

FOMFIS, un sistema para la cartografía de combustibles forestales a partir de imágenes de satélite de alta resolución

M. F. Vázquez Espí* y B. J. Denore**

ibersat@ibersat.com

* *IBERSAT; S.A. C/ Anochecer; 2. Edificio El Torreón. 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid) 46003 Valencia*

** *Consultor Teledetección. CI Pinzón, 2-4. 46003 Valencia*

RESUMEN

El sistema FOMFIS permite la creación de una cartografía detallada de tipos de combustibles forestales a partir de imágenes de satélite de alta resolución. Tomando como base los requerimientos de los usuarios se ha definido una metodología propia para cada área de estudio. A diferencia de la mayoría de mapas forestales que categorizan las masas forestales en términos de especies y edad, FOMFIS divide el bosque en categorías según sus propiedades de comportamiento frente al fuego. La integración del mapa de combustibles en un sistema informático, permite a los Servicios Forestales planificar sus estrategias de prevención y lucha contra incendios basándose en la distribución del material combustible y en asunciones realistas sobre el comportamiento del fuego.

PALABRAS CLAVE: Teledetección, incendios forestales, modelos combustibles, carga de combustible, vegetación.

ABSTRACT

The FOMFIS system allows the creation of detailed cartography of fuel types from high resolution satellite images. Starting from user requirements an own methodology has been defined in each test area. Unlike most forest maps that categorise most forest maps in terms of species and age, FOMFIS divides the forest in other categories according to their fire behaviour properties. The resulting fuel map, integrated into a computer based system, allows forest managers to plan fire prevention and fire fighting strategies based on real distribution of burnable material and realistic assumptions about fire behaviour.

KEY WORDS: Remote sensing, forest fires, fuel model, fuelload, vegetation.

INTRODUCCIÓN

FOMAS (Forest Fire Management and Fire Prevention System) es un proyecto internacional parcialmente financiado por la Comisión Europea, DGXII, dentro del IV Programa Marco, Clima y Medio Ambiente, 2.3.4, Tecnologías para el pronóstico, prevención y reducción de los desastres naturales.

FOMFIS se propuso como solución para mejorar la efectividad de las tareas de planificación y gestión frente a incendios forestales. Para ello, se integraron tecnologías como teledetección, modelos de comportamiento del fuego, sistemas basados en el conocimiento y modelos probabilísticos de predicción de riesgo de incendio.

OBJETIVOS

El objetivo general de FOMFIS era producir un sistema informático que sirviese como herramienta, a escala regional, para la planificación y prevención de los incendios forestales. Los objetivos eran:

- Desarrollar una metodología propia que permita la generación de un mapa de vegetación aten-

diendo a sus propiedades combustibles mediante el tratamiento digital de imágenes de satélite. Esta metodología debía ser la apropiada para producir el mejor mapa de combustibles forestales con la menor intervención del usuario.

- Con el objeto de que el propio usuario pueda abordar futuros estudios, proceder a la creación de un módulo de software en el que estén integrados todos los procesos realizados.

ÁREAS DE ESTUDIO

FOMFIS ha sido implementado y chequeado en tres áreas representativas de la cuenca mediterránea, cubriendo territorios tanto con fuerte influencia atlántica como con típico clima mediterráneo. Las regiones consideradas en la cartografía de combustibles han sido Galicia y Grecia.

Galicia es considerada como una de las zonas que ofrecen mayores problemas en cuanto a incendios forestales en Europa (hasta 8.000 por año). Una alta productividad de biomasa, debido a una alta humedad ambiental y un régimen de temperaturas suaves, trae consigo grandes cargas de combustible. Existen áreas con predominio de mono-

cultivos de pinos y eucaliptos, y otras con alta biodiversidad y frondosas autóctonas, todo ello dentro de un patrón de propiedad del terreno altamente fragmentado. Se eligieron tres áreas representativas.

La Isla de Evia (Grecia) representa unas condiciones típicas mediterráneas para el desarrollo de incendios: vegetación xerófila y estaciones secas con muy altas temperaturas. La vegetación está constituida por formaciones de maquia (similar a la garriga) y extensos pinares sobre un territorio abrupto.

REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

El proyecto FOMFIS se basó en los requerimientos de los usuarios finales seleccionados. Estos usuarios -*Conselleria de Agricultura Ganaderia e Montes* (CONAG) y *National Agriculture Research Foundation* (NAGREF) han contribuido a la definición del sistema. Dichos requerimientos son:

Inventario forestal categorizado según el comportamiento de la vegetación frente al fuego. Es decir, según modelos combustibles.

Obtención de una cartografía de combustibles que pueda actualizarse con regularidad.

Posibilidad de detectar cambios en el territorio entre dos fechas.

Existencia de medios sistemáticos para recopilar y compilar información detallada sobre el estado del bosque.

Mapas de combustibles a escala 1:50.000.

Clases de combustibles definidas de tal forma que cambios en las propiedades de comportamiento frente al fuego causadas por acciones de uso y gestión forestal conduzcan a un cambio en la categoría de combustible.

El más importante requerimiento de los usuarios es una información actualizada y fiable sobre el estado del bosque como base para sus actividades de planificación. Esta información debe ser relativa al comportamiento del fuego. Consecuentemente, necesitan unas categorías del mapa de combustibles forestales definidas según su comportamiento con el fuego, los así llamados modelos combustibles.

ESTADO DEL ARTE

La revisión del estado del arte sobre la cartografía de combustibles mediante teledetección reveló muchas tendencias usando distintos enfoques y bajo condiciones variables. No se han establecido conclusiones definitivas sobre la metodología más apropiada, en particular con respecto al algoritmo de clasificación donde ninguno se perfila como el mejor. Varios puntos clave fueron identificados:

Las imágenes de satélite ofrecen la mejor fuente de información para la cartografía de combustibles.

La información aportada por variables topográficas resulta de gran interés para la realización de inventarios forestales debido a la influencia que el relieve ejerce sobre la cubierta forestal.

La información multitemporal permite distinguir determinadas formaciones vegetales.

La inclusión de un canal de textura, como medida de variación local, resulta de especial interés en la discriminación de densidades y áreas de transición entre clases.

La utilización de cocientes de bandas aumenta la separabilidad entre determinadas formaciones vegetales según su densidad.

DEFINICION DE LA LEYENDA

Una de las limitaciones que presentan los mapas forestales tradicionales y de usos del suelo es que, si bien son muy detallados, las clases se refieren a asociaciones vegetales y éstas, lógicamente, no consideran el comportamiento del fuego. Es decir, en una clase pueden estar incluidas masas forestales con muy diferentes propiedades combustibles, mientras que masas similares pueden estar incluidas dentro de categorías distintas debido a su diferente composición de especies (Denore y Vázquez Espí 1997). Este problema hace que los inventarios forestales puedan resultar particularmente inapropiados para la simulación de los incendios forestales, por lo que la definición de una nueva leyenda FOMAS resultaba indispensable.

El *United States Forest Service* desarrolló una leyenda de trece clases (programa BEHAVE) que categorizan las formaciones vegetales según su comportamiento frente al fuego, esto es, modelos combustibles (Burgan y Rothermel 1984). Estos modelos tipifican la vegetación -definida por la densidad, compactación, proporción de materia (muerta y estructura vertical del estrato forestal) según el principal agente propagador del fuego: pasto, matorral, hojarasca y restos de corta por operaciones silvícolas.

Estos modelos han sido adaptados para cada una de las regiones biogeográficas de la Península Ibérica (ICONA 1987). A fin de adaptar los modelos BEHAVE al entorno gallego, incluyendo valores de carga de combustible típicos, se contó con el apoyo de investigadores locales para correlacionar la leyenda forestal existente con los modelos presentes en las zonas de estudio (Vega 1997). De esta forma, la leyenda FOMFIS fue definida (Tabla 1).

