

## LOS FOCOS SECUNDARIOS EN LOS INCENDIOS FORESTALES: ESTUDIO Y MODELIZACIÓN

M. Guijarro<sup>(1)</sup>, P. Pérez-Gorostiaga<sup>(2)</sup>, J. Madrigal<sup>(1)</sup>, C. Díez<sup>(1)</sup> y J.A. Vega<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> CIFOR-INIA. Carretera de La Coruña km 7. 28040 Madrid. [guijarro@inia.es](mailto:guijarro@inia.es)

<sup>(2)</sup> Departamento de Protección Ambiental. CIFA Lourizán. Apartado 127. 36080 Pontevedra.

### Resumen

En la evolución de los incendios forestales es frecuente la aparición de focos secundarios fuera de su perímetro, originados por pavesas, situación que puede tener importantes consecuencias sobre las estrategias de lucha. Para analizar este fenómeno, se seleccionaron 36 incendios en los que se identificaron 83 situaciones en las que hubo 65 episodios de aparición de focos secundarios. En los incendios estudiados, se recogió información documentada relativa a la vegetación afectada, al comportamiento del fuego, al relieve y a las condiciones meteorológicas. Con los datos recopilados, se han buscado modelos estadísticos de predicción de la probabilidad de ocurrencia de un salto, así como de la distancia de transporte de las pavesas que generan focos secundarios. Los principales factores implicados referentes a la zona de emisión de las pavesas son las condiciones meteorológicas (velocidad del viento), las características del arbolado (fracción de cubierta), y la altura del matorral y las herbáceas. En la zona de recepción de las pavesas, las variables más significativas son la pendiente y la presencia de estrato herbáceo. Los resultados obtenidos permiten orientar estudios posteriores para mejorar la capacidad predictiva de los modelos y, en su caso, utilizarlos como apoyo a la toma de decisiones en la extinción de los incendios.

**Palabras clave:** pavesas, Proyecto SALTUS, saltos de fuego, fuego salpicado

### INTRODUCCIÓN

El fuego salpicado un fenómeno habitual en el desarrollo de los incendios forestales. Su aparición por delante del frente de avance de las llamas provoca generalmente una aceleración del mismo y la generación de multitud de focos secundarios. El mayor problema para el director de extinción es, quizás, la aparición de focos secundarios en zonas donde operan los medios de extinción o donde se esté planificando una línea de defensa lo que haría inviable cualquier estrategia de ataque y provocaría el consiguiente riesgo para los medios humanos y materiales. Por tanto, la predicción de la probabilidad de aparición de este fenómeno, así como de la posible distancia recorrida por las pavesas que sean capaces de generar focos secundarios, podría ser de gran ayuda para planificar convenientemente las líneas de defensa y disponer de una herramienta de toma de decisiones añadida a las ya utilizadas en España para predecir el comportamiento del fuego, como los simuladores CARDIN (MARTÍNEZ-MILLÁN *et al.* 1991) y FARSITE (FINNEY 1998).

El fenómeno físico del **salto de fuego** se compone de tres fases (ANDERSON 1968):

1. La **proyección de partículas** incandescentes dentro de la columna de convección desde la llamada *zona de emisión*.
2. El **transporte** de las partículas que incluye la ascensión vertical de éstas con la columna de convección, el transporte horizontal debido al viento y su caída posterior.
3. La aparición de un **foco secundario** como consecuencia de la ignición de la cubierta en la llamada *zona de recepción* de la pavesa.

Existen escasas referencias de modelos físicos o empíricos para la predicción de la proyección de partículas y su distancia de transporte (ALBINI 1979, 1983; CHASE 1984; ROTHERMEL 1983)

y son aún más escasos los que tienen en cuenta la probabilidad de aparición de focos secundarios en la zona de recepción de la pavesa, dando lugar a episodios de fuego salpicado (ALEXANDRIAN 2002). Excepto en el caso de las ecuaciones de ALBINI (1979) que están integradas en el módulo “spot” del sistema BEHAVE, el uso de estos modelos es escaso debido a la complejidad del proceso y el gran número de variables implicadas, no siempre de fácil obtención. El presente trabajo pretende ser una primera aproximación a la obtención de modelos de predicción empíricos de saltos de fuego, de fácil manejo, y que podrían ser utilizados no sólo en la fase de extinción, sino que su posible uso de manera preventiva podría ayudar a dimensionar con más criterios las infraestructuras de defensa en las comarcas con alto riesgo y peligro de incendios forestales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Obtención de datos*

