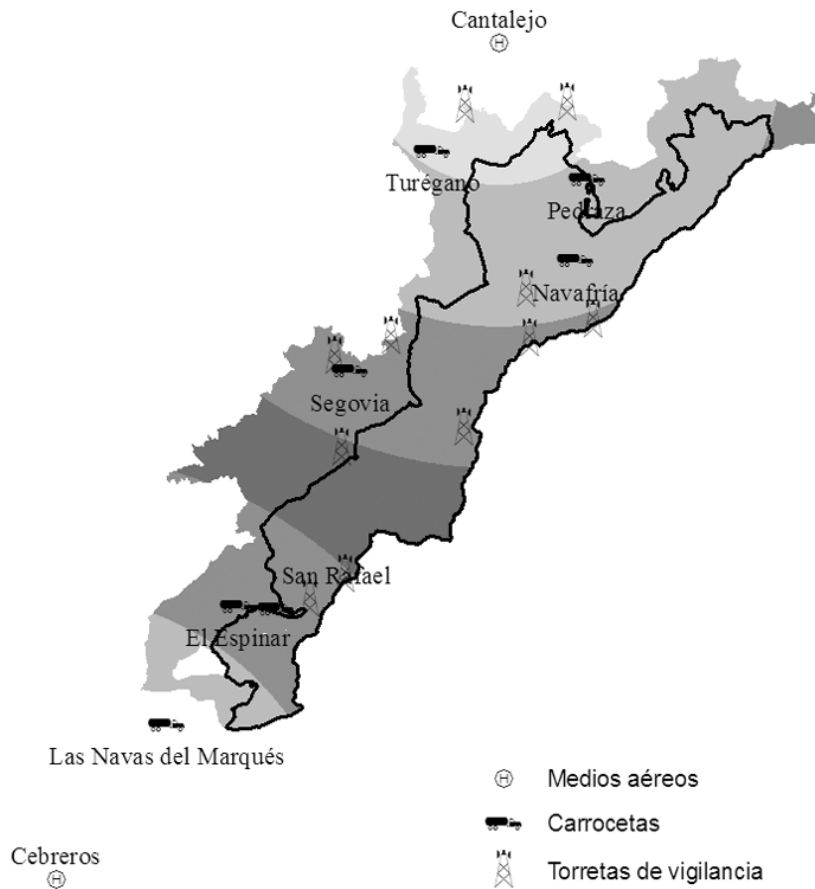


Fig. 8. Medios de extinción en el área de influencia castellano-leonesa del futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Se muestra un buffer de accesibilidad (5, 10, 15 y 20 minutos de vuelo, expresado en tonos grises cada vez más intensos) de los medios de extinción aéreos desde los helipuertos de Cantalejo y Cebreros, junto a la localización de los medios de extinción terrestres (carrocetas) y la red actual de torretas de vigilancia contra incendios. Fuentes: Junta de Castilla y León y elaboración propia.

IFR, Bell UH-1H y Hughes 500, que son los modelos que operan desde las bases de Cebreros y Cantalejo. Se trata en todos los casos de helicópteros de vigilancia y transporte de cuadrillas 4+1. La importancia relativa de estos equipamientos es cada vez mayor debido a que gracias a las cuadrillas helitransportadas se reducen drásticamente los tiempos potenciales de llegada a ciertas zonas de difícil acceso por vía terrestre. Para los medios terrestres se ha seguido igualmente una metodología basada en la creación de buffers de proximidad. El objetivo en ambos casos es contar con información del grado de protección de cada zona del territorio frente a los incendios forestales. Cruzando esta información con la localización de las zonas donde el índice de peligro de incendios forestales es mayor es posible comprobar hasta qué punto la planificación de los gestores es adecuada.

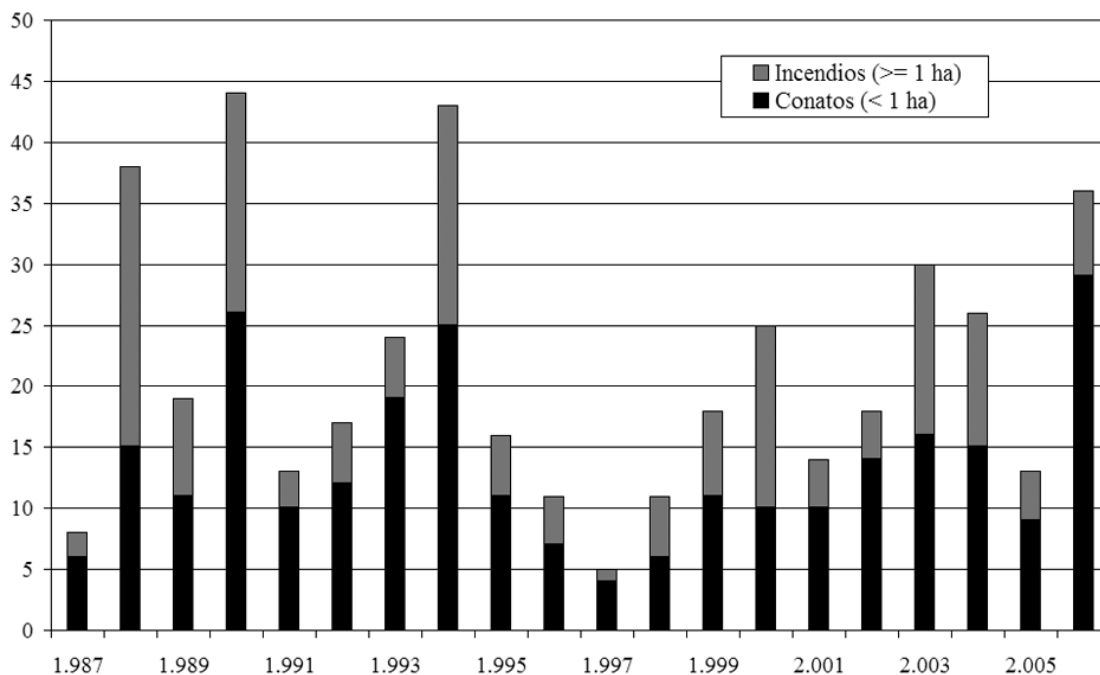


Fig. 9. Incendios y conatos en el área de estudio (1987-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

