

UTILIZACION DE «CARDIN» PARA LA SIMULACION DE UN INCENDIO REAL

M. TERESA ALCAIDE y J. MARTÍNEZ MILLÁN

RESUMEN

Se presentan en este artículo los resultados de una serie de simulaciones hechas con el sistema CARDIN, que representa el comportamiento de incendios de superficie sobre la pantalla de un ordenador personal. Los datos introducidos corresponden a un incendio real ocurrido en el Valle del Tiétar en julio de 1986. Los resultados obtenidos reproducen aceptablemente la velocidad de propagación del fuego y el perímetro alcanzado por el mismo.

Palabras clave: Comportamiento del fuego, incendios forestales, simulación, propagación del fuego.

INTRODUCCION

El año 1994 ha sido especialmente trágico en cuanto a incendios forestales, tanto en víctimas mortales como en superficie quemada. Frente a estas catástrofes, habitualmente surgen voces que reclaman mayores inversiones en medios de extinción, fundamentales para atajar los siniestros ya iniciados; no obstante, es igualmente importante centrar la atención en aquellos otros cuyo objetivo es la investigación del fenómeno del fuego así como de los factores que concurren en el incendio para, de este modo, predecir en lo posible su comportamiento y disminuir sus efectos catastróficos.

Entre los esfuerzos que se realizan en este sentido, surgió el sistema CARDIN en 1989 (MARTÍNEZ MILLÁN *et al.*, 1991), elaborado en la ETSI de Montes de Madrid por encargo del Area de Defensa Contra Incendios del ICONA. Este sistema simula el comportamiento del fuego en una imagen digital que representa una superficie de terreno. De esta forma, se puede hacer un estudio teórico y una previsión del alcance y los efectos de un hipotético incendio en un área concreta.

En este artículo se presentan los resultados de un trabajo (ALCAIDE, 1992) en el que se intentó simular un incendio real que tuvo lugar en 1986 en el Valle del Tiétar, por ser este uno de los mejor documentados (MARTÍNEZ RUIZ, 1981). Paradójicamente, en el verano de 1994 hubo otro incendio, aunque de menores dimensiones, en el mismo

lugar, donde ya existía un pujante repoblado. La forma de operar en la utilización de CARDIN que aquí se describe, podrá servir de orientación para otros usuarios de este sistema de simulación.

EL SISTEMA CARDIN

CARDIN es un prototipo de simulación de incendios forestales en la pantalla de un ordenador. Está basado en el modelo BEHAVE (ANDREWS *et al.*, 1989), del USDA Forest Service, que prevé el comportamiento de incendios de superficie ante unas condiciones del combustible, un viento y una topografía concreta. CARDIN aplica BEHAVE a cada «pixel» o punto de la pantalla del ordenador, en donde previamente se ha definido la pendiente, orientación y modelo de combustible. El sistema permite la digitalización de la topografía y los combustibles mediante un sistema autónomo que se denomina DIGICAR. En la pantalla del PC se pueden presentar 4 módulos de 20 x 20 cm² de un mapa de cualquier escala; la resolución de la imagen es, por tanto, de 1 mm de mapa.

En el proceso de propagación del fuego se analiza, en cada píxel contiguo a uno incendiado, los siguientes parámetros:

- modelo de combustible,
- humedad y protección de dicho combustible,
- topografía: pendiente y orientación,
- velocidad y dirección del viento.

El mapa de combustibles se introduce mediante digitalización, quedando asignado a cada píxel uno de los 13 modelos BEHAVE (ROTHERMEL y BURGAM, 1984); los datos de humedad y protección del combustible los introduce el usuario cada vez que se realiza una simulación.

La humedad se traduce en 5 valores: 1HR es la humedad de los combustibles muertos finos; 10HR ídem. medianos; 100HR ídem. gruesos; VIVO1 es la humedad de los combustibles vivos herbáceos; y VIVO2 la de los leñosos. Todas ellas se expresan en porcentaje respecto al peso seco. Los valores se pueden obtener, como explican ROTHERMEL *et al.* (1984), en función de la época del año, hora del día, meteorología, etc., o bien por medición directa, de forma independiente a CARDIN.

La protección se refiere al grado en que la cubierta vegetal reduce la velocidad del viento, medida a unos 6 m de altura. Se asignan los siguientes valores, según se observe en campo: 1, sin protección; 2, poco protegido; 3, protegido; 4, muy protegido, que se traduce en distintos factores de reducción de la velocidad a la altura de la llama.