En el año 1999 se analizaron, en el contexto del Proyecto de Investigación Europeo SALTUS (CONSORCIO SALTUS 1997) 36 incendios ocurridos en el Noroeste y Centro Peninsular (GUIJARRO *et al.* 2004), en los que se describieron 83 situaciones, en las cuales se generaron 65 saltos de fuego. Para cada situación se recopilaron datos procedentes de los partes de incendio, mapas, fotografías y condiciones meteorológicas (INM). Se recogió *in situ* y con la ayuda del personal implicado en la extinción, información sobre la vegetación, topografía, comportamiento del fuego y, en su caso, sobre los saltos de fuego y la distancia de transporte de las pavesas. El resultado final fue la obtención de 80 variables independientes para cada situación que proporcionan su descripción espacio-temporal, permitiendo además estimar las condiciones meteorológicas, así como la fisiografía, la vegetación y las características del incendio en las zonas de emisión y recepción de las pavesas. Las variables dependientes consideradas fueron, por tanto, la aparición o no de “salto” en cada situación estudiada y la distancia de transporte de las pavesas. En todos los casos se consideró como “salto” aquella situación que provocó un foco secundario fuera del perímetro del incendio.

### *Tratamiento estadístico*

Para la obtención de los diferentes modelos de predicción se utilizaron los paquetes estadísticos STATGRAPICS PLUS ® y STATISTICA ®, siguiendo el proceso que a continuación se describe:

1. Se realizó un análisis exploratorio de los datos mediante el análisis de la *matriz de correlaciones* para hallar la significación de la relación entre las variables dependientes e independientes y poder evitar la multicolinealidad en la elaboración de los modelos.
2. Se obtuvieron modelos predictivos de la **probabilidad de la ocurrencia de un salto** y de la **probabilidad de la ocurrencia de un salto mayor de 100 m**, utilizando la regresión logística *stepwise* expresada por la fórmula:

$$P = 1 / (1 + e^{-(a + \sum b_i x_i)})$$

donde  $P$  es la probabilidad de que un evento (variable dependiente) ocurra. En el primer caso, expresaría la probabilidad de “salto” ( $P = 1$ ) o “no salto” ( $P = 0$ ); en el segundo caso, expresaría la probabilidad de que ocurra un “salto con transporte de pavesa superior a 100 m” ( $P = 1$ ) o “ausencia de salto o salto con transporte de pavesa inferior a 100 m” ( $P = 0$ ). En ambos modelos,  $a$  es la constante del modelo logístico y  $b_i$  el coeficiente estimado para cada variable independiente  $x_i$  por el método de máxima verosimilitud de forma iterativa. El modelo se construye mediante una selección de variables *stepwise*, donde el estadístico  $\chi^2$  determina las variables que deben ser incluidas o no en el modelo.

3. Se obtuvieron los modelos de clasificación de la **distancia de transporte de partículas** utilizando

la regresión multinomial, que es una generalización de la regresión logística, expresada por la fórmula:

$$P(y = j) = 1/(1+e^{-(a+\sum b_i x_i)})$$

para  $j = 1, 2, \dots, (k-1)$  y  $P(y = k) = 0$ , donde  $P$  es la probabilidad de que un evento (variable dependiente) ocurra para cada categoría  $j$ ;  $a$  es la constante del modelo no lineal y  $b_i$  el coeficiente estimado para cada variable independiente  $x_i$  por el método de máxima verosimilitud de forma iterativa.