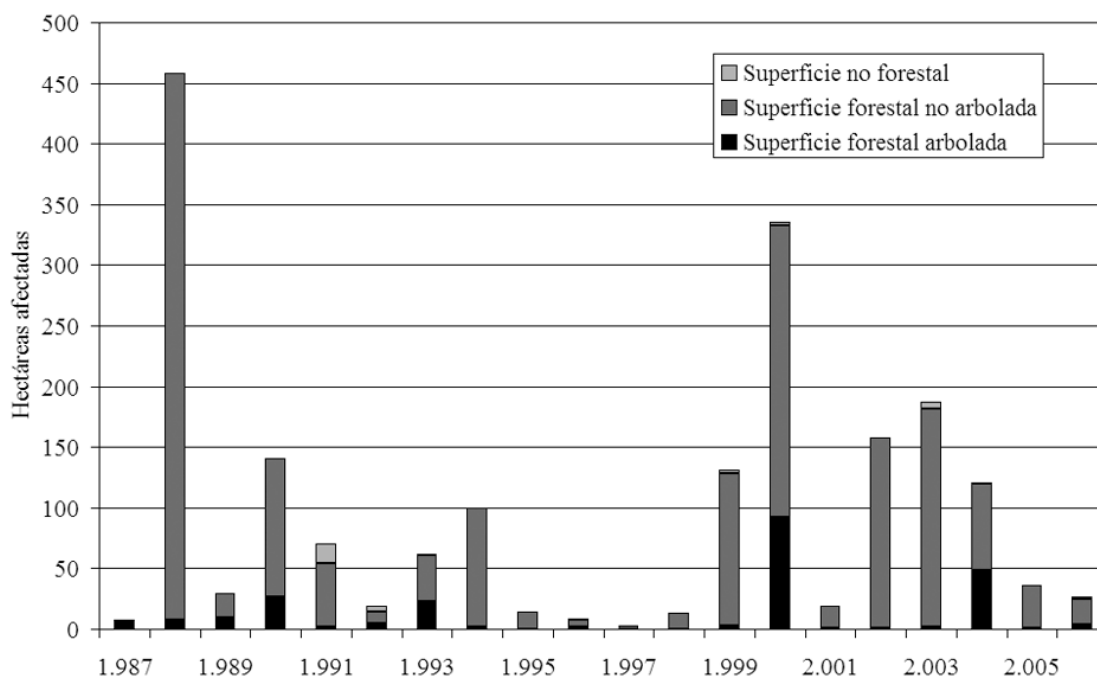


Fig. 10. Superficie anual quemada en el área de estudio (1987-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

RESULTADOS

La elaboración del índice de riesgo local de incendio se sustenta, en el caso de los índices de frecuencia y causalidad, en la base de datos de incendios forestales del Ministerio de Medio Ambiente. El gran nivel de detalle de esta fuente permite configurar un contexto con el que explicar los índices obtenidos. De esta forma, al analizar la evolución histórica de los siniestros ocurridos en el área de estudio durante el período 1986-2006, se comprueba que el número de incendios ha descendido en los últimos años, mientras que los conatos aumentan ligerísimamente (Fig. 9). Un buen ejemplo de esta tendencia es el año 2006; hubo mucho trabajo por conatos, pero finalmente se pudo controlar la mayoría para que no alcanzaran la categoría de incendio. Lo mismo se observa si se estudia la evolución de la superficie anual quemada (Fig. 10), aunque en este caso el peso relativo de ciertos años, como 1988 o el 2000, es muy elevado. Afortunadamente, la superficie forestal no arbolada es la más afectada por los incendios, mientras que tan solo un año ardieron más de 50 hectáreas de superficie forestal arbolada. Observando las superficies acumuladas para cada año se concluye que en el territorio considerado no se han producido grandes incendios forestales (GIF, aquellos que afectan a más de 500 hectáreas), lo cual se debe a la ausencia de algunos de los factores de riesgo que facilitan la aparición de este fenómeno, tales como períodos de tormentas secas con alta carga eléctrica, elevado estrés hídrico de la vegetación por un estiaje severo o la ausencia de gestión forestal adecuada. Al igual que en otras comunidades del interior de la Península (DGCN, 2005), los meses de máxima ocurrencia de incendios, así como de mayores superficies quemadas, se corresponden con junio, julio, agosto y septiembre. En cuanto a los espacios naturales protegidos presentes, indicar que la tendencia no podía ser mejor: en 20 años, sólo han ardido 1,1 hectáreas. La superficie quemada por municipio nos indica que El Espinar, Segovia, Otero y Rebollo han sido los más afectados. Llama poderosamente la atención el caso de San Ildefonso; se produjeron una cierta cantidad de incendios, muchas veces provocados, pero que afectaron casi siempre a superficies pequeñas. Esto le confiere el índice de causalidad más elevado de la zona de estudio (Tabla 7).

A través del análisis factorial se comprueba que existe una relación significativa a nivel estadístico (p -valor = 0,000) entre el tipo de fuego y el modelo de combustible dominante en el área afectada. Esto es totalmente lógico si recordamos las categorías de tipo de fuego consideradas en la Base EGIF: fuego de super-

