MAPAS DE MODELOS DE COMBUSTIBLE Y DE MODELOS DE INFLAMABILIDAD: HERRAMIENTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD

Teresa Mata[1], Joan Josep Ibàñez[1], Jordi Vayreda[1], José Ángel Burriel[1] y Carlos Gracia[1, 2]

1CREAF, Campus de la UAB, Edificio C, 08193-Bellaterra. t.mata@creaf.uab.es
2Departamento de Ecología, UB, Avda. Diagonal 645, 08028-Barcelona.

Resumen

Los incendios forestales constituyen uno de los problemas más graves de nuestros montes. Pueden destruir en pocos días grandes extensiones de valiosos hábitats naturales, a veces especialmente raros. Es importante saber si desde la gestión forestal se puede incidir de alguna manera sobre las masas forestales de modo que repercuta en la minimización del riesgo y la propagación de los incendios forestales. Los modelos de inflamabilidad se relacionan con el riesgo de ignición y los de combustible con la propagación de los incendios. Por tanto, el conocimiento del bosque desde este punto de vista, puede ser relevante para la prevención de los incendios y por lo tanto para la sostenibilidad. En este trabajo se explica como a partir de los datos recogidos en el muestreo del IFN3 en Catalunya se han elaborado los mapas de modelos de inflamabilidad y de combustible de Cataluña en su segunda versión (la primera se realizó en los noventa a partir de los datos del IEFC). Los resultados muestran un gradiente geográfico de los modelos de inflamabilidad (menor inflamabilidad en el NE -Girona- y mayor en el sur -Tarragona) y una preponderancia de los modelos de combustible del grupo de matorral (más de un 80% del monte arbolado) en todas las provincias.

Palabras clave: inflamabilidad específica, propagación del fuego, prevención de incendios.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas de la zona mediterránea son los incendios forestales. Según datos del *Servei de Prevenció d'Incendis Forestals* (2005) de la *Generalitat de Catalunya*, en el período comprendido entre 1970 y 2004 se han quemado en Catalunya casi medio millón de hectáreas de terrenos forestales en unos 21.000 incendios. Del total de superficie forestal quemada, un 60% corresponde a monte arbolado.

Durante la realización del *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya* (IEFC), llevado a cabo por el *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals* (CREAF) en el período 1988-1998 (GRACIA *et al*., 2000-2004), se estableció el protocolo para la elaboración de los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad (GRACIA *et al*., 2004b) a partir de la información de campo y gabinete de las parcelas de muestreo de aquel inventario forestal y de la información sobre la distribución de las especies arbóreas forestales aportada por el Mapa Forestal de Catalunya (*Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca* -DARP-, 1986-1996). La asignación de modelos de combustible se realizó en base a la clasificación de ROTHERMEL (1983). La asignación de modelos de inflamabilidad se basó en una definición efectuada por el equipo de autores del IEFC.

A raíz de la realización del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) en Catalunya, se determinó, de acuerdo con la Dirección General para la Biodiversidad, incluir en el muestreo de campo las variables necesarias para la asignación de un modelo de combustible y de un modelo de inflamabilidad en cada parcela. Esta información, junto con el Mapa Forestal de España por provincias a escala 1:50.000 (MFE50), permitió la elaboración de la segunda versión de los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad de Catalunya.

En un convenio reciente con el *Departament de Medi Ambient i Habitatge* (DMAH) de la *Generalitat de Catalunya* se han analizado las características de los incendios forestales de más de 50 hectáreas de los últimos 30 años. Entre las variables analizadas están los modelos de combustible

y los modelos de inflamabilidad. El proyecto pretende mejorar el mapa de riesgo diario de incendios forestales y automatizar su generación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material de base para la elaboración de la segunda versión de los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad en Catalunya fue la información recogida en las parcelas de muestreo del IFN3 y el MFE50.

Asignación de modelos

Los modelos de combustible se asignaron en el campo a partir de una clave fotográfica (MAPA, 1989) y teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Fracción de cabida cubierta (FCC) por estrato de vegetación (vuelo, subvuelo, arbustivo, herbáceo y plántulas).
- Ocupación de cada especie en cada estrato.
- Altura media de las especies en cada estrato.
- Restos de actuaciones silvícolas y perturbaciones.