En este caso se consideraron tres categorías de “salto”:  $P(y = 0) =$  “no salto”;  $P(y = 1) =$  “salto con transporte de pavesa inferior a 100 m”;  $P(y = 2) =$  “salto con transporte de pavesa superior a 100 m”. En estos modelos se pueden cometer, por tanto, errores de tipo 1 (errores en la clasificación de categorías contiguas) y errores de tipo 2 (errores en la clasificación de categorías no contiguas, en este caso clasificar categoría 0 como 2 o viceversa).

- La capacidad máxima de predicción de casos clasificados correctamente, el pseudo-coeficiente de determinación ajustado (*pseudo-R<sup>2</sup>ajust.*), el valor del estadístico  $\chi^2$  y la desviación evaluada mediante el valor  $-2LL$ , ofrecen una medida de la bondad de ajuste de todos los modelos y permiten compararlos entre sí para ofrecer el modelo más robusto y con menores errores.

## RESULTADOS

### *Determinación de las variables utilizadas en los modelos y rangos de aplicación*

La matriz de correlaciones permitió seleccionar 10 variables correlacionadas con la distancia de transporte (considerando como distancia nula la ausencia de salto) e independientes entre sí, que se utilizaron para generar los modelos propuestos. En la Tabla 1 se muestran los rangos de cada una de las variables junto con los de la variable dependiente “transporte”, que posteriormente se categorizó para incluirla en los modelos, tal y como se detalló en el Apartado anterior. En el caso de la cobertura de herbáceas y arbolado se generaron variables dicotómicas de presencia-ausencia.

		Media	s.e.	Rango
<b>Variable dependiente</b>				
Distancia de transporte (m)		209	40	0-2.400
<b>Variables independientes</b>				
Meteorología	Velocidad del viento máxima, Vmax (m/s)	6,5	0,3	0,2-15,1
	Velocidad del viento media, V (m/s)	3,9	0,2	0,0-8,9
Zona de emisión	Fracción de cabida cubierta de arbolado, Fcc (%)	59	4	0-100
	Cobertura de matorral, Cob_mat (%)	60	3	5-100
	Altura de matorral, H_mat (m)	1,24	0,07	0,35-3,00
	Altura de herbáceas, H_herb (m)	0,1	0,0	0,0-0,6
Zona de recepción	Pendiente (%)	15	2	0-85
	Fracción de cabida cubierta de arbolado, Fcc (%)	40	4	0-100
	Cobertura de matorral, Cob_mat (%)	63	4	5-100
	Cobertura de herbáceas, Cob_herb (%)	19	4	0-100

Tabla 1. Medias, errores estándar (s.e.) y rangos de las variables utilizadas en la elaboración de los modelos (n=83).

### *Modelos logísticos para la probabilidad de ocurrencia de saltos de fuego*

Los mejores modelos obtenidos se muestran en la Tabla 2. Se obtuvo un modelo general (n = 83) para la probabilidad de ocurrencia de salto. Los modelos para la probabilidad de ocurrencia de salto mayor de 100 m no ofrecieron ajustes aceptables excepto para la muestra correspondiente a masas de coníferas (n = 61). Los valores del estadístico  $\chi^2$ , indican que los modelos obtenidos

muestran una adecuación significativa a una ecuación logística, mientras los valores de p indican una alta significación de las variables seleccionadas mediante *stepwise* así como del ajuste general del modelo.

Modelo logístico	$\alpha$	Capacidad de predicción (% correcto)	-2LL	$\chi^2$	Ajuste
Probabilidad de salto Modelo general P = 1 (salto) P = 0 (no salto)	$\alpha = 2,26$ + 0,21 Vmax* + 0,01 Fcc * - 1,36 H_mat*** - 5,69 H_herb***	83	64,48	22,42	Pseudo-R <sup>2</sup> ajust. = 0,14 p = 0,000 n = 83 MSE = 0,02 MAE = 0,36
Probabilidad de salto mayor de 100 m Modelo para coníferas P = 1 (salto > 100 m) P = 0 (salto < 100 m)	$\alpha = -3,37$ + 0,31 Vmax* + 0,1 Pend_rec**	85	87,89	26,26	Pseudo-R <sup>2</sup> ajust. = 0,24 p = 0,000 n = 61 MSE = 0,03 MAE = 0,37