Municipio	Nº siniestros ¹	Sup. quemada (Has)	Sup. municipio (Has)	Alto Riesgo ²	Índice de Frecuencia ³	Índice de Casualidad ⁴	Índice de Agresividad ⁵
El Espinar	66	303,26	204.384.640	Sí	3,3 Moderado	3,9 Moderado	4,6
Segovia	109	364,26	163.375.552	No	5,5 Alto	3,9 Moderado	3,3
San Ildefonso	50	26,98	138.349.120	Sí	2,5 Moderado	6,8 Alto	0,5
Peguerinos	32	97,58	87.284.616	Sí	1,6 Bajo	3,0 Moderado	3,0
Turégano	10	74,34	70.458.728	No	0,5 Muy bajo	2,8 Bajo	7,4
Santo Tomé del Puerto	5	13,91	56.783.132	Sí	0,3 Muy bajo	1,0 Bajo	2,8
Prádena	9	73,31	46.155.324	Sí	0,5 Muy bajo	2,4 Bajo	8,1
Torre de Val San Pedro	7	8,2	44.209.632	Sí	0,4 Muy bajo	4,7 Moderado	1,2
Otero de Herreros	14	149,8	43.600.324	Sí	0,7 Muy bajo	4,3 Moderado	10,7
Palazuelos de Eresma	19	40,22	42.963.372	Sí	1,0 Bajo	3,5 Moderado	2,1
Torrecaballeros	4	13	42.339.376	Sí	0,2 Muy bajo	1,0 Bajo	3,3
Aldealengua de Pedraza	10	8	35.172.820	Sí	0,5 Muy bajo	4,1 Moderado	0,8
Trescasas	3	1,35	32.335.578	Sí	0,2 Muy bajo	3,2 Moderado	0,5
Arcones	9	4,17	31.775.072	Sí	0,5 Muy bajo	4,7 Moderado	0,5
Pedraza	7	4,85	31.538.268	Sí	0,4 Muy bajo	3,2 Moderado	0,7
Navafría	6	0,21	30.496.748	Sí	0,3 Muy bajo	3,6 Moderado	0,0
Santiuste de Pedraza	4	111,64	29.041.722	Sí	0,2 Muy bajo	1,0 Bajo	27,9
La Losa	15	85,46	28.108.270	Sí	0,8 Muy bajo	2,9 Bajo	5,7
Santo Domingo de Pirón	4	1,65	27.318.186	Sí	0,2 Muy bajo	3,3 Moderado	0,4
Sotosalbos	5	4,4	24.560.684	Sí	0,3 Muy bajo	2,3 Bajo	0,9
Gallegos	2	105,9	21.853.540	Sí	0,1 Muy bajo	4,3 Moderado	53,0
Matabuena	4	2,63	21.282.018	Sí	0,2 Muy bajo	3,3 Moderado	0,7
Cubillo	2	22,5	20.264.974	Sí	0,1 Muy bajo	5,5 Alto	11,3
Muñoveros	0	0	19.419.644	No	0,0 Muy bajo	0,0 Muy bajo	0,0
Basardilla	5	70,45	18.956.930	No	0,3 Muy bajo	1,0 Bajo	14,1
Valdevacas y Guíjar	1	0,2	18.093.272	Sí	0,1 Muy bajo	1,0 Bajo	0,2
Casla	6	0,77	17.574.788	Sí	0,3 Muy bajo	1,0 Bajo	0,1
Duruelo	1	0,11	17.357.016	Sí	0,1 Muy bajo	1,0 Bajo	0,1
Caballar	0	0	16.850.538	Sí	0,0 Muy bajo	0,0 Muy bajo	0,0
Arahetes	0	0	16.319.449	Sí	0,0 Muy bajo	0,0 Muy bajo	0,0
Collado Hermoso	4	7,7	16.102.714	Sí	0,2 Muy bajo	3,3 Moderado	1,9
Ortigosa del Monte	6	12,95	15.374.048	No	0,3 Muy bajo	4,0 Moderado	2,2
Navas de Riofrío	1	3,2	14.915.285	No	0,1 Muy bajo	1,0 Bajo	3,2
Santa Marta del Cerro	1	0,3	14.843.119	No	0,1 Muy bajo	1,0 Bajo	0,3
Rebollo	3	322	13.993.970	Sí	0,2 Muy bajo	1,0 Bajo	107,3
Arevalillo de Cega	4	3,5	11.485.399	Sí	0,2 Muy bajo	4,9 Moderado	0,9
Valleruela de Pedraza	0	0	9.642.232	Sí	0,0 Muy bajo	0,0 Muy bajo	0,0
Pelayos de Arroyo	0	0	6.556.865	Sí	0,0 Muy bajo	0,0 Muy bajo	0,0
Ventosilla y Tejadilla	1	2,5	6.097.943	Sí	0,1 Muy bajo	7,5 Grave	2,5
Total	429	1.941,3	1.507.234.908		21,45 Extremo	3,9 Moderado	4,5

Tabla 7. Datos básicos de incendios forestales por municipio de la zona de influencia del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (1987-2006). Sigue en página siguiente.

- 1: Se contabilizan como siniestros tanto los incendios como los conatos, ya que afortunadamente no se ha producido en la zona de estudio ningún gran incendio (> 500 has), por lo que las superficies quemadas anuales son poco considerables.
- 2: Municipios declarados como zonas de alto riesgo de incendio en la Comunidad de Castilla y León.
- 3: Frecuencia anual de siniestros en el área considerada (Vélez, 2003). Se indica la valoración cualitativa del índice.
- 4: Frecuencia de siniestros para cada una de las causas presentes en el área considerada, ponderada según la peligrosidad específica de cada causa (Vélez, 2003). Se indica la valoración cualitativa del índice.
- 5: Superficie media quemada en cada uno de los incendios ocurridos en el área considerada.

Tabla 7. Datos básicos de incendios forestales por municipio de la zona de influencia del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (1987-2006). Los municipios se han ordenado en orden decreciente según la superficie que ocupan. Se señala qué términos municipales han sido declarados como zonas de alto riesgo de incendio en la Comunidad de Castilla y León por la ORDEN MAM/1111/2007, de 19 de junio. Fuentes: Anuarios estadísticos de la DGCN y elaboración propia.

ficie, de copas o de subsuelo, además de las múltiples combinaciones de estos tres factores. Esta correlación nos recuerda que la estructura vertical de la comunidad vegetal que determina el modelo de combustible es también el principal factor que influye en el tipo de fuego que se va a producir. Si analizamos qué tipología de incendio es más habitual, comprobamos que los de superficie representan el 90% de los siniestros. Al cotejarlo con los modelos de combustible se observa que el 82% de los incendios afectan a zonas de matorral y/o pastizal (Fig. 11). Sólo un 5% de los incendios fueron clasificados como “de superficie y copas” y únicamente un 3% afectó de forma exclusiva a las copas del estrato arbóreo. Estamos pues

