

Cartografía de modelos de combustible para la defensa contra incendios forestales

Rodríguez y Silva, F. ¹ y Molina Martínez J. R. ²

Resumen

Los nuevos programas informáticos de simulación de comportamiento de fuego requieren de una mejora cartográfica de la estructura vegetal presente, con objeto de adquirir un resultado más real al acontecido. Los trece modelos de Rothermel parecen ser insuficientes para representar la totalidad de situaciones presentes en el medio mediterráneo. Es necesaria la adquisición de modelos intermedios, constituidos por pasto y matorral o pasto, matorral y hojarasca. La definición de nuevos modelos requiere del ajuste de determinados parámetros necesarios para la simulación. La disposición de cartografía de modo automática a escala regional facilitará las labores de gestión y planificación del plan de ataque de los medios aéreos, terrestres y humanos.

Introducción

La obtención de cartografía temática en la que poder establecer con solidez las herramientas de planificación para el diagnóstico de la variabilidad espacial de la problemática de los incendios forestales en un territorio, requiere disponer de un conjunto de capas informativas, desde las que poder sustentar modelos diversos para la ayuda en la toma de la decisión. En este sentido la disponibilidad de la cartografía digital de modelos de combustibles forestales, en los que se recojan el conjunto de variables que identifican de forma diferenciada la progresión y emisión energética del fuego, representa una necesidad de carácter fundamental para poder establecer las estrategias de defensa de los sistemas forestales. Los estudios destinados a conocer las posibilidades de explotación de la cartografía digital de la vegetación existente, se fundamentan en la obtención de una base de datos práctica y coherente para el conjunto del territorio objeto de la defensa.

Diferentes estudios sobre el análisis del territorio a diferentes niveles de escala han desprendido gran cantidad de masas de combustible, que si bien han sido cartografiados como un modelo de combustible ya definido por los modelos tradicionales Behave (Rothermel, 1972, 1991), se presentan en muchos casos como desconocidos o dudosos. Tradicionalmente los sistemas y organizaciones, empleadas por las administraciones responsables en la defensa contra los incendios forestales han venido desarrollando las actividades de prevención y extinción, sin destinar en general, un capítulo a la mejora cartográfica en función del comportamiento del fuego en cada una de los diferentes manchas vegetales.

El Servicio Forestal de los Estados Unidos ha presentado una revisión de los modelos de combustible, ampliando el número y tipos de modelos para mejora de los pronósticos de comportamiento y simulación (Scott and Burgan, 2005). Este estudio se fundamenta en los estudios anteriores de comportamiento del fuego de superficie (Rothermel, 1972, 1991; Albini, 1976, 1995; Anderson, 1984; Burgan, 1984) aunque

¹ Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: ir1rosif@uco.es.

² Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: o92momaj@uco.es.

indagando en el mundo de los combustibles mixtos (pastizal con matorral; hojarasca con restos; hojarasca, pastizal y matorral).

La información que se puede obtener de los incendios acaecidos, permite la comparación del acontecimiento real con el aportado por las herramientas de trabajo o simulación: FlamMap, Farsite (Finney, 1998, 2003), Behave (Andrews, 1986, 2001) Visual Behave y Visual Cardin. El sistema de pronóstico del fuego de superficie nos proporcionará la distribución espacial de las velocidades de propagación, longitud de llama e intensidad lineal del frente de llamas a partir de una serie de variables (humedad del combustible muerto, pendiente, velocidad del viento,...) y del modelo de combustible afectado por éstas (Keane, et al., 1998). Las comparaciones entre los acontecimientos reales y simulados de los últimos grandes incendios acontecidos en Andalucía han transmitido una cierta incertidumbre. Las simulaciones no han obtenido parámetros de comportamiento asimilables a los incendios reales.

