

AVANCES TÉCNICOS Y APLICACIONES DEL SIMULADOR DE INCENDIOS FORESTALES VISUAL-CARDIN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE EVENTOS Y PREDICCIÓN DE LOS EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL LECHO DE GERMINACIÓN Y LA REGENERACIÓN DE LA VEGETACIÓN

FRANCISCO RODRÍGUEZ Y SILVA (1), JAVIER MADRIGAL (2)

- (1) UNIVERSIDAD DE CORDOBA. Departamento de Ingeniería Forestal. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes. A/ Menéndez Pidal s/n. 14080 Córdoba. ir1rosif@uco.es
(2) CIFOR-INIA. Crta. Coruña Km 7,5. 28040 MADRID. E-mail: incendio@inia.es

Resumen

La simulación de los comportamientos dinámicos derivados de la propagación del fuego en los incendios forestales, proporciona información de importancia para la toma de decisión. Si además, mediante programas específicos se facilita la opción de analizar no sólo las características energéticas y desarrollos espaciales, sino también los resultados previsibles tras la aplicación de planes estratégicos de ataque mediante el posicionamiento de recursos para el control y extinción de los incendios forestales, se alcanza con la simulación, la posibilidad de validar las decisiones planificadas antes de su ejecución. En términos de análisis económico, la simulación ofrece la posibilidad de valorar el coste que representan las distintas estrategias de combate en lo que a la fase de extinción se refiere, de igual forma en la planificación preventiva asociada a los programas de manejo de vegetación, tales como cambio cualitativo y espacial de modelos de combustibles y control de la carga de éstos entre otros, la realización de simulaciones permite dirigir de forma más acertada la eficiencia económica de las actuaciones a realizar (Rodríguez y Silva, 1999). El simulador de incendios forestales Visual-Cardin se encuentra en la actualidad en la etapa evolutiva correspondiente a su tercera generación, incorporando herramientas de simulación y aplicaciones en la línea de los sistemas de información geográficos, que ofrecen amplias posibilidades de ayuda en la toma de decisión en conexión directa con las actividades de la defensa de las áreas forestales contra los incendios. Sus posibilidades de aplicación son amplias, pudiéndose citar entre otras la realización de predicciones del comportamiento del fuego en tiempo real durante la evolución de un incendio, permitiendo la gestión y definición de la estrategia a seguir en la extinción, tanto en la planificación como en la distribución de los medios humanos y materiales, y la posibilidad de realizar simulaciones *a posteriori*, conociendo las condiciones meteorológicas durante el incendio, esto permite además reconstruir el perímetro quemado y con ello obtener un mapa de las intensidades lineales (kW/m) generadas por el frente de avance. Otra de las aplicaciones de interés del uso de este simulador es utilizarlo de forma preventiva, de manera que las distintas variables de salida del comportamiento del fuego puedan predecir la condiciones del lecho de germinación y de la regeneración a corto plazo después del incendio, delimitando de esta forma, las áreas con mayor afectación de la vegetación y menores posibilidades de regeneración. Con este objetivo se ha realizado un estudio en grandes incendios en los que se han relacionado las variables de salida predichas por Visual-Cardin y variables medidas en campo en años sucesivos al paso del fuego, como la altura y cobertura de la capa de hojarasca y mantillo y la cobertura y altura de la vegetación. A partir de los resultados obtenidos, se abre la posibilidad de desarrollos avanzados que permitan planificar la gestión de la silvicultura aplicada en la prevención de incendios en las áreas forestales a proteger, con criterios apoyados en la graduación del impacto energético del fuego y las respuestas del sistema forestal.