Tabla 2. Modelos para la probabilidad de ocurrencia de salto y la probabilidad de ocurrencia de un salto mayor de 100 m en masas de coníferas. El modelo logístico es del tipo  $P = \exp(\alpha)/(1+\exp(\alpha))$ . Se muestran las variables seleccionadas con sus correspondientes coeficientes estimados y su significación al 90 %\*, 95 %\*\* ó 99 %\*\*\*. Se muestran también el porcentaje máximo de casos clasificados correctamente (% Correcto), los parámetros de bondad de ajuste (-2LL,  $\chi^2$ , Pseudo-R<sup>2</sup>ajust.) y errores (MSE, MAE) de cada modelo.

El modelo general presenta un ajuste bajo, con un *pseudo-R<sup>2</sup>ajust.* de 0,14 y clasifica correctamente el 83 % de los casos, aunque con la presencia de un gran número de falsos positivos, esto es, tiende a clasificar como *salto* más del 50 % de los casos en los que no se observó *salto*. Las variables seleccionadas fueron la velocidad máxima del viento (Vmax) y las características de la vegetación en la zona de emisión de pavesas: fracción de cabida cubierta del arbolado (Fcc), altura del matorral (H\_mat) y altura de las herbáceas (H\_herb). En la Figura 1-1 se puede comprobar que para los valores medios de Fcc, H\_mat y H\_herb, la probabilidad de salto es superior al 85 % para rachas de vientos máximas superiores a 8 m/s. Esta probabilidad se incrementa cuando las zonas de emisión presentan alta cobertura de arbolado y alturas bajas de matorral y herbáceas (Figura 1-2). Por el contrario, el modelo obtenido predice probabilidades bajas de salto en zonas de matorral y herbáceas con escasez de cobertura arbolada (Figuras 1-3 y 1-4).

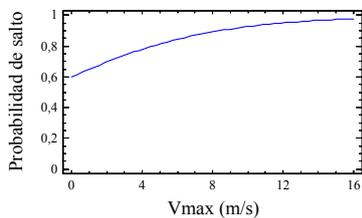


Figura 1-1

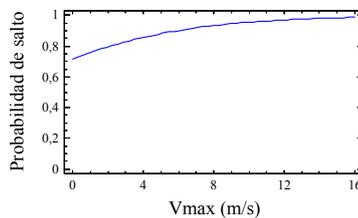


Figura 1-2

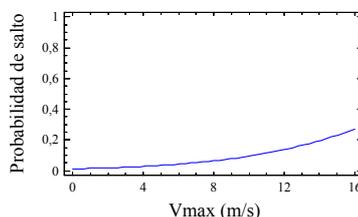
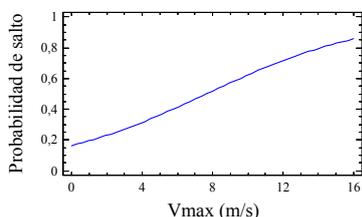


Figura 1-3

Figura 1-4

Figuras 1-1 a 1-4. Representación del modelo logístico general de probabilidad de salto (n = 83) según las rachas de velocidad del viento máxima Vmax (Fig. 1-1) para condiciones medias de todas las variables independientes; (Fig. 1-2) con Fcc=100% en la zona de emisión; (Fig. 1-3) con matorral de 3 m de altura en la zona de emisión; (Fig. 1-4) con herbáceas de más de 0,5 m de altura en la zona de emisión.

El modelo para saltos mayores de 100 m en masas de coníferas incluye dos variables significativas: la velocidad del viento máxima (Vmax) y la pendiente en la zona de recepción de la pavesa (Pend\_rec). Su ajuste es moderado ( $pseudo-R^2_{ajust.}=0,24$ ), pero posee alta capacidad de predicción, ya que clasifica correctamente el 85 % de los casos. En este caso, el porcentaje de falsos positivos (situaciones predichas como salto > 100 m sin haberse observado) es mucho menor (9 %). En la Figura 2 se representa el modelo en tres dimensiones. Se puede comprobar que, en masas de coníferas con las pendientes de la zona de recepción superiores al 40 % y los vientos máximos mayores de 12 m/s, la probabilidad de que se produzca un salto mayor de 100 m es superior al 80 %.