La velocidad y dirección del viento se mide a 20 pies de altura (unos 6 m) sobre el suelo y se expresan respectivamente en km/h y grados sexagesimales medidos desde el Norte; CARDIN supone este viento constante para toda la zona de estudio, aunque en el transcurso de la simulación puede variarse.

El sistema analiza, píxel a píxel, el comportamiento del fuego. Cuando un píxel es incendiado, el programa calcula las velocidades de propagación en ocho direcciones, a partir de dicho punto: N, NE, E, SE, S, SO, O y NO. Con las velocidades obtenidas se calcula el tiempo de recorrido del fuego; de esta forma el sistema sabe en qué momento empieza a quemarse cada uno de los píxeles contiguos.

El conjunto de puntos de la pantalla que están ardiendo en un determinado momento nos proporciona el perfil o perímetro del incendio. El sistema CARDIN permite contabilizar la longitud de éste y la superficie quemada en cada modelo de combustible, reflejando estos datos en un informe si el usuario así lo pide. Asimismo, puede sacar imágenes del perímetro del incendio a intervalos de tiempo prefijados, en 2 y 3 dimensiones, y hacer un análisis detallado de los puntos o píxeles que han intervenido en el incendio.

EL INCENDIO DEL DÍA 21-JULIO-86 EN EL VALLE DEL TIETAR (AVILA)

El incendio forestal que se describe tuvo lugar durante los días 21, 22 y 23 de julio de 1986, en el Valle del Tietar, en la ladera Sur de la Sierra de Gredos, comenzando a las doce horas del día 21 y durando 47 horas.

Los municipios afectados, todos ellos de la provincia de Avila, son los siguientes: Santa Cruz del Valle, donde comenzó, San Esteban del Valle, Mombeltrán, Gavilanes, Mijares, Lanzahíta y Pedro Bernardo, el más afectado, por lo que se le conoce en la zona como «el incendio de Pedro Bernardo».

Algunos datos relativos a aquel siniestro se detallan a continuación:

- Superficie total afectada: 6.652 ha
- Superficie arbolada quemada: 3.500 ha
- Superficie de montes de U. P. quemada: 6.000 ha
- Pérdidas en productos forestales: 1.710.035.000 pesetas
- Madera quemada en pie: 290.000 m³
- Víctimas: 1 persona muerta, 2 heridos graves y numerosos heridos leves
- Medios de extinción:
 - 2 aviones de carga en tierra
 - 2 aviones anfíbios
 - 2 helicópteros
 - 10 camiones autobomba
 - 16 cuadrillas de retén
 - Bomberos de Madrid y Avila
 - 50 números de la Guardia Civil
 - 100 soldados del E. T.
 - más de 1.000 voluntarios civiles

Meteorología

Debido a las condiciones meteorológicas que imperaban esos días y a las características de los combustibles forestales, este incendio fue calificado como «explosivo». Al cabo de 4 horas desde su inicio, se transformó en incendio de copas, triplicándose su velocidad de propagación, que al principio se estimó entre 0,7 y 1 km/hora.

Existen dos estaciones meteorológicas en la comarca que proveyeron de datos para la evaluación del incendio:

- 1) Estación automática de Piedralaves, situada a unos 20 km al Este de la zona del incendio, y a 800 m de altitud, en exposición Sur.
- 2) Estación de Arenas de San Pedro, a unos 10 km al Oeste del incendio.

El día 21 de julio, después de 79 días sin lluvia, la vegetación se encontraba en condiciones muy favorables para el incendio. Además de esta circunstancia, en los días previos se registraron temperaturas máximas de 38° C y mínimas de 22°, totalmente inusuales en esta comarca. La humedad relativa era del 20% en las horas centrales del día, habiendo llegado a ser del 16% el día 19 de julio. Durante los días precedentes, estuvo soplando viento sahariano con velocidades entre 5 y 15 km/h.

En el momento de iniciarse el fuego soplaba un viento de unos 20 km/h de componente general SO, mientras que la humedad relativa era del 20%, según datos de Piedralaves.