Introducción

El simulador de incendios CARDIN (Martínez-Millán et al. 1991) basado en la formulación de Rothermel (1972) del comportamiento del fuego de superficie, ha evolucionado recientemente hacia el formato Visual-Cardin, programado en C++, lo que constituye la tercera generación de dicho simulador. Presenta un entorno más fácil de usar y totalmente compatible con el resto de los archivos y capas georreferenciadas existentes y utilizadas con frecuencia por los servicios forestales, como “.e00”, “.shp”, “.dxf”, etc. El objetivo principal del desarrollo de simuladores del comportamiento del

fuego como el mencionado, y otros de amplia difusión como FARSITE (Finney 1995), fue principalmente ofrecer una herramienta de toma de decisiones para el ataque al incendio en un puesto de mando avanzado. No obstante, el desarrollo de la informática y, sobre todo, la proliferación de abundante información cartográfica de la totalidad del territorio nacional, abriría la posibilidad de utilizar Visual-Cardin también como una herramienta preventiva en la fase de planificación de prioridades de defensa en las comarcas PAPIF (Plan de Acción Prioritaria contra Incendios Forestales) o en una fase inmediata para la planificación de trabajos que intenten recuperar la vegetación de manera natural. El sistema BEHAVE y sus aplicaciones informáticas, se han utilizado para la zonificación del peligro en la elaboración de Planes Comarcales de Defensa Contra Incendios (Rodríguez Silva 2000), la aplicación de quemas prescritas (Molina 2000) y la prevención en la interfaz urbano-forestal (Caballero 2004). En los informes técnicos de grandes incendios se intenta reconstruir el perímetro con Visual-Cardin y con ello realizar una descripción más detallada de la evolución del mismo. Sin embargo no se ha intentado relacionar *las variables de salida* con variables de detalle medidas en campo **posteriores al incendio**, como el espesor de la capa de hojarasca y mantillo remanente, de gran influencia en la regeneración natural después del fuego (Vega et al. 2003), o con variables referidas a la vegetación regenerada después del incendio, como la cobertura y altura de la vegetación. El objetivo de este trabajo es proponer una metodología de toma y análisis de datos para la obtención de relaciones entre las variables de salida ofrecidas por Visual-Cardin y variables de gran relevancia para la regeneración post-incendio. Para mostrar una aplicación de la misma se han utilizado algunos de los datos de campo obtenidos tras grandes incendios en el contexto del proyecto sectorial I+D nº SC99-0018-C2.2, cuyo objetivo era determinar las variables más influyentes en la regeneración post-incendio de *P. pinaster*. Mediante la reconstrucción de 3 grandes incendios se han relacionado las variables de salida del programa con los datos medidos en las parcelas de campo, obteniendo algunos modelos que permitirían estimar de manera aproximada la regeneración esperada en función de los datos ofrecidos por Visual-Cardin.

Material y métodos

Localización de las zonas de estudio y obtención de las variables

Se han seleccionado 3 incendios en diferentes zonas de distribución de *Pinus pinaster* afectadas por incendios: Teleno, en León (1998); Verín, en Orense (1999) y El Escorial, en Madrid (1999) en los que se realizó un replanteo de parcelas de 3 m x 3m a largo de transectos lineales en el año 2000. En Teleno y El Escorial se volvió a realizar una estimación de la densidad de *P. pinaster* y la cobertura y altura de la vegetación acompañante en 2003. Los datos generales, la fecha de recogida de datos, el número de parcelas y transectos se muestran en la tabla 1. Los datos meteorológicos y la evolución real del incendio se recogieron de los correspondientes partes de incendios (MMA 2001) y los informes de la Dirección de Extinción. En la parcelas se recogieron diferentes variables descriptivas del sitio como la fisiografía, las características del lecho de germinación (espesor y cobertura de la capa de hojarasca y mantillo, pedregosidad y profundidad de suelo) y características de la vegetación (altura y cobertura lineal por especie por el método de Canfield, 1941). La disposición de las parcelas y el esquema de la toma de datos se muestra en la figura 1. El resultado fue la obtención de 25 variables para un total de 153 parcelas agrupadas en 31 transectos. Para la medición de 2000 se dispone, por tanto, de una muestra de 31 transectos correspondientes a los 3 incendios (n=31) y para la medición de 2003 de 21 transectos correspondientes a Teleno y El Escorial (n=21).