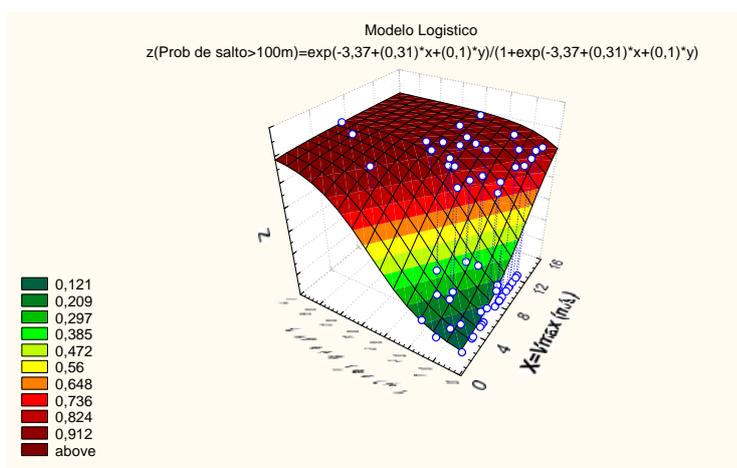


Figura 2. Representación del modelo logístico para saltos mayores de 100 m en masas de coníferas (n = 61) según las dos variables independientes seleccionadas: velocidad máxima del viento y pendiente en la zona de recepción de la pavesa.

*Modelos multinomiales para la clasificación de la probabilidad de ocurrencia de saltos de fuego y transporte de pavesas.*

Como extensión de los modelos logísticos, se probaron diferentes modelos multinomiales que intentaban reunir los resultados obtenidos anteriormente en un solo modelo para clasificar las probabilidades de la ocurrencia de no salto (P = 0), salto menor de 100 m (P = 1) y salto mayor de 100 m (P = 2). Los mejores modelos obtenidos se muestran en la Tabla 3, donde se detalla un modelo general con los 83 datos disponibles y otro para masas de coníferas (n = 61).

Modelo multinomial	$\alpha$	Capacidad de predicción	-2LL	$\chi^2$	Ajuste
Probabilidad de salto Modelo general P=2 (salto>100m) P=1 (salto<100m) P=0 (no salto)	$\alpha_0 = 1,01$ -0,49 Vmax*** +1,59 Cob_mat*** -1,29 Pres_herb_rec*** $\alpha_1 = 1,05$ -0,35 Vmax* -0,06 Cob_mat +0,35 Pres_herb_rec	<b>Correcto</b> 57 % <b>error tipo 1</b> 32 % <b>error tipo 2</b> 11 %	127,75	162,46	PseudoR <sup>2</sup> ajust. = 0,12 n = 83
Probabilidad de salto -Modelo para coníferas- P=2 (salto>100m) P=1 (salto<100m) P=0 (no salto)	$\alpha_0 = 1,25$ +0,26 Vmax +0,09Pend_rec*** +0,57 Pres_herb_rec*** $\alpha_1 = 0,95$ +0,17 Vmax** +0,03 Pend_rec**	<b>Correcto</b> 72 % <b>error tipo 1</b> 26 % <b>error tipo 2</b> 2 %	89,01	151,93	PseudoR <sup>2</sup> ajust. = 0,20 n = 61

Tabla 3. Modelos para la probabilidad de salto. Se muestran las variables seleccionadas con sus correspondientes coeficientes estimados para cada *logit* y su significación al 90%\*, 95%\*\* ó 99%\*\*\*. Asimismo, se muestra la capacidad de predicción de casos acertados y los errores, los estadísticos de ajuste para las variables seleccionadas en sendos modelos multinomiales, donde  $P(\text{salto} = 0) = \alpha_0 / 1 + e^{\alpha_0}$ ;  $P(\text{salto} = 1) = \alpha_1 / 1 + e^{\alpha_1}$ ;  $P(\text{salto} = 2) = 1 - P(\text{salto} = 0) - P(\text{salto} = 1)$ ; siendo  $P(\text{salto} = j)$  la probabilidad de que una categoría de “salto” pertenezca a la clase  $j$ .