Y a partir de la información anterior:

- La continuidad horizontal de la vegetación y distancia vertical entre estratos.
- La inflamabilidad de las especies.
- La cantidad de material acumulado en pie (vivo y muerto).
- La materia muerta acumulada en el suelo, grado de descomposición y de compactación (hojarasca y restos silvícolas).

En aquellos casos (menos de un 4%) en que el modelo asignado en el campo pertenecía al grupo genérico de restos silvícolas (modelos 11, 12 y 13), éste se reemplazó por el modelo alternativo que figuraba en el estadillo de campo, o bien se asignó un nuevo modelo a partir de la información del estadillo. Se procedió de esta forma porque dichos modelos son temporales y se ha querido evitar en lo posible la caducidad de los mapas en el período comprendido entre inventarios (unos 10 años). En principio, los modelos de combustible dependen de la estructura de la vegetación que, en lo que respecta a las zonas de bosque, tiene una cierta persistencia en el tiempo; en cambio, las cortas y otras perturbaciones son fenómenos puntuales en el tiempo y, en Catalunya, las cortas que implican la presencia de una gran cantidad de restos vegetales en el monte son poco frecuentes.

Para la asignación de los modelos de inflamabilidad se recopiló información de campo sobre la estructura de la vegetación en cada una de las parcelas del IFN3 (IBÀÑEZ *et al*., 2005). En este caso la definición de los modelos difiere de la establecida en el IEFC puesto que se observó que en la distribución de los modelos en el territorio, un 90% de los bosques de Catalunya tenía modelos de inflamabilidad elevada o muy elevada (modelos 6 a 10, figura 1). Esta gran proporción de modelos de inflamabilidad elevada no permitía distinguir con claridad las zonas de vegetación con mayor riesgo de ignición. Si los modelos de inflamabilidad tienen algo que ver con el riesgo de incendio, conviene poder separar al máximo los distintos niveles de riesgo.

La asignación de los modelos de inflamabilidad se efectuó en gabinete y siguiendo los criterios detallados a continuación.

1) Para los estratos arbóreo y arbustivo-herbáceo, se determinaron la FCC total del estrato y la de las especies clasificadas como muy inflamables en cada estrato.
2) Cuando la FCC del estrato arbustivo-herbáceo era como mínimo del 70%, el modelo de inflamabilidad se asignaba a partir de la FCC de las especies muy inflamables de ese estrato.
3) Cuando la FCC del estrato arbustivo-herbáceo era inferior al 70%, se comprobaba si la

hojarasca de la parcela se había clasificado como compacta o como laxa. En el primer caso, se consideraba que la hojarasca no afecta a la inflamabilidad y por lo tanto se asignaba la inflamabilidad a partir de la FCC de las especies muy inflamables del estrato arbustivo-herbáceo.

4) Si la hojarasca se había clasificado como laxa, se consideraba que sí afecta a la inflamabilidad y entonces el modelo de inflamabilidad se determinaba a partir de la FCC de las especies arbóreas clasificadas como muy inflamables.

El resultado es una clasificación que distingue 11 modelos de menor a mayor inflamabilidad de la vegetación (tabla 1).

Elaboración de los mapas

El material de base para la obtención de estos mapas fue:

- Los mapas provinciales de estratos, derivados del Mapa Forestal de España (MFE50), obtenidos a partir de las ortoimágenes de 1997.
- Las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) levantadas en Catalunya durante el período 2000-2001. En cada provincia se utilizaron todas las parcelas del IFN3, salvo aquellas incluidas en el estrato cero y las parcelas satélites.

Conviene tener presente que la asignación de modelos se produce únicamente en las parcelas de las zonas clasificadas, según el mapa provincial de estratos, como monte arbolado y por tanto no hay modelos asignados en los matorrales, prados u otras cubiertas.