Reconstrucción de los incendios con Visual-Cardin

Se recopilaron las capas de datos necesarias para simular los incendios con Visual-Cardin, esto es, la capa de modelos de combustibles BEHAVE (MMA 2001) anteriores al incendio y el modelo digital del terreno E=1/25.000, mediante el cual se generaron las capas de pendientes y orientaciones. El informe y el parte del incendio ayudaron a situar el foco de inicio del fuego, así como las condiciones meteorológicas y de los combustibles en el momento del incendio. Teniendo como referencia el perímetro real, la superficie afectada y el tiempo de duración del incendio se realizaron los tanteos pertinentes hasta obtener un comportamiento razonablemente similar al perímetro real,

teniendo en cuenta que Visual-Cardin efectúa una simulación libre y no tiene en cuenta la actuación de los medios de control y extinción. El resultado final es un conjunto de mapas de simulación libre en formato *ráster* con píxeles de 25m x 25 m en los que se zonifica la intensidad lineal (kW/m), la altura de llama (m) y la velocidad del frente de avance (m/min) en el perímetro del incendio (figura 2). La superposición de las parcelas de toma de datos de campo georreferenciadas permite obtener los valores teóricos de las variables de salida del comportamiento del fuego para cada una de ellas. Para cada parcela de 3m x 3m se ha considerado el valor ofrecido por el píxel de 25m x 25m en el que se incluye.

Tratamiento estadístico de los datos

Se realizó un análisis exploratorio de los datos mediante el estudio de la matriz de correlaciones para conocer la independencia de las mismas y la posible correlación entre las variables independientes (variables de salida de Visual-Cardin) y dependientes (variables tomadas en campo después de los incendios). Con las variables que ofrecieron mejores correlaciones se utilizaron modelos de regresión simples lineales y no lineales. Se eligieron los modelos que resultaron más sencillos, con mejores ajustes (r^2) y menores errores (MSE y MAE). Los coeficientes de las ecuaciones lineales se obtuvieron por mínimos cuadrados ordinarios y los de las ecuaciones no lineales mediante el algoritmo de Marquardt de forma iterativa. Para todo ello se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS ®.

Resultados y Discusión

De las 25 variables dependientes consideradas para comprobar su relación con las 3 variables de salida ofrecidas por Visual-Cardin, finalmente se tuvieron en cuenta 9 variables, que son las que ofrecieron más significación con aquéllas (tabla 2). Así las mayores correlaciones para la medición de 2000 (n=31) las encontramos entre la intensidad (kW/m) y el espesor de mantillo remanente ($c=0,5963$; $p=0,0004$), la altura de matorral ($c=0,5420$; $p=0,0016$), la altura ponderada de matorral ($c=0,5850$; $p=0,0005$) y la altura de las plántulas de *P. pinaster* ($c=0,5678$; $p=0,0009$). También existe correlaciones altas entre la velocidad de propagación y el porcentaje de ocupación de hojarasca y mantillo remanente ($c=0,4919$; $p=0,0049$). La variable de salida ofrecida por Visual-Cardin que ofreció correlaciones con mayor número de variables independientes fue la longitud de llama, que además de todas las ya mencionadas, se obtuvo significación para la densidad de *P. pinaster* ($c=0,3836$; $p=0,0332$). En todos los casos se puede comprobar que las correlaciones son positivas, esto es, las mayores intensidades, velocidad de propagación y longitudes de llama estarían correlacionadas con mejores regeneraciones a corto plazo. Este hecho se ha comprobado en numerosas experiencias en quemas prescritas donde el mayor tiempo de resiliencia de las llamas, asociado generalmente a velocidades del frente de avance más lentos y con menor intensidad lineal, provocan la mayor afectación de la parte aérea y radical de la vegetación y la consunción de la capa de hojarasca y mantillo (Vega et al. 2000) de vital importancia para la regeneración posterior al incendio (Martínez et al. 2002). Para la medición de 2003 (n=21) las mayores correlaciones se obtuvieron entre la velocidad de propagación con la cobertura de matorral ($c=-0,42$; $p=0,0524$) y la densidad de *P. pinaster* ($c=0,44$; $p=0,0420$), y entre la altura de las plantas de *P. pinaster* y la longitud de llama ($c=0,66$; $p=0,0010$). Por tanto, para los dos incendios considerados, entre cuatro y cinco años tras el suceso, existiría una tendencia a obtener mayor regeneración de *P. pinaster* y menor cobertura del matorral en zonas donde existió mayor velocidad teórica del frente de avance. Una mayor velocidad del frente de avance pudo provocar la apertura de las piñas durante el paso del fuego y menores daños al lecho de germinación (menores consunciones de la capa de hojarasca y mantillo), debido a la exposición a altas temperaturas durante breves espacios de tiempo (Tapias y Gil 2000). Este efecto que pudo ser de mayor importancia en las masas de Teleno que en las de El Escorial, ya que la acusada serotinia de aquéllas favorecería la apertura de gran cantidad de piñas (Tapias et al. 2001). En estas situaciones el regenerado de *P. pinaster* pudo regenerar y competir mejor con el resto de la vegetación acompañante (Madrigal et al. 2005). Sin embargo, zonas con aparentemente escasa afectación por la baja intensidad del incendio, pudieron provocar la consunción total de la capa de hojarasca y mantillo y un fuerte daño a las raíces y copas de los árboles, con exposición prolongada