Las variables seleccionadas que coinciden con los modelos logísticos son *Vmax* y *Pend\_rec*. En este caso resultó también significativa la cobertura de matorral de la zona de emisión (*Cob\_mat*) y la presencia de herbáceas en la zona de recepción de la pavesa (*Pres\_herb\_rec*). El modelo general presenta un porcentaje de casos acertados bajo (57 %) y sobre todo una baja capacidad de predicción de las situaciones sin *salto* ( $P = 0$ ) que tiende a clasificarlas como *salto* con transporte menor de 100 m (31 %) e incluso como transporte mayor de 100 m (15 %). Este alto número de falsas alarmas hace que este modelo sea poco fiable desde el punto de vista predictivo. Por el contrario, la mayor bondad del ajuste del modelo generado para masas de coníferas (valores de  $\chi^2$  y  $-2LL$ ) ofrece resultados mucho mejores. La capacidad de predicción es del 72 % de los casos. En esta ocasión el número de falsas alarmas es mucho menor, estando el porcentaje de casos acertados para cada categoría mucho más equilibrado. Así, para el caso de la categoría de salto “0” (sin salto), presenta un 64 % de aciertos, con un 27 % de errores tipo 1 y un 9 % de errores de tipo 2.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las variables seleccionadas en los modelos presentados coinciden con algunas de las que resultaron significativas en los modelos probabilísticos desarrollados por ALEXANDRIAN (2002), que conceden gran importancia a la velocidad máxima y las rachas ocasionales del viento, no sólo en el transporte, sino también en la aparición de focos secundarios. En dichos modelos resultó ser la biomasa de la zona de emisión el factor más significativo de los referidos a la vegetación. El viento y los modelos de combustible presentes son también variables indispensables en los modelos de transporte físicos o semifísicos utilizados hasta el momento (ALBINI 1979 y 1983, CHASE 1984, ROTHERMEL 1983). En los modelos desarrollados en este trabajo la biomasa de la zona de emisión no resultó significativa, sin embargo sí han resultado significativas la cobertura de arbolado y la altura del matorral y de las herbáceas. La importancia de la pendiente en la zona de emisión, que influye en el comportamiento del fuego y en la columna de convección, no parece tener una intervención decisiva según los modelos obtenidos. Por el contrario, parece más determinante la pendiente en la zona de recepción de la pavesa, que junto con la presencia de herbáceas, predice una mayor probabilidad de aparición de focos secundarios. Los ensayos realizados en laboratorio (GUIJARRO *et al.*, 2002; PÉREZ-GOROSTIAGA *et al.*, 2002) ponen también de manifiesto la mayor capacidad de las herbáceas para iniciar un foco secundario en comparación con las hojarascas de especies arboladas. Por tanto, las zonas en mosaico de matorral y herbáceas con pinares, serían las de mayor probabilidad de ocurrencia de salto, ya que las áreas arboladas dan lugar a la proyección de fragmentos de partículas en la columna de convección y, en cambio, las zonas desarboladas con presencia de herbáceas muy expuestas serían puntos de alta probabilidad de ignición de la cubierta receptora de la pavesa (COLIN *et al.* 2002). Los modelos generales obtenidos parecen predecir con cierta fiabilidad estas situaciones, aunque en general presentan un elevado número de falsas alarmas. En el caso de los modelos para masas de coníferas, estos ajustes son algo mejores.

En lo referente a la predicción del transporte de pavesas y aparición de fuego salpicado, los modelos poseen alta capacidad predictiva, discriminando razonablemente bien la probabilidad de saltos mayores o menores de 100 m, que se consideran los más peligrosos desde el punto de vista de la estrategia y la táctica de ataque al incendio. En la mayoría de las situaciones y según los modelos desarrollados, las rachas de viento superiores a 10 m/s serían las que provocarían probabilidades altas de saltos largos, con transporte superior a 100 m.