El proceso seguido para la elaboración de los mapas es el mismo que se estableció en el IEFC (GRACIA *et al*., 2004b). Consiste en extender la información de cada parcela de muestreo por las teselas pertenecientes a un mismo estrato. El método utilizado para extender la información fue la poligonación según el algoritmo de Thiessen que, al tratarse de variables categóricas, no genera nuevos valores intermedios entre el valor de origen y el de destino sino que expande ambos valores constantes hasta un punto intermedio. Mediante técnicas SIG se seleccionan los estratos del MFE50 pertenecientes a la categoría genérica de monte arbolado y es en estas zonas donde se expande la información dentro de cada uno de los estratos definidos para cada provincia, evitando así la asignación de modelos en zonas no arboladas.

Cuando una tesela no incluye ninguna parcela que permita asignarle un modelo, este método le asigna el modelo más probable (en cada provincia, el asignado con mayor frecuencia en el estrato al que pertenece dicha tesela). En cambio, cuando diversas parcelas aportan información para una misma tesela, el programa de asignación de modelos se encarga de repartirlos espacialmente (figura 2).

Una vez expandida la información de los modelos y asignados a posteriori los modelos más abundantes en las teselas sin información, se añade el resto de cubiertas del suelo de las zonas no boscosas para completar el mapa. El resultado es un mapa dónde las áreas de monte arbolado han sido sustituidas por los modelos de combustible o inflamabilidad y el resto lo constituyen las cubiertas del suelo no arboladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proporción de superficie arbolada con información de modelos resultado de la expansión de los valores de cada parcela de muestreo da una idea de la proporción entre el número de hectáreas de bosque y el número de parcelas de muestreo (intensidad de muestreo) ya que a menor proporción, mayor probabilidad de que los polígonos no contengan parcelas. Es lo que se observa, por ejemplo, en Tarragona, con tan solo un 65% de superficie asignada directamente respecto al 72% de Lleida o el 80-82% de Girona y Barcelona, donde la intensidad de muestreo es mayor. En cada provincia, esta relación se observa también en aquellos estratos correspondientes a formaciones vegetales fragmentadas o filiformes como los bosques de ribera, los mosaicos o el arbolado ralo, en los que la proporción de asignación directa es inferior al 40%. Son por tanto los estratos con mayor proporción de superficie asignada a posteriori y por ello con menor variabilidad de modelos ya que la mayor

parte de la información corresponde al modelo mayoritario.

El grupo de modelos de combustible más abundante en Catalunya es el de matorral (modelos 4 a 7, figura 3) con un porcentaje de presencia de un 80% en Lleida, un 83% en Girona, un 92% en Barcelona y casi un 95% en Tarragona. Esto mismo ya se había observado en los mapas del IEFC (GRACIA *et al*., 2004a). Dentro de los modelos de matorral se puede diferenciar entre modelos con una carga moderada (5 y 6), mayoritarios en Lleida y Barcelona (60-65%, frecuentes sobre todo en los bosques de alta montaña de los Pirineos) y modelos con una carga elevada (4 y 7), más abundantes en Girona y Tarragona (45-48%, sobre todo en los bosques de pino carrasco en Tarragona y en los alcornocales abiertos y bosques con sotobosque muy desarrollado en Girona).

La presencia de los otros grupos de modelos de combustible (pastos -modelos 1 a 3- y hojarasca -modelos 8 a 10) es mucho menor. Cabe destacar, sin embargo el 13% de modelos del grupo de pastos, fundamentalmente modelo 2, en Lleida (sobre todo en los Pirineos) y el 6-7% de modelos del grupo de la hojarasca, básicamente modelos 8 y 9, en Lleida y Girona, debidos a la presencia de bosques de hayas, robles, castaños (Girona), abedules y otras frondosas.

Los modelos de inflamabilidad se pueden agrupar en cuatro categorías: inflamabilidad baja (modelos 0, 1 y 2), moderada (modelos 3, 4 y 5), elevada (modelos 6, 7 y 8) y muy elevada (modelos 9 y 10). La proporción de modelos de inflamabilidad baja sigue un gradiente descendente desde Girona (casi un 40%), Barcelona (30%), Lleida (20%) hasta Tarragona (10%, figura 4). La proporción de modelos de inflamabilidad moderada es parecida en las cuatro provincias (oscila entre el 22% de Girona y el 33-37% del resto). En cambio, la proporción de modelos de elevada o muy elevada inflamabilidad oscila entre el 35-40% en Barcelona y Girona y aumenta hasta casi un 47% en Lleida y hasta el 55% en Tarragona.