del cambium y de las piñas a altas temperaturas. En estas condiciones los matorrales pudieron competir mejor con el regenerado de *P. pinaster*.

Los modelos de mejor ajuste han sido en general *no lineales*. La estrecha relación entre las tres variables de salida de Visual-Cardin ($p=0,0000$), hace que las relaciones entre variables dependientes e independientes no siempre coincidan con las mayores significaciones obtenidas en la matriz de correlaciones. Este es el caso de los modelos para HPP y DPP cuyas correlaciones lineales eran mas altas con la variable L, pero los modelos no lineales ofrecen mejor ajuste para ecuaciones recíprocas con la variable V (tabla 3). Los ajustes son moderados o bajos, pero teniendo en cuenta la complejidad del proceso de regeneración post-incendio en estas masas y conociendo el gran número de factores implicados (Madrugal 2005), es importante resaltar que algunas variables de salida ofrecidas por Visual-Cardin expliquen entre el 20% y el 62% de la variabilidad de las variables dependientes consideradas (tabla 3). De igual manera se debe destacar la significación de las variables independientes (I, V, L) respecto a variables obtenidas en campo 4 y 5 años tras el incendio (DPP2, HPP2, %OCUPMAT2). Este hecho mostraría la influencia del comportamiento del fuego en la dinámica de la regeneración de diferentes grupos de especies, en este caso el matorral y el pino negral.

Conclusiones

El simulador Visual-Cardin se ha mostrado como una herramienta eficaz para reconstruir incendios pasados, ofreciendo información añadida de alto interés, no sólo para la mejora de los dispositivos de control y extinción, sino para los posibles efectos a corto plazo en las condiciones del lecho de germinación y la vegetación regenerada después de los incendios. La extensión de esta metodología a otras masas forestales permitiría estimar la regeneración esperada inmediatamente después del suceso, de manera que se pudieran planificar los trabajos de restauración desde fases muy tempranas. A su vez, esta metodología podría utilizarse como herramienta preventiva, de manera que la simulación de diferentes escenarios de regímenes e intensidades de fuego podría ofrecer información de la zonas más vulnerables de cara a la recuperación de la vegetación.

Tabla 1. Características generales de los incendios objeto de estudio y de la toma de datos de campo post-incendio.

	Teleno	Verin	El Escorial	
Características generales del incendio y meteorología	Año del incendio	1998	1999	1999
	Superficie (ha)	3000	680	450
	Velocidad del viento (Km/h)	80	25	15
	Rumbo del viento dominante	315	315	180
	Temperatura (°C)	20	17	25
	Humedad relativa (%)	60	75	40
	Modelos de combustible afectados	5,6,7,9	1,4,5,6,7,9	1,4,5,8
Características generales de la toma de datos de campo post-incendio	Año de recogida de datos	2000 2003	2000	2000 2003
	Nº de transectos	11	10	10
	Nº de parcelas	53	50	50
	Vegetación dominante	<i>P. pinaster</i> <i>Erica</i> sp. <i>Halimium</i> sp.	<i>P. pinaster</i> <i>Chamaespartium tridentatum</i>	<i>P. pinaster</i> <i>Cytisus</i> sp. <i>Genista</i> sp. <i>Cistus</i> sp.

Tabla 2. Variables utilizadas para la obtención de modelos de regresión. Para cada una de ellas se muestra el promedio, el error estándar y el rango.