En Grecia resultó difícil adaptar los modelos BEHAVE debido a la alta heterogeneidad forestal y a la variación continua de la densidad de la vegetación. En este caso, una división tradicional del bosque, mediante clases excluyentes, se consideró inapropiada y no era razonable asumir que un modelo resultase totalmente representativo de la variada estructura del bosque. Como alternativa NAGREF facilitó un esquema de cartografía de

<p>Pasto 1-Pasto fino y seco 2-Pasto y vegetación leñosa dispersa 3-Pasto alto (<i>Phragmites australis</i>)</p> <p>Matorral 4-Matorral bajo. Matorral continuo pero bajo 5-Matorral medio 6-Matorral alto. Matorral alto y denso y repoblaciones jóvenes. 6.1-Retamales (<i>Cytisus scoparius</i>, <i>C. Striatus</i>, <i>Adenocarpus sp.</i>) 6.2-Tojales (<i>Ulex europaeans</i>) 6.3-Repoblaciones 7-Matorral como sotobosque. Dividido según la especie arbórea predominante. 7.1-Robledales (<i>Q. Pyrenaica</i>, <i>Q. Robur</i>) 7.2-Pinares (<i>R Pinastet</i>; <i>R radiara</i>) 7.3-Castañares (<i>Castanea sativa</i>) 7.4-Eucaliptales (<i>E. Globulus</i>) 7.5-Otras especies</p> <p>Hojarasca bajo arbolado 8-Restos foliares muy compactados en bosques densos de coníferas o frondosas. 8.1-Pinares (<i>R Sylvestris</i>, <i>R radiara</i>) 8.2 Hayedos (<i>Fagus sylvatica</i>) 9-Los restos de hojarasca están compactados de forma más esponjosa debido a la mayor longitud de las hojas o acículas. 9.1-Castañares (<i>Castanea sativa</i>) 9.2-Robledales(<i>Quercus pyrenaica</i>, <i>Q. robur</i>) 9.3-Pinares (<i>R Pinaster</i>) 9.4-Eucaliptales (<i>E. Globulus</i>)</p> <p>Categorías sin interés combustible 10-Agrícola, Urbano, Erial, Láminas de agua</p>
--

Tabla 1. Leyenda de combustibles forestales.

combustibles alternativo que permite estimar las cargas de combustible a partir de la altura y cobertura de las formaciones vegetales (Xanthopoulos 1997). Mediante medidas in situ las cargas de combustible han sido estimadas, a partir de la altura y cobertura del matorral de cada área de muestreo, según la función

$$\text{Carga Activa} = \text{constante} + (\text{altura}) * (\text{cobertura})^2$$

En estos bosques que muestran una variación continua, se pretendió crear modelos estilizados a partir de modelos definidos de forma grosera y posteriormente subdivididos según las cargas de combustible estimadas, produciendo así un mapa de combustibles de tipo borroso.

ADQUISICION DE LOS DATOS

Se adquirieron los siguientes datos de las tres áreas gallegas y del área griega: imágenes Landsat TM (primavera de 1995 para Galicia, verano 1997 para Grecia), imagen srar Pan de las mismas fe-

chas, Modelo Digital del Terreno, Mapas Topográficos y copias digitales de los mapas forestales y de usos del suelo existentes hasta la fecha (sólo para el caso de Galicia). Posteriormente, se realizó la campaña de campo para recoger las muestras verdad terreno.

Junto a los datos originales georreferenciados se procedió a crear las bandas auxiliares, tales como bandas topográficas a partir del MDT, Índices de Vegetación y textura (Ryherd y Woodcock 1990).

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A resultados de las distintas condiciones ambientales y socioeconómicas de las dos áreas de estudio, cada una presenta características y necesidades concretas frente a los incendios, por lo que se diseñaron dos enfoques diferentes: el divergente (aplicado a Grecia) y el convergente (aplicado a Galicia).

En el esquema convergente se parte de un gran número de clases y subclases de combustibles (divididas según especie predominante, edad, suelo, altitud, etc.) junto a todas las bandas espectrales e información auxiliar (textura, elevación, orientación, etc.). Una vez realizada la clasificación mediante el método de máxima probabilidad se obtiene una cartografía con un gran número de clases pero, probablemente, con un alto grado de confusión entre ellas. Estas subclases son agregadas dando lugar a un menor número de clases más amplias en las que la confusión es también menor.