Los antecedentes de renovación de la cartografía de los modelos de combustibles presentan diferentes versiones en función de los instrumentos y escala utilizada. Algunos estudios han intentado establecer una nueva modelización de combustibles a partir de la resolución radiométrica de las imágenes de satélite y uso de GIS (Riano, 2002; Rollings, 2002; Chuvieco, 2003). Las imágenes multiespectrales e hiperespectrales han permitido establecer una modelización más precisa, en base a la densidad y la altura de la masa (Kötz, et al., 2004; Lasaponara, 2006). Una escala de trabajo pequeña nos permitirá utilizar tecnología laser e incluso implicar la composición vertical de la masa para la definición del modelo (Andersen, 2005). El procedimiento de un índice global de peligro ateniendo a criterios meteorológicos, fisiográficos y de uso del suelo, entre los cuales se encuentra la cartografía de combustibles, es muy utilizado (Deeming, 1977; Lasaponara, 1999; Sebastián, et al., 2002; Taylor y Alexander, 2006)

Los objetivos de este estudio radican en la mejora de la simulación de las condiciones reales de comportamiento del fuego, el estudio de la vulnerabilidad socioeconómica del medio y el análisis de las alternativas de gestión. Generalmente, la gestión de los montes pretende reducir la susceptibilidad del fuego ante los recursos económicos o el paisaje (Stephens, 1998, 2005; Gustafson, et al., 2000; Stratton, 2004). Las herramientas utilizadas con este fin se corresponden con prácticas de reducción de carga de combustible y quemas prescritas (Match, 1994; Knapp, et al. 2005). La aplicación de estas técnicas requiere del conocimiento del medio para su aplicación correcta en base a una buena distribución temporal y espacialmente.

Metodología

Área de estudio

El estudio está siendo desarrollado para toda la comunidad andaluza, si bien sólo ha sido concluido para dos provincias de Andalucía: Córdoba y Huelva. El área total estudiada ascenderá a 87.268 km². La elección de estas provincias como zona piloto responde a criterios florísticos, pues ambas presentan condiciones de diversidad y composición destacada. La escala de trabajo utilizada obedece a criterios de gestión territorial e incluso de extrapolación a escala nacional. Si bien, en ciertos territorios

se ha procedido a una mayor resolución espacial justificada por quemas prescritas, peligro histórico u otra causa de interés mayor.

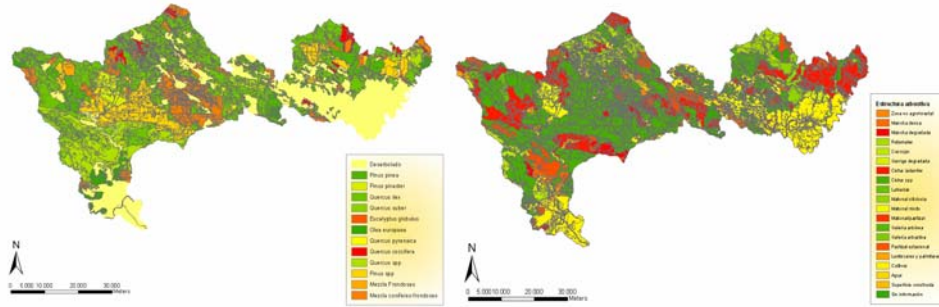


Fig. 1. Análisis florístico comarca La Sierra (Córdoba)

Definición de la referencia vegetal

El procedimiento metodológico recomendable por la calidad final del producto que se obtiene, es el resultado de la fusión mediante las herramientas de los sistemas de información geográfica de las siguientes coberturas digitales: el II Inventario Forestal Nacional, el Mapa Forestal Español y el Mapa de Usos y Coberturas Vegetales (*Landcover-Proyecto Corine*). La metodología propuesta se basa en la utilización de la base de datos del Inventario y el Mapa Forestal, subsanándose las deficiencias de actualización mediante el cruce con el mapa de Usos y Coberturas Vegetales. La corrección diferencial de polígonos y la definición espacial de nuevos modelos de combustibles, a partir de la identificación de agrupaciones vegetales peculiares, se puede realizar mediante el análisis de las composiciones verticales que se obtienen a partir de los diferentes escenarios.

El Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo, presenta una serie de ventajas con respecto al resto de cartografías digitales existentes. Las principales ventajas son la actualización y la mayor resolución de la estructura horizontal de la vegetación. El Mapa Forestal de Andalucía presenta ventajas respecto al Mapa de Usos en cuanto a la definición de la estructura vertical de la vegetación. En el diseño definitivo, para aumentar la facilidad del análisis se han considerado una síntesis de campos:

VUELO: Composición sintética del arbolado.

BASE: Composición sintética de los estratos inferiores.

SOBRECARGA: Composición de la estructura.

El análisis de la vegetación requiere la elaboración del resumen o agrupación de los tipos de vegetación identificados, para ello se deberá construir una tabla reducida con los siguientes campos: SOBRECARGA, VUELO, BASE. Dicha tabla será validada por los campos ESTRATO y USO.

VUELO	BASE	SOBRECARGA
<i>Quercus ilex</i>	Pastizal	Prado o herbazal vivaz bajo

<i>Eucalyptus globulus</i>	Aulagar	Matorral medio. Talla entre 0,5 y 1,5 metros
<i>Pinus halepensis</i>	Jaral	Matorral alto, subarbusivo. Talla entre 1,5 y 3 metros

Tabla. 1. Análisis de la composición vegetal

Definición de los nuevos modelos de combustible

La modelización consiste en la adaptación de los modelos actualmente revisados por el Servicio Forestal Americano (Scott y Burgan, 2005) a los ecosistemas mediterráneos. Los actuales modelos están clasificados en cuatro grandes grupos: pastos, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de corta de labores selvícolas. La necesidad de una nueva incorporación de modelos comprendidos en situaciones intermedias o entremezcladas de los ya existentes, determina los siguientes grupos de modelos: pastizal (P), pastizal con presencia de matorrales (PM), matorral (M), hojarasca con presencia de pastizal y matorral bajo el dosel arbóreo (HPM), hojarasca con presencia de ramas y restos muertos caídos del dosel arbóreo (HR), acumulación de restos más o menos pesados, con presencia de ramas y restos muertos caídos del dosel arbóreo, o por tratamientos selvícolas (R).

- Predominio completo del pastizal en el comportamiento del fuego (Grupo P). Dentro de este grupo y en función de la carga, agostamiento, altura,... se distinguen 9 tipos.

- Pastizal con presencia de matorrales que afectan al comportamiento del fuego (Grupo PM). Se distinguen 4 tipos en función de la carga de pastizal y altura del matorral.

- Predominio completo del matorral en el comportamiento del fuego (Grupo M). Se distinguen 9 clases en función de la continuidad, carga y tamaño del combustible.

- Predominio de hojarasca con presencia de pastizal y/o matorral bajo dosel arbóreo en el comportamiento del fuego (Grupo HPM). Se pueden apreciar 5 categorías en función del tipo de hojarasca y carga de pastizal y matorral.

- Predominio de hojarasca con presencia de ramas y restos muertos caídos del dosel arbóreo, si existe combustible vivo tiene escaso efecto en el comportamiento del fuego (Grupo HR). Se diferencian 9 tipos en función del tipo de resto y el tamaño de la hojarasca (conífera o frondosa).

- Predominio de acumulación de restos más o menos pesados, con presencia de ramas y restos muertos caídos del dosel arbóreo y/o tratamientos selvícolas (Grupo R). Se diferencian 4 clases en consonancia al tamaño y carga de los mismos.

La nueva definición aporta dos grupos muy importantes desde el punto de vista del comportamiento del fuego: el grupo pastizal-matorral y el grupo hojarasca, pastizal y matorral. Estos dos grupos se hallan muy bien representados en el contexto del monte mediterráneo y no necesariamente deben estar todos representados en una misma comarca o provincia. A modo de ejemplo se ofrece una tabla con algunas de las equivalencias de los nuevos modelos.