En la primera versión de los mapas de modelos la distribución de modelos de inflamabilidad era muy diferente (figura 4). Entre un 76% y un 98% del monte arbolado, según la provincia, tenía asignados modelos de elevada o muy elevada inflamabilidad (tan solo Girona tenía un 24% de modelos de inflamabilidad moderada y baja). Al redefinir los modelos de inflamabilidad, las proporciones se han equilibrado haciendo más claras las diferencias entre provincias. Aún así, el gradiente observado desde Girona (menor inflamabilidad) hasta Tarragona (mayor inflamabilidad) se mantiene. Respecto a los modelos de combustible, las diferencias entre ambas versiones no supera el 20%, tan solo en Girona y Tarragona, en la segunda versión hay una mayor proporción de modelos del grupo de matorral con carga elevada.

En el marco de colaboración con el DMAH para la mejora y automatización del mapa de riesgo diario de incendios forestales, se ha realizado un estudio sobre la proporción de superficie de modelos de combustible y de inflamabilidad en los incendios producidos en Catalunya en el período 1988-1998 (casi 90.000 ha). Para ello se han utilizado los mapas elaborados a partir de los datos del IEFC puesto que correspondían al mismo período de incendios analizado. Se ha observado que se habían quemado, mayoritariamente, aquellas zonas con modelos de inflamabilidad elevada o muy elevada. Del total de monte arbolado quemado, un 60% correspondía a modelos 9 y 10. Respecto a los modelos de combustible, prácticamente toda la superficie quemada corresponde a modelos del grupo de matorral (sobre todo modelos 5 y 6, excepto en Girona donde son más abundantes los modelos 7 y 4). Los modelos de los grupos de hojarasca y pastos se vieron afectados en un 10% y un 15% respectivamente.

CONCLUSIONES

El conocimiento del territorio es fundamental para poder llevar a cabo una gestión sostenible del mismo. Los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad parecen ser una herramienta útil, sobre todo en relación con la prevención de incendios forestales, hasta tal punto que son una de las capas utilizadas en la elaboración del mapa de riesgo diario de incendios forestales.

El estudio de la distribución de los modelos en el territorio y cómo estos se ven afectados por los incendios indica que, en general, las zonas de monte arbolado que se queman corresponden a los modelos de mayor riesgo, tanto en el caso de los modelos de combustible (grupo del matorral) como en el de los modelos de inflamabilidad (grupos 3 y 4, que corresponden a inflamabilidades elevada y

muy elevada).

BIBLIOGRAFÍA

GRACIA, C. A.; BURRIEL, J. A.; IBÀÑEZ, J. J.; MATA, T. & VAYREDA, J.; 2000-2004. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya.* CREAF. Bellaterra. ISBN 84-931323-0-6 (obra completa).

GRACIA, C. A.; BURRIEL, J. A.; IBÀÑEZ, J. J.; MATA, T. & VAYREDA, J.; 2004a. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Catalunya*. CREAF. Bellaterra. ISBN 84- 932860-3-6.

GRACIA, C. A.; BURRIEL, J. A.; IBÀÑEZ, J. J.; MATA, T. & VAYREDA, J.; 2004b. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes*. CREAF. Bellaterra. ISBN 84- 932860-2-8.

IBÀÑEZ, J. J.; VAYREDA, J. y MATA, T.; 2005. *Indicadores ecológicos en el marco del Tercer Inventario Forestal Nacional. Tarragona.* D. G. para la Biodiversidad, MMA, Madrid.

MAPA, 1989. *Clave fotográfica para la identificación de modelos de combustible*. ICONA. Madrid.

ROTHERMEL, R. C.; 1983. *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. U.S. Forest Service. Odgen, EE.UU.

Servei de Prevenció d'Incendis Forestals, DMAH, *Generalitat de Catalunya*. <http://www.gencat.net/mediamb/incendis/estadistica-1.htm> Visitado en abril de 2005.

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Definición de los modelos de inflamabilidad en la segunda versión de los mapas de modelos.