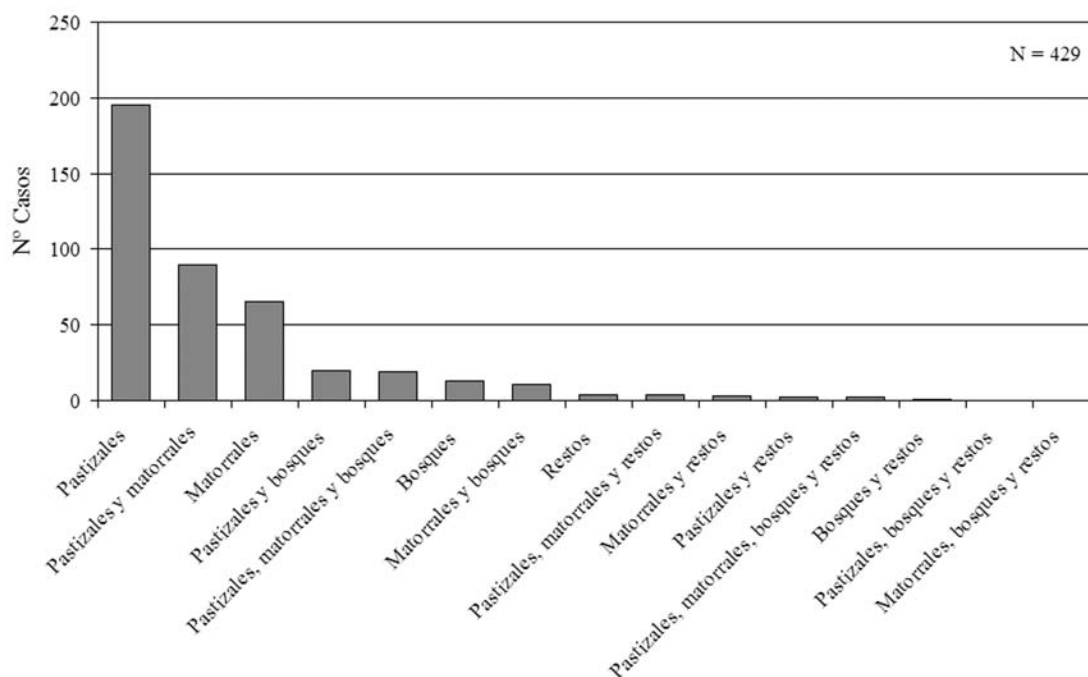


Fig. 11. Frecuencia del modelo de combustible de las zonas quemadas (1987-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

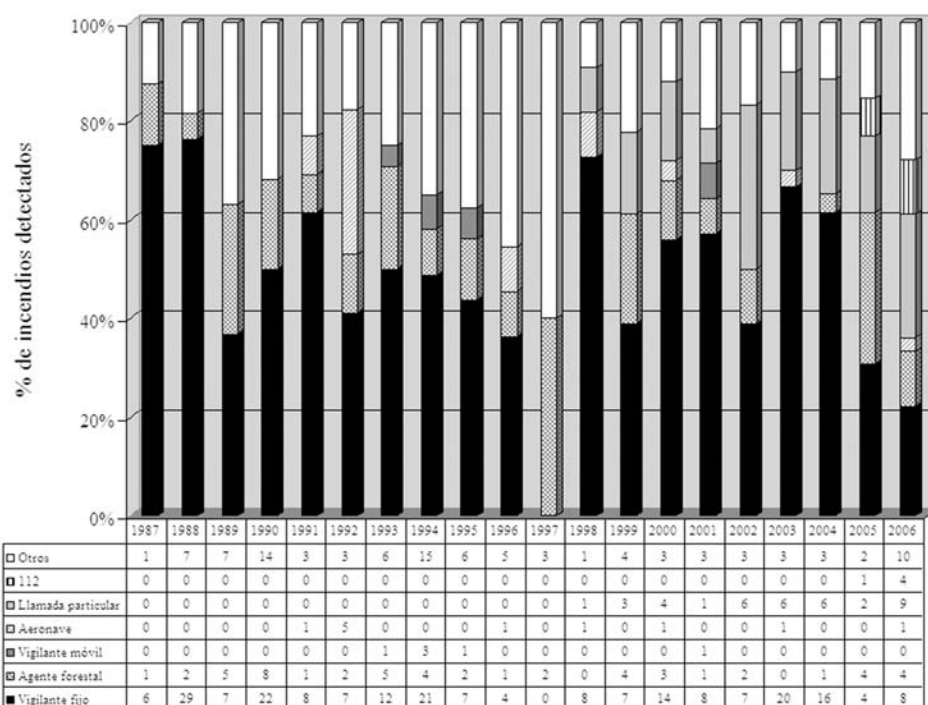


Fig. 12. Medio por el que fue detectado el incendio en el área de estudio (1987-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

Área de detección y período de tiempo considerado	Vigilante fijo	Agente forestal	Vigilante móvil	Aeronave	Llamada particular	112	Otros
Total nacional (2006)	23,36	10,09	3,53	0,69	33,29	15,80	13,25
Castilla y León (2006)	25,04	23,04	0,41	0,53	21,86	17,15	11,96
Área de estudio (2006)	22,22	11,11	0,00	2,78	25,00	11,11	27,78
Total nacional (1996-2005)	31,09	13,42	5,83	0,56	23,61	1,61	23,87
Área de estudio (1996-2005)	51,46	10,53	0,58	2,34	16,96	0,58	17,54

Tabla 8. Medios de detección de los incendios forestales. Se indican los porcentajes de detección correspondientes a cada uno de los medios considerados en la base EGIF. Destacar que el 112 no entró en funcionamiento hasta 2005 y que las llamadas de particulares han crecido en sintonía con la generalización de la telefonía móvil. Fuentes: DGCN (2005, 2006) y elaboración propia.

ante un territorio en el que las labores de extinción se concentran en zonas dominadas por matorral o pastizal que sufren incendios de intensidad variable, pero con frentes que se desplazan con una cierta velocidad. Se identifica como período de máxima ocurrencia el comprendido entre las 13 y las 19 horas, incluyendo aproximadamente un 58% de los siniestros, mientras que de 24 a 10 horas se registra menos del 15% de los siniestros. La principal explicación a estos datos se encuentra en la variación diaria del estrés hídrico que sufre la vegetación en los meses de verano.

En cuanto a los medios de detección (Fig. 12), destaca la contribución de los agentes fijos en puntos de vigilancia destacados (50%), así como el trabajo de los agentes forestales (12%), sobre todo en aquellos años en los que se ha dado una mayor incidencia de siniestros. Los datos para la década 1996-2005 en el área de influencia del Parque Nacional de Guadarrama (Tabla 8) se alejan de la tendencia observada a nivel nacional, ya que en la zona de estudio la contribución a la hora de detectar los incendios de los agentes fijos es mayor, mientras que la detección a través de las llamadas particulares está por debajo de la media nacional. Ello se debe a las características del territorio, el cual posee un alto valor ecológico debido a la presencia de masas forestales bien conservadas. Esto ha motivado la creación de una red de puestos fijos de vigilancia destinados a la detección temprana de incendios. Aunque estos puntos de control sólo están activos entre el 1 de julio y el 30 de septiembre, es decir, en la época de máxima alerta por peligro de incendios en la Comunidad Autónoma de Castilla y León (Junta de Castilla y León, 1999), la distribución temporal de los siniestros a lo largo del año hace que concentren gran parte de las detecciones de conatos e incendios.