Modelo de combustible Forestal original	Nueva clasificación de Modelos de combustibles	Modelo de combustible Forestal original	Nueva clasificación de Modelos de combustibles
Grupo de matorrales Modelo4 Modelo5 Modelo6 Modelo7	M1	Grupo de pastos Modelo1 Modelo2 Modelo3	P1
	M2		P2
	M3		P3
	M4		P4
	M5		P5
	M6		P6
	M7		P7
	M8		P8
	M9		P9
	HPM5		PM1
	PM2		PM2

Tabla. 2. Conversión a nuevos modelos desde los modelos tradicionales

Ajuste de los parámetros de los nuevos modelos

La elaboración de la cartografía requiere un trabajo complementario de muestreo de campo, con el fin de obtener la correspondiente información de validación de la asignación de polígonos realizada en la identificación de tipos de modelos de combustibles. Dependiendo de la extensión de la zona cartografiada, se pueden diseñar muestreos sistemáticos o bien muestreos aleatorios, los primeros proporcionan una mayor fiabilidad, aunque el costo de realización de los mismos resulta ser mayor. Por otra parte los muestreos de campo permiten identificar las características morfológicas y fisiológicas de las especies botánicas que constituyen los tipos diferenciados de modelos de combustibles. El desarrollo de estos itinerarios permitió realizar una última corrección del nuevo mapa de combustibles, ya que se comprobó “in situ” si los modelos correspondían o no con los previamente establecidos.

En cada una de las parcelas de muestreo se identificaron las coordenadas UTM, la composición arbórea y arbustiva, la altura de los combustibles y el peso en húmedo de todo el material vegetal (1, 10 y 100 horas de retardo) presente en una parcela de 40x40cm y una altura de 1.70 metros. Simultáneamente a esta metodología práctica, se desarrolló una revisión fotográfica para el reconocimiento visual de los nuevos modelos por parte del personal forestal. Una vez en laboratorio se procedió a realizar el proceso de secado de las distintas muestras. Todas las muestras sufrieron un proceso de secado de cuarenta y ocho horas en una estufa a una temperatura de 60 °C, transcurridas las cuales los pesos de los combustibles fueron constantes.

Resultados

Determinación y asignación de la equivalencia entre unidades de vegetación y la nueva definición de modelos

A veces las discrepancias entre los mapas de naturaleza diferente que son empleados en la elaboración del mapa de modelos de combustibles forestales, pueden llegar a ser problemáticas, ya que en algunos casos un mismo polígono perteneciente a un mapa puede informar sobre la presencia de un tipo de vegetación concreta, mientras que en otro de los mapas puede aparecer identificando en el mismo polígono otra cobertura vegetal distinta a la anterior. La determinación final y consolidación de polígonos se debe alcanzar mediante el empleo de técnicas de fotointerpretación de aquellas áreas que por su tamaño y conflicto lo necesiten.

La conversión de unidades de vegetación en modelos de combustible forestales se realiza mediante el análisis del comportamiento del fuego en dicha unidad vegetal. Los parámetros considerados por su intervención en la propagación e intensidad de las llamas son los siguientes: combustibilidad e inflamabilidad de las especies, carga, altura, estructura vertical y distribución de cepas.

El análisis establece las diferentes estructuras arbóreas presentes: encinar, pinar, eucaliptar... así como las estructuras desarboladas (matorral, pastizal) y los cultivos herbáceos. El comportamiento del fuego en superficie depende en gran medida del comportamiento del sotobosque, por lo que se realiza un análisis por categorías o grupos de matorral. La intersección del comportamiento de la estructura arbórea y arbustiva (en aquellos casos que se disponga de ambas) junto a la altura y disposición del matorral nos permite adoptar un modelo potencial para cada una de las combinaciones posibles. A modo de ejemplo se detallan algunas de ellas:

Estructura arbórea	Estructura arbustiva	Estructura	Modelo potencial
<i>Pinus pinea</i>	Jarales (<i>Cistus</i> spp.)	Arbustedo o matorral arbustivo. Talla entre 3 y 7 metros	M9
<i>Pinus pinea</i>	Jarales (<i>Cistus</i> spp.)	Matorral bajo. Talla entre 5 y 50 cm.	HPM2
<i>Pinus pinea</i>	Jarales (<i>Cistus</i> spp.)	Matorral arbustivo sobre arenal ± móvil.	M2
<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus siuber</i>	Pastizales Estacionales	Prado o herbazal vivaz bajo. Talla entre 5 y 50 cm.	P4
<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus siuber</i>	Pastizales o Cultivos herbáceos	Distribución adhesionada de especie(s) arbórea(s) sobre cultivo o cubiertas menores. Cubiertas de especie(s) principal(es) entre 5% y 35%.	P4
<i>Eucalyptus globulus</i>	Labiadas o matorral halófito	Matorral bajo. Talla entre 5 y 50 cm.	HR2
<i>Desarbolado</i>	Matorral y pastizal halófito	Matorral bajo con herbáceas vivaces. Talla entre 5 y 50 cm.	PM1

Tabla. 3. Conversión a nuevos modelos desde las diferentes estructuras vegetales

Una vez definida la cartografía, tanto horizontal como verticalmente, se procede a la asignación de los modelos de combustibles a cada uno de los polígonos, en función de la tabla de equivalencia previamente establecida y validada en campo.

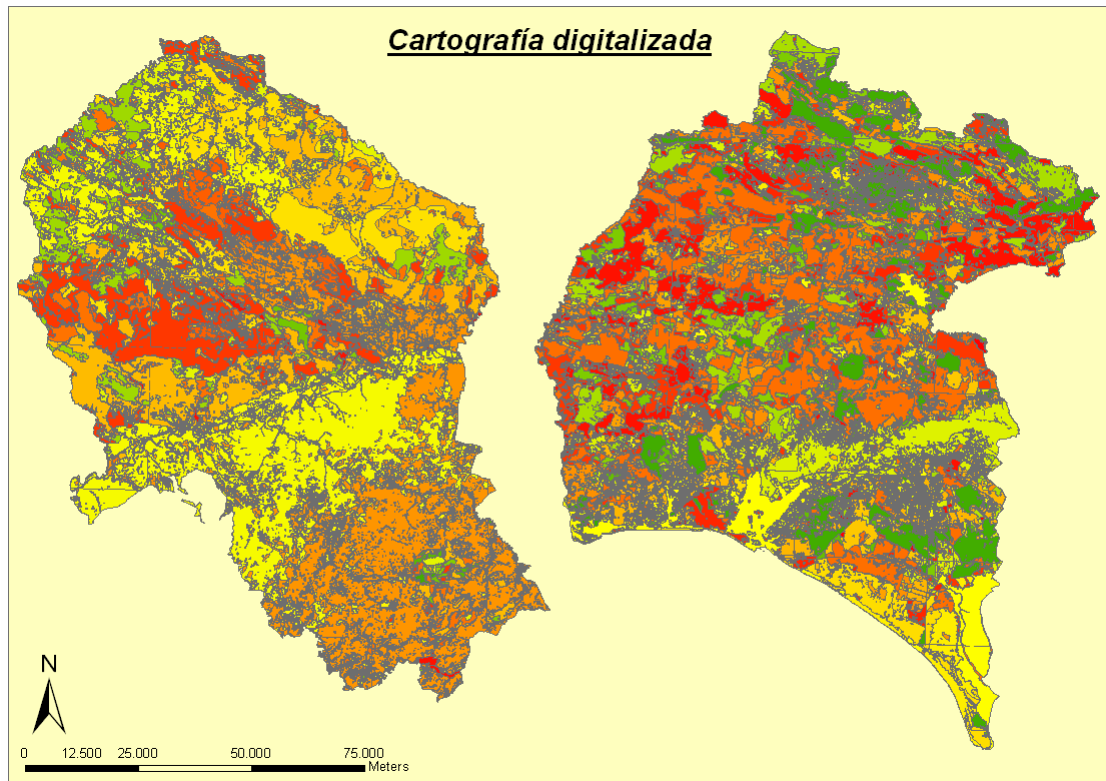


Fig. 2. Cartografía elaborada para las provincias de Córdoba y Huelva

Obtención de los parámetros para los nuevos modelos

El estudio in situ y laboratorio de las diferentes parcelas conduce a la elaboración de una base de datos de los diferentes modelos. El promedio de las parcelas del mismo modelo nos aporta un dato referente para el estudio del comportamiento del fuego en los diferentes modelos:

Modelo	P seco (g)			Carga (libras/pie2)			Mod Ant	Hdad (%)
	1h	10h	100h	1h	10h	100h		
P2	57	-	-	0,073	-	-	1	4,7
P4	92	-	-	0,118	-	-	2	8,3
M3	221	31	20	0,283	0,040	0,026	7	5,7
M4	101	13	-	0,129	0,017	-	6//7	55,8
PM3	186	-	-	0,238	-	-	2//5	17,19
HPM5	252	25	-	0,323	0,032	-	5//10	45,70
HR8	103	40	-	0,132	0,051	-	9	48,4

Tabla. 4. Parámetros obtenidos para algunos de los nuevos modelos.

Aplicabilidad de la nueva cartografía en la gestión forestal

La elaboración de la nueva cartografía digital y el cálculo de los parámetros permite diseñar una nueva programación en formato C++ de las características de los nuevos modelos. La programación de los nuevos modelos corrige y ajusta el programa “Visual Behave”.

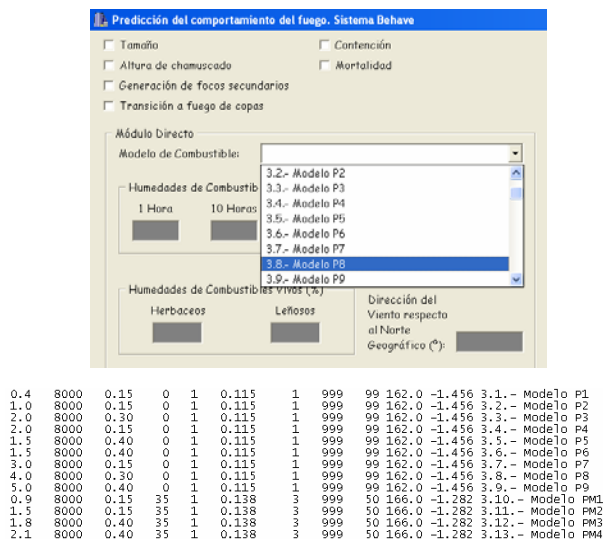


Fig. 3. Adaptación del programa Visual Behave

Una vez elaborada la herramienta para el cálculo del comportamiento del fuego se procede a su validación. La comprobación de los nuevos modelos se realiza mediante el empleo del mayor incendio real acontecido en Andalucía en los últimos años (Minas de Río Tinto, 2004).

Condiciones de comportamiento del fuego consideradas en los cálculos: Humedad de los combustibles finos: 2,5% (inferior a 5mm de diámetro). Pendiente 5%. Velocidad del viento 8 km/h					
Modelo de pastizal (M1), valores estándares		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
Carga	0,165 kgr/m ²	0,545 kgr/m ²	0,745 kgr/m ²	0,655 kgr/m ²	0,4002 kgr/m ²
Velocidad de propagación	42,7 m/min	95,3 m/min	107,6 m/min	107 m/min	106,7m/min
Longitud de llama	1,8 m	4,7 m	5,5 m	5,3 m	4,4 m
Intensidad lineal	878,3 kw/m	7.345 Kw/m	10.503,4 Kw/m	9.666,6 Kw/m	5.278,7 Kw/m
Focos secundarios	40 m	68,4 m	74,3 m	72,8 m	62,5 m

Tabla. 5. Estudio comportamiento del fuego en el incendio del Berrocal mediante antiguos modelos (Huelva)

Condiciones de comportamiento del fuego consideradas en los cálculos: Humedad de los combustibles finos: 2,5% (inferior a 5mm de diámetro). Pendiente 5%. Velocidad del viento 8 km/h					
Modelo de pastizal (P7), valores estándares		<u>Parcela 1</u>	<u>Parcela 2</u>	<u>Parcela 3</u>	<u>Parcela 4</u>
Carga	0,55 kgr/m ²	0,545 kgr/m ²	0,745 kgr/m ²	0,655 kgr/m ²	0,4002 kgr/m ²
Velocidad de propagación	93,3 m/min	95,3 m/min	107,6 m/min	107 m/min	106,7m/min
Longitud de llama	5,3 m	4,7 m	5,5 m	5,3 m	4,4 m
Intensidad lineal	9893,5 kw/m	7.345 Kw/m	10.503,4 Kw/m	9.666,6 Kw/m	5.278,7 Kw/m
Focos secundarios	68,5 m	68,4 m	74,3 m	72,8 m	62,5 m