	Media	Error estándar	Rango	
Variables dependientes	Porcentaje de hojarasca y mantillo (% HOJMANT, %)	20,77	3,63	0,14-67,5
	Espesor de la capa de mantillo (H_MANT, cm)	0,57	0,08	0-1,39
	Altura media de matorral en 2000	14,35	1,21	2,90-29,62

(toma de datos de campo entre 1 y 2 años tras el incendio) n=31	(H_MAT, cm)			
	Altura de matorral ponderada con la ocupación por especie en 2000 (HPONDMAT, cm)	16,31	1,44	3,38-36,03
	Altura media del regenerado de <i>P. pinaster</i> en 2000 (HPP, cm)	5,94	0,40	2,46-13,78
Variables dependientes (toma de datos de campo entre 4 y 5 años tras el incendio) n=21	Densidad media del regenerado de <i>P. pinaster</i> en 2000 (DPP, pies/ha)	43.025	11.733	2.222-284.889
	Cobertura de matorral en 2003 (%OCUPMAT2, %)	67,16	4,24	19,27-100
	Densidad media del regenerado de <i>P. pinaster</i> en 2003 (DPP2, pies/ha)	30.060	9485	0-166.667
Variables independientes (salidas ofrecidas por Visual-Cardin)	Altura media del regenerado de <i>P. pinaster</i> en 2003 (HPP2, cm)	5,9	0,56	2,46-13,78
	Intensidad lineal (I, kW/m)	1222	116	200-2.000
	Velocidad de propagación (V, m/min)	4,54	0,38	0,7-7
	Longitud de llama (L, m)	1,86	0,14	0,5-3

Tabla 3. Modelos generados con los grupos de variables de mayor significación. Se muestran los grupos de variables dependientes estudiados, los modelos, así como los parámetros de ajuste y error de cada uno de ellos. Se señala en negrita los modelos para cada variable dependiente de mayor ajuste y menores errores.

Grupos de variables dependientes	Modelo	Coefficiente de correlación CC	r ²	Error estándar SEE	F	n	p
Variables relacionadas con el lecho de germinación	%HOJMANT= 1,58V^{1,42}	0,72	0,52	1,03	33,12	31	0,0000
	%HOJMANT= 4,65L ^{1,61}	0,63	0,39	1,16	19	31	0,0002
	%HOJMANT= 0,01I ^{0,99}	0,57	0,33	1,22	14,15	31	0,0008
Variables relacionadas con cobertura y altura de matorral	H_MANT=(0,20+0,25L)²	0,63	0,40	0,25	19,35	31	0,0001
	H_MANT=(0,30+0,003I) ²	0,62	0,39	0,26	18,64	31	0,0002
	H_MANT=(0,31+0,08V) ²	0,54	0,29	0,28	12,01	31	0,0017
Variables relacionadas con cobertura y altura de matorral	H_MAT=e^(1,86+0,0005I)	0,58	0,34	0,48	15,38	31	0,0005
	H_MAT=e ^(2,04-0,1V)	0,38	0,15	0,55	5,00	31	0,0332
	H_MAT=e ^(1,76+0,4L)	0,54	0,30	0,50	12,36	31	0,0015
Variables relacionadas con la regeneración de <i>P. pinaster</i>	HPONDMAT= e^(1,93+0,0005I)	0,61	0,38	0,48	17,75	31	0,0002
	HPONDMAT= e ^(2,09+0,12V)	0,42	0,18	0,55	6,49	31	0,0164
	HPONDMAT= e ^(1,83+0,43L)	0,57	0,33	0,50	14,22	31	0,0007
Variables relacionadas con la regeneración de <i>P. pinaster</i>	%OCUPMAT2= e^(4,44-0,07V)	-0,45	0,20	0,34	4,91	21	0,0391
	%OCUPMAT2= e ^(4,37-0,12L)	-0,29	0,09	0,36	1,78	21	0,1980
	%OCUPMAT2= e ^(4,37-0,0001I)	-0,35	0,12	0,35	2,63	21	0,1216
Variables relacionadas con la regeneración de <i>P. pinaster</i>	DPP=1/(0,0003+0,0001/V)	0,61	0,38	0,0007	17,66	31	0,0002
	DPP=1/(8,87+0,0009/I)	0,49	0,24	1,03	9,30	31	0,0049
	DPP=1/(8,50+0,78/L)	0,53	0,29	1,00	11,76	31	0,0018
Variables relacionadas con la regeneración de <i>P. pinaster</i>	DPP2=(43,79+26,81V)²	0,54	0,30	92,54	11,50	21	0,0022
	DPP2=(63,41+54,21L) ²	0,41	0,17	100,48	5,59	21	0,0255
	DPP2=(104,53+0,05I) ²	0,30	0,09	105,29	2,68	21	0,1133
Variables relacionadas con la regeneración de <i>P. pinaster</i>	HPP=1/(0,13+0,15/V)	0,79	0,62	0,05	49,04	31	0,0000
	HPP=1/(0,14+28,68/I)	0,64	0,42	0,06	20,76	31	0,0001
	HPP=1/(0,11+0,10/L)	0,72	0,53	0,05	32,71	31	0,0000