Respecto a las causas que se encuentran detrás de los siniestros, destaca el hecho de que se desconozca el agente causal de casi una cuarta parte de los incendios registrados. Afortunadamente, en los últimos años la mejora en la formación de los agentes forestales y guardias civiles responsables de la identificación de las causas ha contribuido a que se reduzcan considerablemente los siniestros en los que no es posible identificar el agente causal. Entre las causas que han podido determinarse sobresalen las negligencias y accidentes (46% del total). Las causas naturales (rayos) están detrás de un 16% de los siniestros, mientras que un 14% fueron intencionados. Estos datos varían notablemente si en lugar de considerar el número de siniestros se utiliza la superficie quemada (Tabla 9). Aunque las negligencias y accidentes continúen siendo la principal causa, su contribución se incrementa hasta un 63,4%, mientras que desciende la importancia relativa de los incen-

	Rayo	Negligencias y causas accidentales	Intencionado	Desconocida	Por incendio reproducido	TOTAL
Superficie arbolada	29,3 (12,4)	161,0 (68,1)	30,9 (13,1)	15,2 (6,4)	0,0 (0,0)	236,4 (100,0)
Sup. no arbolada	248,1 (14,9)	1.055,1 (63,3)	98,1 (5,9)	264,8 (15,9)	0,3 (0,0)	1.666,5 (100,0)
Sup. no forestal	16,0 (41,7)	16,4 (42,6)	0,0 (0,0)	6,0 (15,6)	0,0 (0,0)	38,4 (100,0)
Sup. Total	293,4 (15,1)	1.232,5 (63,5)	129,0 (6,6)	285,9 (14,7)	0,3 (0,0)	1.941,3 (100,0)

Tabla 9. Superficies quemadas en el área de estudio para el período 1987-2006. Se indican entre paréntesis los porcentajes que representan. Fuentes: Anuarios estadísticos de la DGCN y elaboración propia.

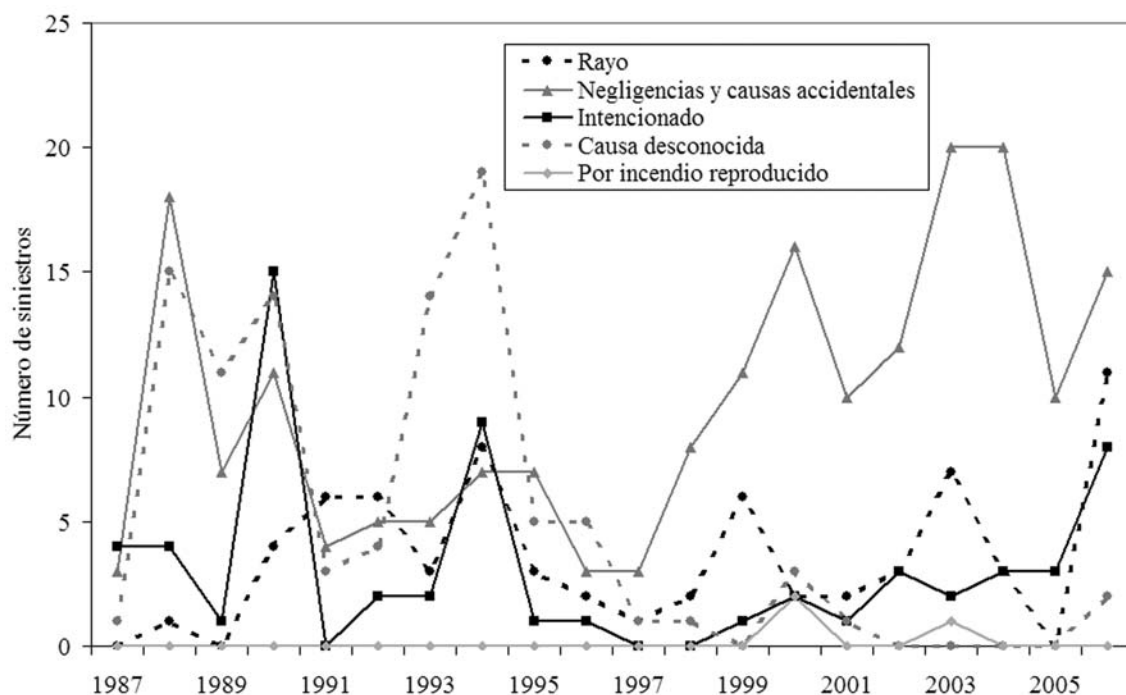


Fig. 13. Tendencias en las causas de los incendios en el área de estudio (1987-2006). Fuentes: Anuarios estadísticos del ICONA y DGCN. Elaboración propia.

dios intencionados y de origen desconocido (6,6 y 14,7 %, respectivamente). Este segundo enfoque resulta mucho más adecuado para planificar la prevención y la extinción, ya que no se considera únicamente la ocurrencia del fuego, sino que se obtiene una idea del alcance del mismo en cuanto a su incidencia en el territorio. Geográficamente, los siniestros de origen intencionado se concentran en los municipios de Ventosilla y Tejadilla, San Ildefonso y Cubillo, mientras que las negligencias y accidentes son habituales en El Espinar. Por otro lado, los municipios con mayor frecuencia de incendios (El Espinar, San Ildefonso, Segovia y Peguerinos) son también los que presentan mayor número de siniestros en los que no se ha determinado la causa, seguramente por una sobrecarga de trabajo de los técnicos responsables. Resulta preocupante el aumento de las negligencias y causas accidentales observado en los últimos años (Fig. 13), razón por la que las campañas de prevención deben seguir trabajando en este sentido. Si consideramos las infraestructuras lineales presentes, es posible construir un ranking histórico de peligrosidad relativa en base al número de incendios originados en las inmediaciones de cada tipología. De esta forma, el ferrocarril sería la infraestructura que contribuye en mayor medida (22 incendios), mientras que líneas eléctricas y las vías de comunicación compartirían el segundo puesto (12 incendios cada una).