Modelo	Descripción
0	FCC del 0 al 9 % de especies inflamables
1	FCC del 10 al 19 % de especies inflamables
2	FCC del 20 al 29 % de especies inflamables
3	FCC del 30 al 39 % de especies inflamables
4	FCC del 40 al 49 % de especies inflamables
5	FCC del 50 al 59 % de especies inflamables
6	FCC del 60 al 69 % de especies inflamables
7	FCC del 70 al 79 % de especies inflamables
8	FCC del 80 al 89 % de especies inflamables
9	FCC del 90 al 99 % de especies inflamables
10	FCC superior al 100 % de especies inflamables

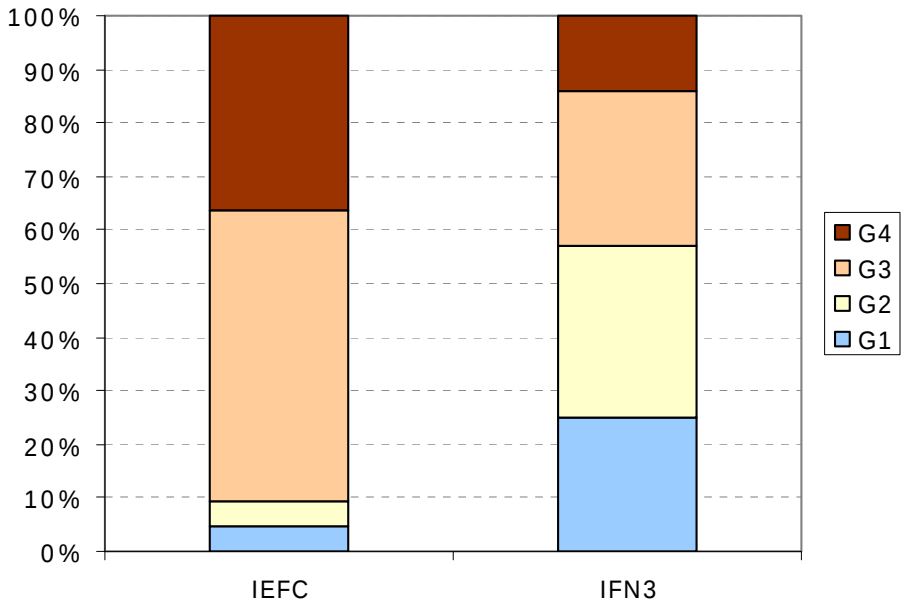

Figura 1. Distribución de los modelos de inflamabilidad en Catalunya por grupos en las dos versiones del mapa de modelos. En la primera versión (izquierda) prácticamente todo el monte arbolado tenía asignados modelos de inflamabilidad elevada o muy elevada. En la segunda versión (derecha) la proporción de modelos de inflamabilidad baja y moderada aumentó debido a un reajuste en la definición de los modelos. El grupo 1 (G1) corresponde a los modelos de inflamabilidad baja (modelos 0, 1 y 2); el grupo 2 (G2) a los de inflamabilidad moderada (modelos 3, 4 y 5); el grupo 3 (G3) a los de inflamabilidad elevada (modelos 6, 7 y 8) y el grupo 4 (G4) a los modelos de inflamabilidad muy elevada (modelos 9 y 10).