Tipo y modelos de combustibles

El estrato herbáceo tuvo mucha importancia en la propagación del fuego, sobre todo por el largo período de sequía. Está formado principalmente por cerrillares de *Festuca elegans* L., agostados totalmente en julio de 1986, de manera que el fuego corrió por ellos rápidamente, haciendo inoperantes los batefuegos. En las partes altas el cerrillo está muy encespado y el fuego se pudo meter en el suelo, siendo necesario hacer zanjas para detenerlo.

El matorral, que acompaña al pinar hasta los 1.500 m, aparece de forma continua desde esa altura hasta las cumbres y, a pesar de que no estaba tan desecado como el pasto, ardió igualmente.

El estrato arbóreo estaba compuesto principalmente por *Pinus pinaster* Ait. El pinar ardió primero con fuego de copas y luego con fuego de superficie, quedando en algunas zonas completamente carbonizado. Otras especies como castaños, alisos y fresnos también se quemaron y sólo se salvaron los que estaban en zonas húmedas, prados o vaguadas.

En cuanto a los modelos de combustibles, el incendio comenzó en una finca particular en la que existía una repoblación de pinos y castaños, con alturas de 2 a 4 metros, invadida de matorral de unos 2 m de alto, por lo que puede asimilarse a un combusti-

ble del MODELO 4. La pendiente aquí es acusada (30 al 40%) y el fuego se propagó rápidamente, ayudado por el efecto chimenea de la vaguada en la que estaba situada dicha repoblación.

En la ladera por donde subió el fuego, entre 800 y 1.370 m, había un combustible MODELO 7: pinar con un sotobosque de matorral de 0,5 a 2 m de alto. En esta zona el fuego subió a las copas debido al viento.

A partir de la tercera hora de iniciado el incendio, el frente llega a una zona más llana con un combustible herbáceo MODELO 2, discontinuo debido a los afloramientos rocosos, en el que se propagó de forma más lenta.

A las 4,00 de la tarde, el incendio se convierte en explosivo, ya que el fuego de copas provoca muchos focos secundarios, debido a las piñas y pavesas que eran transportadas por el fuerte viento, y a la explosión de bidones de resina de 200 litros cada uno que, almacenados en el monte, propagaban el fuego hasta una distancia de 30 m de donde estaban. La miera acumulada se calcula en 100.000 kg. En éstas condiciones, y teniendo en cuenta que además había unos 2.000 m³ de madera en rollo descortezada dispuesta a lo largo de los caminos forestales, se le puede asignar un MODELO 10 por las especiales características de este incendio; sin estas circunstancias hubiera sido un matorral del MODELO 5.

Foco del incendio y causas

El fuego se inició a 500 m del municipio de Sta. Cruz del Valle, en un lugar perfectamente identificado. En el parte del incendio la causa se califica como «Desconocida», pero podría pensarse en una «negligencia» debida, probablemente, a una hoguera mal apagada, costumbre muy extendida entre la población rural y los excursionistas. Se descarta, por tanto, toda intencionalidad. El fuego pudo permanecer latente, tapado con tierra, hasta que un golpe de viento lo levantó, prendiendo el matorral (MARTÍNEZ RUIZ, 1991).

Desarrollo y extinción

A las 12,00 del día 21 de julio se tiene la primera noticia del incendio, dada por un vigilante situado a 12 km, y se mandaron tres cuadrillas que llegaron al lugar en unos 10 minutos. La extin-

ción se inició apoyada en un camino forestal, pero no tuvo éxito al principio debido a la intensidad y velocidad de las llamas.

A las 12 h. 45 se movilizan las cuadrillas cercanas y los aviones con base en La Iglesuela (Toledo), acudiendo a lo largo del día aviones anfíbios de Torrejón de Ardoz (Madrid), vehículos autobomba, personal civil de los pueblos cercanos, Guardia Civil, Bomberos y soldados del Ejército de Tierra.

Los retenes lograron controlar y detener en las primeras horas el flanco SO del incendio, donde el viento les era favorable, circunstancia que se reflejará en algunas de las simulaciones. En los otros frentes no fue posible y el incendio pasó a la garganta de la Eliza con gran virulencia.

El control del incendio tuvo lugar después de 47 horas, el día 23 de julio, quedando sólo algunos puntos ardiendo dentro del perímetro final.

Se tienen referencias más o menos exactas de las velocidades de propagación del incendio en las dos direcciones que se pueden ver en el mapa topográfico (Lámina I): AB, situada a 84°, y AC, situada a 118° respecto del foco. A los puntos A y B los llamaremos «puntos de control». Las velocidades de propagación deducidas por los responsables de la extinción, son las que aparecen en la Tabla I.