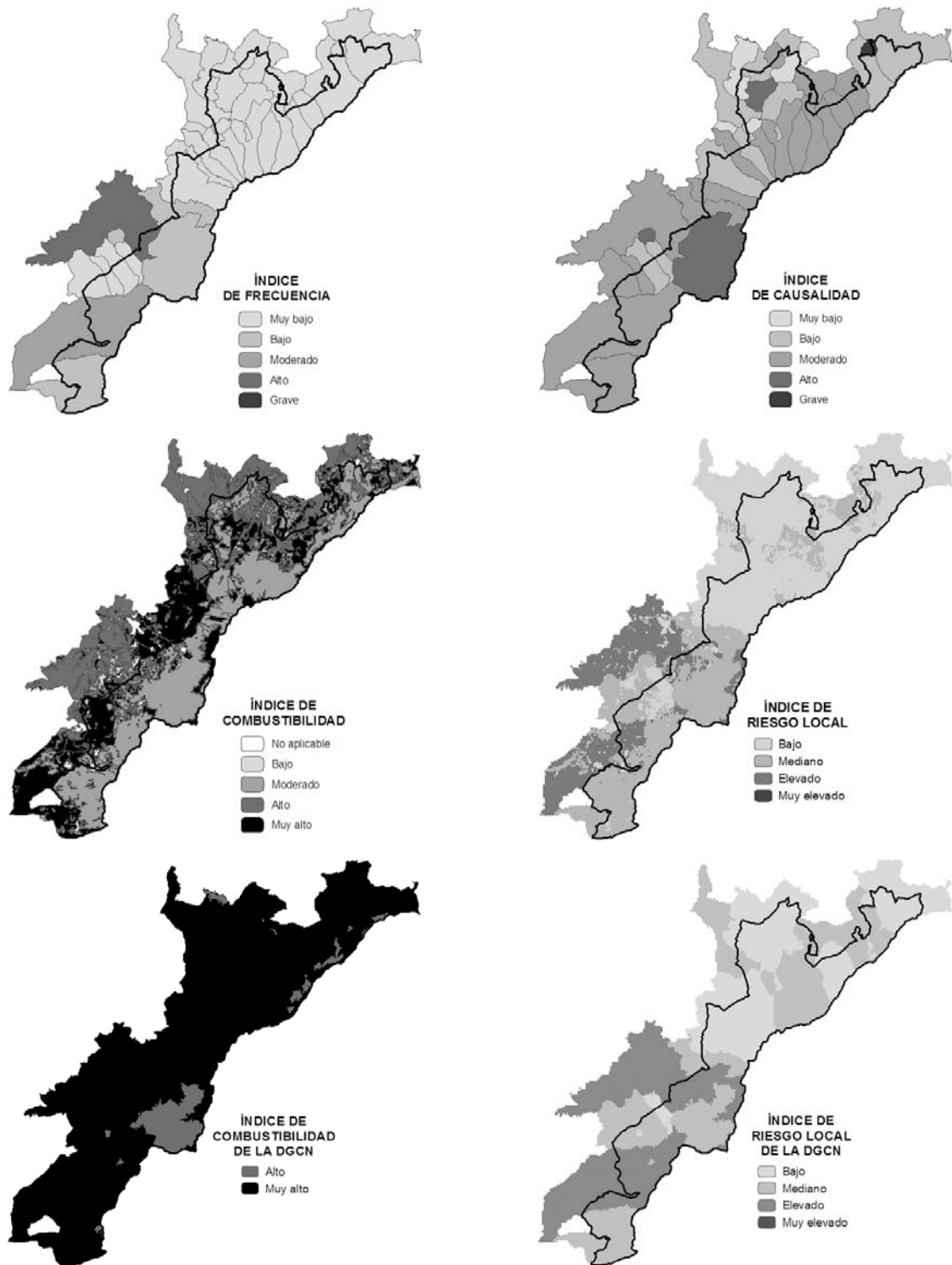


Fig. 14. Construcción del Índice de Riesgo Local de Incendios Forestales para la zona de estudio. Se muestran los resultados obtenidos para los índices de frecuencia, causalidad, combustibilidad y el índice sintético de riesgo local de incendio construido a partir de los tres primeros. El resultado puede compararse con el índice de combustibilidad y el índice de riesgo local de incendio obtenido con la metodología de la DGCN. Fuente: elaboración propia.

La combinación de los datos relativos a la frecuencia de siniestros, sus agentes causales y las características de la vegetación dominante, permite obtener el índice de riesgo local para cada punto del territorio (Fig. 14). Si analizamos la imagen resultante, destaca la ausencia de zonas en las que el riesgo de incendio sea *muy elevado* (valores integrados de los tres subíndices superiores a 250). El 48,93% del territorio tiene un riesgo local de incendio *bajo*, mientras que un 33,22% presenta un riesgo *mediano* y sólo un 17,85% un riesgo *elevado*. Las zonas con mayor riesgo de incendio se concentran en los municipios de Segovia, El Espinar y San Ildefonso. Los tres tienen en común el poseer un valor destacado en lo relativo a frecuencia de incendios. Al margen de esto, sus casuísticas son muy distintas. En lo relativo a la fracción de cabida cubierta, Segovia presenta en general valores bajos debido a que se caracteriza por la ausencia una cobertura aérea densa al dominar las zonas dedicadas a la agricultura y los bosquetes muy adeshados destinados al ganado extensivo. El Espinar presenta dos zonas claramente diferenciadas en base al factor altura; las masas forestales arboladas densas se concentran en las laderas de la sierra, mientras que las zonas con menor cobertura arbórea aparecen en la zona de cumbres y el piedemonte altamente intervenido para favorecer los prados forrajeros. Por último, San Ildefonso posee en la mayor parte de su territorio densas masas forestales destinadas a la explotación maderera. En cuanto a la causalidad de los siniestros, destaca la gran incidencia de fuegos intencionados en La Granja, debido en algunos casos a desavenencias en lo relativo a la gestión de los montes entre los ganaderos y la guardería forestal de los Montes de Valsaín. En el caso de El Espinar, la importancia del sector primario incide en la declaración de numerosos conatos e incendios de escasa importancia debidos a negligencias y accidentes.