La simplicidad de las ecuaciones generadas y la facilidad de obtención de los datos haría viable la inclusión de estas variables en los partes de incendios elaborados por los servicios forestales

y de esta manera se abriría la posibilidad de poder ir mejorando el ajuste de los parámetros, al menos en los modelos para coníferas que son los que han resultado con mayor capacidad predictiva. La aplicación de los mismos en las estrategias de ataque al incendio o en la planificación de infraestructuras de defensa supondría una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de los directores de extinción y de los gestores de zonas de alto riesgo y peligro de incendios.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a los técnicos y agentes forestales de las Comunidades Autónomas en las que se ha llevado a cabo el trabajo por la ayuda prestada en la reconstrucción de los incendios. Asimismo, desean resaltar el importante trabajo desarrollado por D. Emilio Martínez Herranz, becario de la CAM con destino en el Laboratorio de Incendios Forestales del INIA, por D. Antonio Arellano, capataz del Departamento de Protección Ambiental de Lourizán y por D<sup>a</sup> Eva Gabriel, ingeniero técnico forestal contratada por la DGCN con destino en el Laboratorio de Incendios Forestales del INIA durante la campaña de incendios del año 1999.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALBINI, F.A. ; 1979. *Spot fire distance from burning trees: a predictive model*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-56. 73 pp.
- ALBINI, F.A. ; 1983. *Potential spotting distance from wind-driven surface fires*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-309. 27 pp.
- ALEXANDRIAN, D.; 2002. A probabilistic model for forecasting spot fires. In: D.X. Viegas (ed.), *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress. Rotherdam.
- ANDERSON, H.E.; 1968. *Sundance Fire: an analysis of fire phenomena*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Research Paper INT-56. 39 pp.
- CHASE, C.H.; 1984. *Spotting distance from wind-driven surface fires: extensions of equations for pocket calculations*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Research note INT-346. 21 pp.
- COLIN, P.Y.; LAMPIN-CABARET, C.; DELBOULBÉ, E.; COSTE, N.; MARCILLAT, J.; PEREIRA, J.C.; BINGGELI, F.; GAULIER, A.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C.; LODDO, G.; DITANA, E.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; DIEZ, C.; MARTINEZ, E.; MADRIGAL, J.; VEGA, J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; ALEXANDRIAN, D. & DIMITRAKOPOULOS, A.; 2002. SALTUS Program – Spot fires. Knowledge and modelling. In: D.X. Viegas (ed.), *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress. Rotherdam.
- CONSORCIO SALTUS; 1997. *SALTUS. Spot fires: mechanisms analysis and modelling*. Technical Annex. Commission of the European Communities, 20 pp.
- 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.
- GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; DIEZ, C.; MARTINEZ, E.; MADRIGAL, J.; LAMPIN-CABARET, C.; BLANC, P.; COLIN, P.Y.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; VEGA, J.A. & FONTÚRBEL, M.T.; 2002. Flammability of some fuel beds common in the South-European ecosystems. In: D.X. Viegas (ed.), *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress. Rotherdam.
- GUIJARRO, M.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; DÍEZ GALILEA, C.; HERNANDO, C.; VEGA, J.A.; MARTÍNEZ HERRANZ, E.; FONTURBEL, T. y MADRIGAL, J.; 2004. SALTUS: proyecto de investigación europeo para el estudio de los saltos de fuego. *Montes* 76: 13-21.
- MARTÍNEZ-MILLÁN, J.; VIGNOTE, S.; MARTOS, J. y CABALLERO, D.; 1991. CARDIN, un sistema para la simulación de la propagación de incendios forestales. *Invest Agrar: Sist Recur For* Vol.0:121-133.
- PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; VEGA, J.A.; FONTÚRBEL, M.T.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; DIEZ, C.; MARTINEZ, E.; LAMPIN-CABARET, C.; BLANC, P. & COLIN, P.Y.; 2002. Capability of ignition of some forest firebrands. In: D.X. Viegas (ed.), *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress. Rotherdam.
- ROTHERMEL, R.C.; 1983. *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-

143. 161 pp.