La propagación *máxima* para ese mismo intervalo, según MARTÍNEZ RUIZ (1991), se recoge en la Tabla II.

SIMULACION DEL INCENDIO

Objetivo

El objetivo del trabajo que se resume fue simular un incendio cuyo perfil final fuese igual al del incendio, asegurando que las velocidades del frente se ajustasen a las correspondientes a los puntos de con-

TABLA II
PROPAGACION MAXIMA

	Velocidad media dirección de máxima propagación
1.ª hora	20 m/min
2.ª hora	20 m/min
3.ª hora	5 m/min

trol. Para ello se probaron distintos valores de velocidad y dirección del viento, justificando la elección en cada caso. El viento fue el parámetro que sirvió para el ajuste de las simulaciones, por no tener referencias exactas de la velocidad del mismo en el incendio. No se variaron los parámetros de los combustibles (humedad, modelo y grado de protección) por considerar correctos los valores apuntados.

Se introdujeron, por tanto, en CARDIN todos los datos reseñados en el capítulo anterior, para hacer simulaciones de tres horas de duración, período durante el cual el fuego fue de superficie.

Datos necesarios

Topografía

Se digitalizaron 4 módulos de un mapa topográfico de escala 1:20.000, que representan una superficie de 6.400 ha cuya localización aparece en la Tabla III. El sistema crea el modelo digital del terreno y, a partir de éste, los ficheros de pendientes y orientaciones, que son los empleados en el proceso de simulación.

Modelos de combustibles

El mapa de combustibles fue digitalizado a la misma escala (1:20.000); en la zona estudiada sólo aparecen los MODELOS 2, 4, 5 y 7.

TABLA I
AVANCE DEL INCENDIO

	Avance AB	Velocidad AB	Avance AC	Velocidad AC
1.ª hora	800 m	13,3 m/min	900 m	15 m/min
2.ª hora	900 m	15,8 m/min	800 m	13,3 m/min
3.ª hora	500 m	8,3 m/min	1.000 m	16,6 m/min

El sistema CARDIN puede simular los incendios teniendo como fondo tanto la imagen del mapa de combustibles como la de usos de suelo, que se genera a partir de la anterior. La imagen de combustibles puede verse en la Lámina I.

Humedad de los combustibles

Se ha calculado la humedad de cada tipo de combustible, según explican ROTHERMEL *et al.* (1984), en función de los de la Tabla III.

TABLA III
PARAMETROS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE LA HUMEDAD DE LOS COMBUSTIBLES

Parámetros en el momento de inicio del incendio	— Mes del año (julio) — Hora del día (12,00) — Temperatura del aire (32° C) — Nubosidad (0%) — Humedad relativa del aire (20%)
Parámetros topográficos	— Pendiente (%) — Orientación
Parámetros de los combustibles	— Fracción de cabida cubierta (%) — Desarrollo de la vegetación

Los resultados obtenidos para la zona correspondiente a las tres primeras horas de incendio aparecen en la Tabla IV.

TABLA IV
HUMEDADES CALCULADAS DE LOS COMBUSTIBLES EN %

MODELO	2	4	5	7
1HR (%)	4	4	7	7
10HR (%)	5	5	8	8
100HR (%)	6	6	9	9
VIVO1 (%)	50	100	100	100
VIVO2 (%)	50	100	100	100

Protección de los combustibles

El grado de protección de los combustibles se estimó en campo a partir de la vegetación no quemada situada en las cercanías del incendio, y se refleja en la Tabla V.

TABLA V
GRADOS DE PROTECCION DEL COMBUSTIBLE

MODELO	Grado de protección
2	Poco protegido
4	Sin protección
5	Protegido
7	Protegido

Viento

Según los datos meteorológicos registrados, el viento general de la comarca, medido a 20 pies, soplaba con una velocidad de 20 km/h y con una componente SO (rumbo = 50°). Estos datos son difícilmente extrapolables a la zona del incendio dada la situación y distancia de los observatorios.

El incendio se inicia en una vaguada de orientación N-NO, por lo que se supone que en ese lugar existiría una corriente de dirección ascendente, o sea, de 110° de rumbo, y de velocidad desconocida.