Tabla 6. Estudio del comportamiento del fuego en el incendio del Berrocal mediante nuevos modelos (Huelva)

Discusión

El sistema de pronóstico del comportamiento del fuego de superficie constituye una de las bases para la planificación y gestión del medio. Dentro de los diversos factores que desarrollan o incentivan el comportamiento de las llamas (humedad combustible vivo, humedad combustible muerto, condiciones topográficas, viento,...), los combustibles forestales son los agentes que gobiernan la combustión. Los combustibles finos influyen en gran medida en los modelos predictivos.

Los grandes avances informáticos, la disponibilidad cartográfica y la experiencia de los grandes incendios acontecidos en Andalucía en los últimos años han determinado la necesidad de una profundización en la modelización.

El avance de la nueva definición de modelos de combustibles forestales en ecosistemas mediterráneos nos proporciona una serie de ventajas aplicadas a la gestión: facilita la planificación de defensa, la distribución potencial del peligro, informa sobre los niveles de organización requeridos para la extinción y determina las prioridades en la ordenación de los combustibles.

La modelización de la estructura vegetal en función de la combustibilidad e inflamabilidad y la nueva cartografía automática nos facilita la obtención de pronósticos de comportamiento del fuego en la elaboración de los planes de ataque. La corrección y ajuste de los programas Visual Behave y Visual Cardin suponen una herramienta de cálculo rápido para el pronóstico del comportamiento del fuego, muy demanda por los técnicos encargados de la prevención y extinción de los incendios forestales.

La gestión de los bosques mediterráneos requiere de prácticas para la reducción de la susceptibilidad del fuego. La nueva modelización supone un avance en el estudio del comportamiento del fuego y la vulnerabilidad socioeconómica asociada a los recursos presentes en el bosque. La cartografía automática y las herramientas de simulación detectan los puntos de mayor riesgo y permiten adoptar prácticas de reducción de carga de combustible y quemas prescritas con mayor eficiencia.

Agradecimientos

Los autores del trabajo desean expresar su agradecimiento al proyecto FIREMAP del Ministerio de Educación y Ciencia (CGL2004-06049-C04-03/CLI) y a la Junta de Andalucía.

Referencias bibliográficas

- Albini, F. A. 1976. **Estimating wildfire behavior and effects**. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, Utah: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.
- Albini, F.A. and Reinhardt, E.D. 1995. **Modeling the ignition and burning rate of large woody natural fuels**. International Journal Wildland Fire 5(2):81-92.
- Andersen, H.E.; McGaughcy, R.J. and Reutebuch, S.E. 2005. **Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data**. Remote Sensing of Environment 94: 441-449.
- Anderson, H.E. 1982. **Aids to determining fuel models for estimating fire behavior**. General Technical Report. INT-122. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture - Forest Service, Intermountain Research Station, pp. 1- 22.
- Andrews, P.L. 1986. **Fire behaviour prediction and fuel modelling system**. USDA Forest Service. Ogden, Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 130 p.
- Andrews, P.L. and Queen, L.P. 2001. **Fire modelling and information system technology**. International Journal of Wildland Fire 10(4): 343-352.
- Burgan, R. E.; Rothermel, R. C. 1984. **BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem**. Gen. Tech. Rep. INT-167. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.
- Chuvieco, E., et al. 2003. **Fuel loads and fuel type mapping**. E. Chuvieco (Ed.), Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data (pp. 119 – 142). Singapore: World Scientific, 4.
- Deeming, J. E.; Burgan, R. E.; Cohen, J. D. 1977. **The National Fire Danger Rating System**. Gen. Tech. Rep. INT-39. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 63 p.
- Finney, M.A. 1998. **FARSITE: Fire Area Simulator- model development and evaluation**. USDA Forest Service. Res. Pap. RM-RP4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.
- Finney, M.A. 2003. **Spatial Tools for Wildland Management Planning**. USDA Forest Service. Fire Sciences Laboratory. Missoula MT, USA.
- Gustafson E.J., Shifley S.R., Mladenoff, D.C., Nimerfro K.K. and He H.S. 2000. **Spatial simulation of forest succession and harvesting using LANDIS**. Canadian Journal of Forest Research 30:32-43.
- Knapp, E.E., Keeley, J.E., Ballenger, E.A. & Brennan, T.J. 2005. **Fuel reduction and coarse woody debris dynamics with early and late season prescribed fire in a Sierra Nevada mixed conifer forest**. Forest Ecology and Management 208:383-397.
- Keane, R.E., J.L. Garner, K.M. Schmidt, D.G. Long, J.P. Menakis, and M.A. Finney., 1998. **Development of input data layers for the FARSITE fire growth model for the Selway-Bitterroot Wilderness Complex**. USA. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-3.