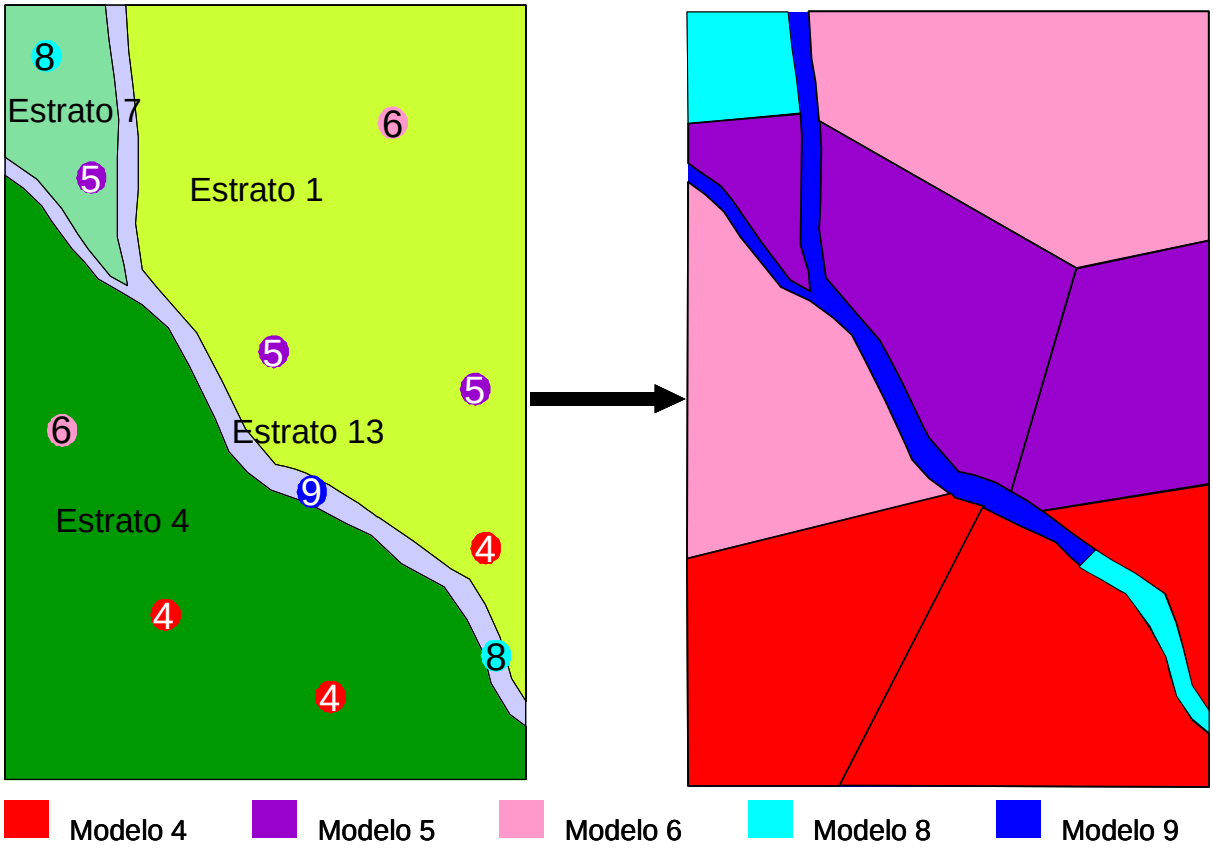

Figura 2. Elaboración de los mapas de modelos a partir de la información de campo y del mapa forestal. Como puede observarse, a cada tesela del mapa (figura izquierda) le corresponde uno o más modelos (figura derecha) en función de la información de las parcelas de campo. La información de cada parcela se expande en cada estrato hasta la mitad de la distancia que las separa.