Es de suponer que la velocidad con que soplaba fuese mayor de 20 km/h. En las simulaciones hechas se han supuesto distintos valores de ésta, para ajustarlo a las velocidades de propagación conocidas.

Focos

Se localizó el punto de inicio del fuego a 500 m del municipio de Sta. Cruz del Valle y sobre un MODELO 4 de combustible. El lugar corresponde a las coordenadas UTM: X = 330,4 e Y = 4457,3 (huso 30).

Simulaciones con datos reales

El perfil del incendio y la situación del foco inicial pueden verse en la Lámina II. En las simulaciones que se explican a continuación se han hecho distintas suposiciones acerca de la dirección y velocidad del viento, que es el factor variable fundamental en este incendio y cuya velocidad y dirección concretas se desconocen.

Todas las simulaciones tienen una duración de tres horas y comienzan en el mismo punto, descrito en el apartado anterior. Se introdujeron las humedades y grados de protección del combusti-

ble que aparecen en las Tablas IV y V. Se solicitaron informes completos de perímetros de incendio y áreas quemadas de cada tipo de combustible, a intervalos de 20 minutos.

La primera simulación reproduce un incendio sin viento, que en nada se parece al que tuvo lugar.

En el segundo ensayo se introdujo un viento de 20 km/h y 50° de rumbo, según los datos que proporcionan los observatorios meteorológicos; se vio que no progresaba adecuadamente el incendio. Se varió, por tanto, la dirección de éste para hacerla coincidir con la de la vaguada donde se sitúa el foco (110°), y en posteriores simulaciones se concluye que la dirección del viento más adecuada es de 100° para que el incendio se desarrolle conforme a la realidad.

Para asegurar el paso por los puntos de control, se hicieron varias simulaciones, deteniendo la simulación para alterar los rumbos y velocidades

en cada intervalo de 1 hora, como puede verse en la Tabla VI.

Durante el combate del incendio, se logró detener el fuego en su flanco Suroeste gracias a las cuadrillas que operaron en dicho lugar con el viento a favor; esta circunstancia se ha tenido en cuenta en la simulación 6 digitalizando una línea incombustible que le impide progresar a través de ella.

Por el flanco contrario (S y SE) no se logró detener el incendio pues el viento era contrario (del SO, como ya hemos mencionado). Aquí no se introdujo la barrera incombustible; el resultado es que el perímetro final de la simulación rebasa unos metros al perímetro real del incendio, aunque la velocidad del fuego resulta adecuada.

Algunas de las simulaciones pueden verse en las Láminas III y IV, a escala 1:55.200 y donde la vertical corresponde al Norte UTM.

El resumen de los datos se muestra en la Tabla VI.

TABLA VI
VIENTO Y BARRERAS DE LAS SIMULACIONES

Simulación n°	Hora	Vel. viento km/h	Rumbo (°)	Barrera incombustible
0	—	0	—	no
1a	—	20	50	no
1b	—	20	110	no
2	—	25	100	no
3	1ª	30	100	no
	2ª	30		
	3ª	15		
4	1ª	30	100	Flanco SO
	2ª	30		
	3ª	15		
5	1ª	30	100	Flanco SO
	2ª	30		
	3ª	15		
6	1ª	30	100	Flanco SO
	2ª	30		
	3ª	20		

TABLA VII
VELOCIDADES DE PROPAGACION DE CADA SIMULACION (km/h)

Simulación	Hora	Dir. AB	Dir. AC	Máxima propagación
0	1ª	3.9	4.16	3.3
	2ª	1.25	1.66	3.3
	3ª	1.25	1.66	3.3
	MEDIA	2.2	2.5	3.3 (270º)
1A	1ª	8.3	5.0	11.6
	2ª	8.3	5.0	11.25
	3ª	8.3	5.0	11.25
	MEDIA	8.3	115.0	11,3 (55º)
1B	1ª	10.4	10.83	11.66
	2ª	5.8	9.16	10.8
	3ª	7.4	14.16	14.16
	MEDIA	7.8	11.4	12.2 (116º)
2	1ª	13.3	11.6	11.6
	2ª	11.66	9.16	11.16
	3ª	6.6	16.6	18.3
	MEDIA	10.55	12.5	10.0 (116º)
3	1ª	13.3	12.5	13.3
	2ª	14.16	10.5	15.0
	3ª	4.16	10.5	13.33
	MEDIA	10.55	11.7	13.8 (116º)
4	1ª	13.3	12.5	12.5
	2ª	14.2	10.5	10.0
	3ª	10.0	15.0	21.6
	MEDIA	12.5	12.6	14.7 (116º)
5	1ª	13.3	14.16	14.16
	2ª	14.16	10.5	11.6
	3ª	4.16	10.5	14.1
	MEDIA	10.55	11.7	13.3 (116º)
6	1ª	13.3	12.5	15.0
	2ª	14.16	10.5	10.0
	3ª	8.5	12.5	20.0
	MEDIA	12.0	11.8	15.0 (118º)