HPP2=16,5+17,9L	0,44	0,20	30,31	6,72	21	0,0152
HPP2=29,91+4,43V	0,29	0,09	32,37	2,56	21	0,1210
HPP2=28,77+0,02I	0,34	0,12	31,78	3,69	21	0,0654

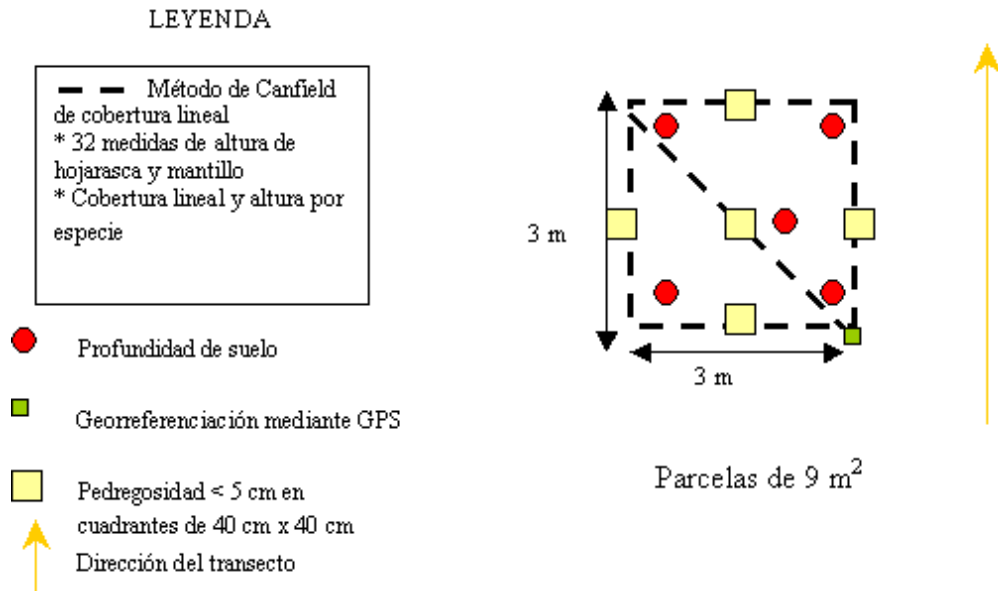


Figura 1. Esquema de toma de datos de campo después de los incendios estudiados

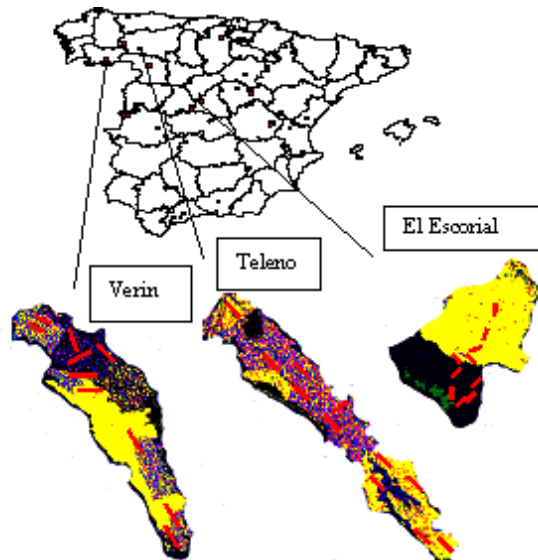


Figura 2. Mapa de España con las cuadrículas afectadas por grandes incendios de *P. pinaster* en el decenio 1991/2000, donde se señala la situación de los incendios objeto de estudio, los mapas de salida de intensidad lineal (kW/m) ofrecidas por Visual-Cardin y la situación de los transectos de toma de datos de campo. Se muestran sólo los valores teóricos de los píxeles en el interior del perímetro real del incendio. Los colores oscuros (azul, morado, rosa) mostrarían menor intensidad (0-1.000 kW/m) y los colores claros (naranja, rojo, amarillo) mayor intensidad (>1.000 kW/m).

Bibliografía

CABALLERO D., 2004. “Interfaz Urbano Forestal en Europa: un marco de trabajo y aproximación al problema, el proyecto WARM”. En: III Seminario Internacional Interfaz Urbano Forestal en

- Europa. Los incendios de 2003, lecciones aprendidas y su utilización práctica. 26-27 de mayo de 2004, ETSI de Montes, Madrid. (comunicación personal).
- CANFIELD R.H., 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. Southwestern Forest and Range Experiment Station. USDA, 388-394.
- FINNEY M.A., 1998. "FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and evaluation". USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Research Paper RMRS-RP4- Revised, 47 pp.
- MARIGAL J., 2005. "Regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. tras grandes incendios forestales: factores influyentes". Tesis Doctoral. ETSIAM. Universidad de Córdoba. 400 pp.
- MADRIGAL J., HERNANDO C., MARTÍNEZ E., GUIJARRO M., DÍEZ C., 2005. Regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central, España): modelos descriptivos de los factores influyentes en la densidad inicial y la supervivencia. Invest Agrar: Sist Recur For 14 (1): XX-XX.