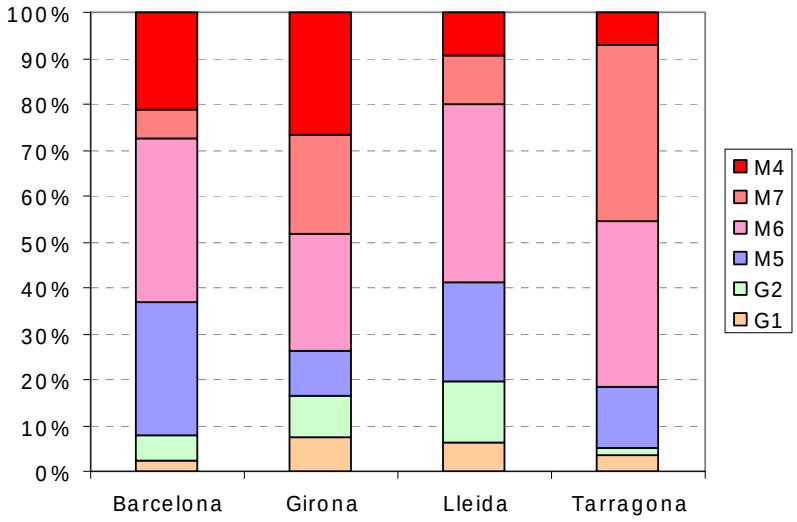

Figura 3. Distribución de los modelos de combustible por provincias. El grupo más abundante es el de matorral (M5, M6, M7 y M4, en la leyenda) con valores que oscilan entre el 80% de Lleida y el 95% de Tarragona. En Barcelona y Lleida son más frecuentes los modelos de matorral de carga moderada (modelos 5 y 6), mientras que en Girona y Tarragona predominan los modelos 7 y 4 (los más virulentos de todos). Los modelos de otros grupos (pastos y hojarasca) solo superan el 10% en Girona y Lleida. Los grupos corresponden a G1: grupo de modelos de la hojarasca (modelos 8, 9 y 10), G2: grupo de los pastos (modelos 1, 2 y 3), M5, M6, M7 y M4: modelos 5, 6 7 y 4 del grupo de matorral.

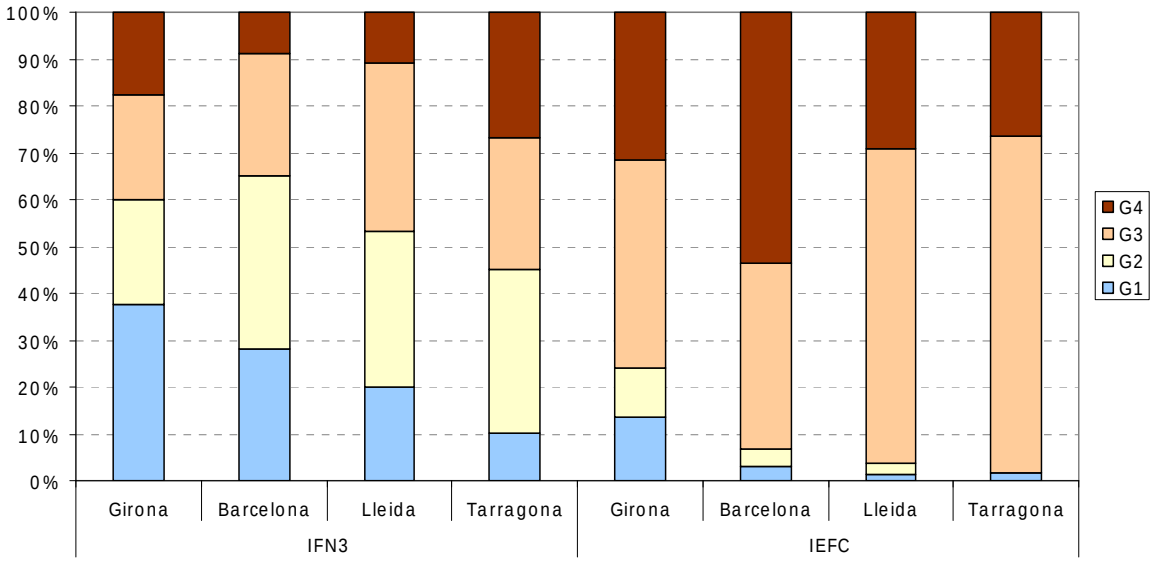

Figura 4. Distribución por provincias de los modelos de inflamabilidad por grupos en las dos versiones del mapa de modelos. En ambas versiones se observa un gradiente de menor inflamabilidad a mayor desde Girona, pasando por Barcelona y Lleida, hasta Tarragona. En la primera versión (derecha) los modelos de inflamabilidad elevada y muy elevada superan el 90% de cada provincia (excepto en Girona, donde no llegan al 80%). En la segunda versión (izquierda) los modelos de inflamabilidad moderada y baja quedan más patentes una vez redefinidos los modelos. El grupo 1 (G1) corresponde a los modelos de inflamabilidad baja (modelos 0, 1 y 2); el grupo 2 (G2) a los de inflamabilidad moderada (modelos 3, 4 y 5); el grupo 3 (G3) a los de inflamabilidad elevada (modelos 6, 7 y 8) y el grupo 4 (G4) a los modelos de inflamabilidad muy elevada (modelos 9 y 10).