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En cada simulación se midió la velocidad de propagación en tres direcciones: AB, AC y la de máximo avance en cada caso. Estas velocidades aparecen en la Tabla VII.

Se da por válida la última simulación que es la que mejor se ajusta a la propagación y perímetro final del incendio, aunque hay que tener en cuenta que las simulaciones se han desarrollado con escasos datos contrastados.

CONCLUSIONES

1) Las simulaciones hechas con el sistema CARDIN versión 2.0, tienen la limitación de considerar que el viento sopla con la misma velocidad y dirección en toda la zona de estudio, cosa que no ocurre en la realidad: existen vientos locales, por ejemplo en las vaguadas, que no se tienen en cuenta y que son los causantes de que un incendio se propague de forma distinta a como lo haría en una zona llana.

Para evitar este inconveniente, se puede realizar la simulación introduciendo directamente la dirección del viento que se prevé pueda haber en el área que se está quemando en cada momento; esto es posible pues CARDIN permite detener el proceso para cambiar los datos de viento o humedad de los combustibles en cualquier momento,

aunque es difícil de aplicar cuando el incendio simulado tiene gran extensión.

2) La reproducción aproximada del incendio ha sido posible; sin embargo, podría mejorarse si se tuvieran datos más exactos y abundantes de los parámetros introducidos en el sistema (en concreto, viento y humedad). Estos se pueden obtener con la utilización de estaciones meteorológicas móviles en las proximidades de los incendios.

3) La experimentación mediante quemas controladas o ensayos de laboratorio permitiría comprobar y, en su caso modificar, los datos del comportamiento del fuego en los distintos tipos de vegetación, para distintas humedades y velocidades de viento.

4) La descripción detallada del comportamiento y de las acciones de combate del fuego facilitada por observadores destacados en los siniestros puede servir para una mejor predicción de su desarrollo.

5) En la próxima versión 3.0 de CARDIN se contempla la creación de nuevos modelos de combustibles, la introducción de una cobertura de vientos locales (que hay que crear en función de un viento general) y la simulación de las acciones de combate del fuego, así como de los efectos de éste en la propagación; esto contribuirá, sin duda, a una mejor reproducción del comportamiento del incendio.

SUMMARY

CARDIN system simulates, on a PC screen, the behaviour of surface forest fires. In this paper the result of some simulations are presented. The data used come from a documented forest fire happened in «Valle del Tietar» on July of 1986. The simulations reproduce quite well the fire propagation rates and the contour of burned area.

Key words: Fire behaviour, Forest fire, Simulation.

BIBLIOGRAFIA

- ALCAIDE LÓPEZ, M. T., 1992: *Reconstrucción de un incendio real mediante el sistema CARDIN de simulación de incendios*. Proyecto Fin de Carrera, ETSI Montes, Madrid.
- ANDREWS, P. L. y CHASE, C. H., 1989: *BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system Burn subsystem, Part 2*. General Technical Report, INT-260, May 89. USDA Forest Service, Intermountain Research Station. Ogden, UT.

- MARTÍNEZ MILLÁN, J. *et al.*, 1991: *CARDIN, un sistema para la simulación de la propagación de incendios forestales*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria, MAPA. Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales, Separata n.º 10. Madrid.
- MARTÍNEZ RUIZ, E., 1981: *Revisión de la ordenación de montes del Valle del Tiétar*. Avila.
- MARTÍNEZ RUIZ, E., 1991: *Acabemos con los incendios forestales en España*. Diputación Provincial de Avila. Institución Gran Duque de Alba. Avila.
- ROTHERMEL, R. C. y BURGAN, R. E., 1984: *BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system-FUEL subsystem*. General Technical Report, INT-167, mayo 84. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, UT.