La comparativa entre el nivel de riesgo local de incendio y la distribución de los medios de extinción presentes en el territorio (Fig. 8) sugiere una adecuada planificación. La localización de los medios terrestres de extinción de la Junta de Castilla y León permite un rápido acceso a las zonas con mayor vulnerabilidad al inicio del fuego. En el 48% de los siniestros de 2006 registrados los medios de extinción acudieron en menos de 15 minutos, mientras que sólo en un 37% se tardó más de 30 minutos. A estos equipos habría que sumar otros recursos existentes que no son considerados por el INFOCA, como son los medios de extinción propios del Organismo Autónomo de Parques Nacionales presentes en los Montes de Valsaín. En cuanto a los medios de extinción aéreos de los helipuertos de Navas del Marques y Cantalejo, indicar que su localización no es la más adecua-

da al considerar el mapa de riesgo de inicio de incendio, ya que sus tiempos de llegada a las zonas de riesgo elevado son superiores a los 15 minutos de vuelo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como hemos visto, el análisis del riesgo de inicio de incendio en una zona determinada considera un gran número de variables, la mayoría de las cuales se pueden georreferenciar. Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta muy apropiada para este tipo de estudios puesto que permiten el análisis espacial de los parámetros introducidos, así como su integración en un sistema de referencia común. El uso de un SIG simplifica la identificación a través de un índice sintético de las áreas en las que los factores de riesgo son más severos, orientando así las líneas de actuación de los programas de lucha contra incendios (Chuvienco *et al.*, 2007). La metodología propuesta para la obtención del índice de riesgo local de incendio genera un resultado totalmente distinto al mapa de riesgo potencial por comarcas de la Junta de Castilla y León (Fig. 6) o de la DGCN (Fig. 14). La principal diferencia radica en el incremento del nivel de detalle considerado en el Índice de Combustibilidad, el cual no se obtiene a nivel municipal sino para cada una de las teselas del mapa forestal. Por este motivo, el índice obtenido es adecuado para trabajar a escala local o regional, mientras que sus ventajas se van diluyendo cuando se aplica a territorios más amplios (nivel comunitario o nacional). El mapa de riesgo estadístico resultante es pues una excelente herramienta de planificación a medio y corto plazo para la optimización de inversiones de prevención, infraestructura y medios de combate realizadas por las Administraciones Públicas, tal y como se ha visto a la hora de cotejarlo con la localización de los medios de extinción en el área de influencia castellano-leonesa del futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Otras oportunidades que surgen del SIG creado son el asesoramiento en la toma de decisiones ante un fuego forestal o el entrenamiento y formación de los medios locales de lucha contra incendios.

Aunque este índice integrado mejora sustancialmente la capacidad de análisis espacial de un territorio respecto a su vulnerabilidad al inicio de incendio, existen otros factores que podrían optimizar su cálculo. La incorporación sistemática de las coordenadas UTM del punto de inicio de los incendios en la Base de datos EGIF permitiría un análisis espacial mucho más preciso en lo referente a los índices de frecuencia y causalidad. Como ya indicamos, este dato no se comenzó a

tomar de forma regular hasta el año 2002 y tampoco lo incluyen algunos partes de los últimos años, debido en muchos casos a la carencia de medios adecuados por parte de la guardería (cada vez es menos habitual, pero todavía muchos guardias forestales han de compartir los GPS entre varios compañeros debido a que no cuentan con suficientes equipos para todas las patrullas). Otra medida muy eficaz sería la incorporación a la base de datos de las áreas afectadas por los incendios forestales. Esto permitiría ajustar los análisis espaciales y superar la limitación impuesta por las clasificaciones restringidas a escala municipal. Estos polígonos pueden obtenerse en los trabajos de campo realizados por la guardería o el Seprona para estimar el área quemada en aquellos incendios clasificados como conatos o que no superen las 5 hectáreas. Para incendios mayores puede recurrirse a la teledetección (se recomienda utilizar los datos del sensor NOAA-AVHRR). Un tercer aspecto en el que hay que trabajar es la actualización de la información de partida. La DGCN propone una revisión cada dos a cinco años de la cartografía de los modelos de combustible que sirve de base para elaboración del índice, de tal forma que se contemplen los cambios en las masas forestales producidos por los trabajos de gestión silvícola. Lo mismo sucedería con los índices de causalidad y frecuencia; han de revisarse para incorporar la evolución histórica del contexto social del fuego.

De cara a mejorar el actual sistema de defensa del territorio considerado, sería interesante ampliar más allá de la época estival el sistema de alerta temprana de incendios forestales. Como el recurso humano supone siempre una elevada inversión, una excelente alternativa es el uso de estaciones remotas de vigilancia. Para ello se propone utilizar sistemas automatizados basados en sensores de infrarrojos (IR) combinados con cámaras de vídeo (CCD). Este tipo de sistemas ya ha sido instalado en algunas zonas de Andalucía ante la escasez de personal para labores de detección. En el territorio castellano-leonés existen igualmente antecedentes similares como las 14 cámaras de vigilancia y teledetección de incendios que han sido dispuestas en varios parques eólicos de Soria o las cámaras de vigilancia remota presentes en algunas torretas de vigilancia de Zamora. Por último, en lo relativo al éxito del proceso de declaración del futuro Parque Nacional de Guadarrama, insistir en la importancia de la cooperación entre las distintas administraciones competentes como un factor fundamental para que el riesgo de incendio sea el mínimo posible (Álvarez y Cortes, 2007). El objetivo ha de ser evitar que en la Sierra de Guadarrama el fuego se convierta, como sucede en otros territorios, en un instrumento característico de protesta social con el que mostrar las des-

avenencias de unos pocos con la gestión del territorio llevada a cabo por las administraciones públicas.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado íntegramente por la Convocatoria 2006/07 de Ayudas a la Investigación de la Universidad SEK (IE Universidad). Los datos utilizados en el trabajo fueron amablemente suministrados por las siguientes administraciones: Banco de Datos de la Naturaleza de la Dirección General para la Biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente), Centro Nacional de Información Geográfica (Ministerio de Fomento), Instituto Nacional de Meteorología (Instituto de Medio Ambiente), Junta de Castilla y León. Mi más sincero agradecimiento hacia David Gómez (Universidad SEK), Manuel Bea y Alberto Holguín (ambos de Geosys, S.L.) por su inestimable apoyo técnico con los Sistemas de Información Geográfica. También quisiera agradecer tanto a Rocío Esteban (Universidad SEK) como a Javier Arcones (Becario de Excelencia de la Universidad SEK) su colaboración en las primeras fases del diseño de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, E. y CORTÉS, F. J. (2007): *Modelo de colaboración entre Administraciones Públicas para la lucha contra los incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Aragón (España)*. Wildfire 2007, 4ª Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla, España.
- AGUADO, I. y CAMIA, A. (1998): "Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio". *Serie geográfica*, 7, pp. 49-58.
- AGUADO, I. y RODRÍGUEZ, F. (2004): "El factor meteorológico en los incendios forestales". En: CHUVIECO, E. y MARTÍN, M. P. (Coordinadores) (2004). *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Instituto de Economía y Geografía. Madrid. pp. 63-99.
- ALCARAZ, D. (2006): "Caracterización del funcionamiento de los ecosistemas ibéricos mediante teledetección". *Ecosistemas*, 2006/1.
- AMANATIDIS, G.T., PALIATSOS, A.G., REPAPIS, C.C. & BARTZIS, J.G. (1993): "Decreasing