- Keane, R.E., et al. 2002. **Mapping vegetation and fuels for fire management on the Gila National Forest Complex, New Mexico.** General Technical Report. RMRS-GTR- 46-CD. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp. 1-126.
- Kötz, B and et al. 2004. **Radiative transfer modelling within a heterogeneous canopy for estimating of forest fire fuel properties.** Remote Sensing of Environment 92: 332-344.
- Lasapanora, R., et al. 1999. **Forest fire danger estimation based on the integration of satellite AVHRR data and topographic factors.** Remote Sensing for Earth, Ocean and Sea Ice Applications 3868: 241-252.
- Lasapanora, R., Lanorte, A y Pignatti. 2006. **Multiscale fuel type mapping in fragmented ecosystems: preliminary results from hyperspectral MIVIS and multispectral Landsat TM data.** International Journal of Remote Sensing 27: 587-593.
- Mutch, R.W. 2000. **Fighting fires with prescribed FIRE: a return to ecosystem health.** Journal of Forestry 92:31-33.
- Riano, D., et al. 2002. **Generation of fuel type maps from Landsat TM images and ancillary data in Mediterranean ecosystems.** Canadian Journal of Forest Resources. 32:1301-1315.
- Rollins, M.G. 2002. **Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulating and gradient modelling.** Ecological Applications 14: 75-95.
- Rothermel, R.C.,1972. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels.** USDA Forest Serv. Res. Pap. INT-115.
- Rothermel, R.C. 1991. **Predicting behaviour and size of crown fires in the northern Rocky Mountains.** USDA Forest Serv. Res. Pap. INT-115.
- Scott, J.H. y Burgan R.E. 2005. **Standard Fire Behaviour Fuel Model: A Comprehensive Set for use with Rothermel's Surface Fire Spread Model.** Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep.RMRS-GTR-153.
- Sebastián López, A., San Miguel Ayanz, J. y Burgan, R.E. 2002. **Integration of satellite sensor data, fuel types maps and meteorological observations for evaluation of forest fire risk at the pan-European scale.** International Journal of Remote Sensing 23: 2713-2719.
- Stratton, R.D. 2004. **Assessing the Effectiveness of Landscape Fuel Treatments of Fire Growth and Behaviour.** Journal of Forestry 102: 32-40.
- Stephens, S.L. 1998. **Evaluation of the effects of silvicultural and fuel treatments on potential fire behaviour in Sierra Nevada mixed conifer forest.** Forest Ecology and Management 105: 21-35.
- Stephens, S.L. and Moghaddas, J. 2005. **Experimental fuel treatment impacts on forest structure potential fire behaviour and predicted tree mortality in a California mixed conifer-forest.** Forest and Ecology and Management 215: 21-36.
- Taylor, S. W. y Alexander, M.E., 2006. **Science, technology and human factor in fire danger rating: the Canadian experience.** International Journal of Wildland 15: 121-135.