- MARTÍNEZ E., MADRIGAL J. , HERNANDO C., GUIJARRO M., VEGA J.A., PÉREZ-GOROSTIAGA P., FONTURBEL M.T., CUIÑAS P., ALONSO M., BELOSO M.C., 2002. "Effect of fire intensity on seed dispersal and early regeneration in a *Pinus pinaster* forest". Forest Fire Research and Wildland Fire Safety, Luso , Portugal (Viegas D. ed.).
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2002. Banco de datos de la naturaleza, Actividades y productos. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid, 26 pp.
- MOLINA D., 2000. Planes de quemas controladas. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 9: 265-279.
- RODRÍGUEZ SILVA F., 2000. "Ejemplos de planes de defensa en España: Andalucía". En: La defensa contra incendios forestales., Fundamentos y experiencias. Ricardo Vélez (coordinador). McGraw-Hill, Madrid, 22.42 pp.
- RODRÍGUEZ SILVA F., 1999. " A forest fire simulation tool for economic planning in fire management models: an application of the Arcar-Cardin strategic model". Proceedings of the symposium on fire economics, planning and policy: bottom lines. USDA Forest Service. San Diego, Ca. PSRS., General Technical Reports PSW.GTR-173 , p:143-148.
- ROTHERMEL R.C., 1972. "A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels". USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Research Paper INT-115. 40 pp.
- TAPIAS R., GIL L., 2000. "Adaptación reproductiva de las especies forestales ante el fuego" En: La defensa contra incendios forestales., Fundamentos y experiencias. Ricardo Vélez (coordinador). McGraw-Hill, Madrid, 22.42 pp.
- TAPIAS R., GIL L., FUENTES-UTRILLA P., PARDOS J.A., 2001. Canopy seed banks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology* 89: 629-638.
- VEGA J.A., LANDSBERG J., BARÁ S., PAYSEN T., FONTURBEL M.T., ALONSO M., 2000. Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 9: 123-136.
- VEGA J.A., PÉREZ-GOROSTIAGA P., FONTURBEL T., CUIÑAS P., HERNANDO C., GUIJARRO M., MARTINEZ E., MADRIGAL J., ALONSO M., BELOSO M.C., DURÁN CARRIL M.V., DÍEZ C., 2003. "Regeneración de *P. pinaster* Ait. tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla". Informe final del Proyecto INIA SC-99-018-C2. Madrid. Noviembre 2003. (inédito).