- precipitation trend in the Marathon area, Greece”. *International Journal of Climatology*, 13, pp. 191-201.
- ANDREWS, P. L. & QUEEN, L. P. (2001): “Fire modelling and information system technology”. *International Journal of Wildland Fire*, 10, pp. 343-352.
- BURGAN, R. E. y ROTHERMEL, R. C. (1984): *BEHAVE: Fire Behaviour Prediction and Fuel Modelling System*. Ogden, Utah, USDA Forest Service.
- CABALLERO, D., MARTÍNEZ-MILLÁN, J., MARTOS, J., & VIGNOTE, S. (1994): “CARDIN 3.0, a model for forest fire spread and fire fighting simulation”. En: *Proceedings of the 2st International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra, Portugal, Vol.1, pp. 501.
- CABALLERO, D. VIEGAS, D.X., & XANTHOPOULOS G., (2001): “Electronic On-line Decision Support Systems for Forest Fires: The E-FIS Service”. En: *Proceedings of the International Workshop on Improving dispatching for forest Fire Control*. Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Crete, Greece, Diciembre 2001.
- CAMPBELL, J., WEINSTEIN, D. & FINNEY, M. (1995): “Integrating Landsat TM imagery, GIS and Behave for forest fire fuels mapping and fire behaviour modeling on the camp Lejeune marine corps base”. *ACSM-ASPRS Annual Convencion*. Charlotte, North Carolina, pp. 365-373.
- CHUVIECO, E. y MARTÍN, M. P. (Coordinadores) (2004): *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Instituto de Economía y Geografía. Madrid.
- CRACKNELL, A. P. (1997): *The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*. London, Taylor & Francis.
- DGCN (2002): *Los incendios forestales en España. Año 2002*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Área de Defensa Contra Incendios Forestales.
- DGCN (2005): *Los incendios forestales en España. Decenio 1996-2005*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Área de Defensa Contra Incendios Forestales.
- DGCN (2006): *Los incendios forestales en España. Año 2006*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Área de Defensa Contra Incendios Forestales.
- ELVIRA, L. y HERNANDO, C. (1989): *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque*. INIA. Madrid.
- EUFIRELAB (2002): *Physical, chemical and thermal characteristics of the wildland fuel particles*. Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory (EVR1-CT-2002-40028): a “wall-less” Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region.
- EUFIRELAB (2002): *Methods for Wildland Fuel Description and Modelling: A State of the Art*. Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory (EVR1-CT-2002-40028): a “wall-less” Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region.
- FINNEY, M. A. & ANDREWS, P. L. (1994): *The FARSITE fire area simulator: fire management applications and lessons of summer 1994*. Interior West Fire Council Meeting and Symposium. Coeur d’Alene, ID.

- HIRSCH, K. G. (1996): *Canadian Forest Fire Behaviour Prediction (FBP). System: user's guide*. Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Special Report 7.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (1999): *Plan de Protección Civil ante Emergencias por Incendios Forestales (INFOCAL)*. Dirección General de Administración Territorial. Consejería de Presidencia y Administración Territorial. Junta de Castilla y León.
- LEBOURGEOIS, F., GRANIER, A. & BREDA, N. (2001): "Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers". *Annals of Forest Science*, 58, pp. 733-754.
- MAHERAS, P. (1988): "Changes in precipitation conditions in the western mediterranean over the last century". *Journal of Climatology*, 8, pp. 179-189.
- MORENO, J. M. (2005): "Riesgos de Origen Climático: Impactos sobre los Incendios Forestales". En: J.M. Moreno (Coord./Ed.), *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. pp. 581-615.
- MORENO, J. M. (2007): *Cambio Global e Incendios Forestales: Una Visión desde España*. Wildfire 2007, 4ª Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla, España.
- PANIAGUA, A. (1992): "La población agraria española. Análisis estructural: evolución y perspectivas". *Revista Valenciana d'Estudis Autonòmics*, 14, pp. 247-275.
- PAUSAS, J. G. (2004a): "Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin)". *Climatic Change*, 63 (3), pp. 337-350.
- PAUSAS, J. G. (2004b): "La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo". En: VALLEJO V. R., y ALLOZA J. A. (eds.). *Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo*. Fundación CEAM. pp. 47-64.
- PIÑOL, J., TERRADAS, J. & LLORET, F. (1998): "Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain". *Climatic Change*, 38 (3), pp. 345-357.
- ROTHERMEL, R. C. (1983): *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. Ogden, UT, USDA Forest Service.
- SALAS, J. y COCERO, D. (2004): "El concepto de peligro de incendio. Sistemas actuales de estimación del peligro". En: CHUVIECO, E. y MARTÍN, M. P. (Coordinadores) (2004). *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Instituto de Economía y Geografía. Madrid. pp. 23-32.
- VALETTE, J. C., CLEMENT, A., & DELABRAZE, P. (1979) : *Inflammabilité d'espèces méditerranéennes*. INRA. Avignon.
- VALETTE, J.C. (1988) : *Inflammabilité, teneur en eau et turgescence relative de quatre espèces forestières méditerranéennes*. Documentos del Seminario sobre Métodos y Equipos para la Prevención de Incendios Forestales: pp. 98-107. MAPA. ICONA. Madrid.
- VÁZQUEZ A. y MORENO J.M. (1993): "Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain". *Landscape and Urban Planning*, 24, pp. 129-142.
- VÁZQUEZ A., PÉREZ B. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F. y MORENO J.M. (2002). "Forest fires characteristics and potential natural vegetation in peninsular Spain during the period 1974-1994". *Journal of Vegetation Science*, 13, pp. 663-676.
- VÉLEZ, R. (2003): *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España.