El esquema divergente toma como punto de partida pocas clases combustibles definidas de forma grosera y tres o cuatro bandas espectrales que contienen una alto grado de información. Una clasificación no supervisada produce un mapa con gran exactitud pero pocas clases temáticas. Estas clases son subdivididas usando los datos auxiliares y bandas sintéticas, tales como textura e índices de vegetación, hasta obtener los modelos requeridos por el usuario sin perder por ello mucha precisión.

RESULTADOS

Mapas de Combustibles de Galicia

Los mejores resultados se obtuvieron cuando se combinan las seis bandas espectrales TM junto a una banda de textura a partir de SPOT Pan. Las verificaciones realizadas cifran la exactitud de la clasificación entre el 76 y 86 por ciento (Figura 1).

Considerando las categorías de leyenda para el conjunto de las tres comarcas, las clases mejor discriminadas fueron hojarasca amplia bajo arbolado (91.5%), pasto basto (89%), pasto fino (84.5%), matorral bajo (78%) y matorral bajo arbolado (77.5%) (Vázquez Espí, 1998).

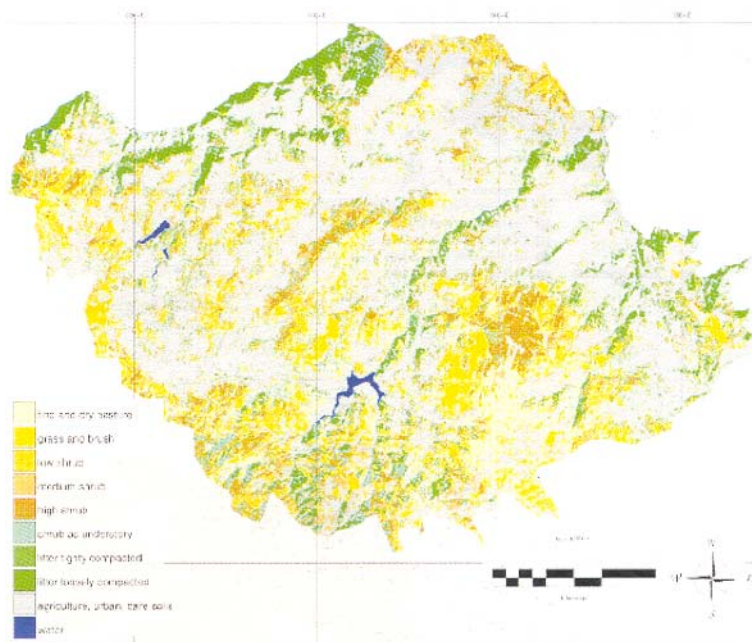


Figura 1. Este es un mapa típico producido por FOMFIS. La leyenda muestra las categorías de las superficies forestales en el área de estudio, de tal forma que cada clase se corresponde a un Modelo Combustible. Para cada clases los posibles incendios se desarrollarán de una forma predecible y uniforme. Leyenda: (de arriba a abajo) Pasto fino y seco; Pasto y matorral; Matorral bajo; Matorral medio; Matorral alto; Matorral como sotobosque; Hojarasca muy compactada; Hojarasca menos compactada; Agrícola, Urbano, Suelo desnudo; Láminas de agua.

Mapas de Combustibles de Grecia

Un análisis de regresión múltiple de los datos de la imagen griega (Landsat TM junto a una banda de textura a partir de SPOT Pan y un Índice de Vegetación) y de los datos de campo (carga activa de combustible) permitió establecer una relación empírica entre la carga activa y los valores observados del índice de vegetación y textura, lográndose a alcanzar correlaciones próximas al 0.7.

CONCLUSIONES

A partir de las verificaciones realizadas por los usuarios sobre las primeras versiones del sistema FOMFIS y sobre los mapas de combustibles, puede concluirse que se ha creado una metodología operativa para la cartografía de combustibles en cada área de estudio, obteniéndose resultados de alta calidad y cubriéndose todos los requerimientos originales. De esta forma el usuario posee una herramienta fiable con la que puede crear y actualizar sus propios mapas de combustibles a escala

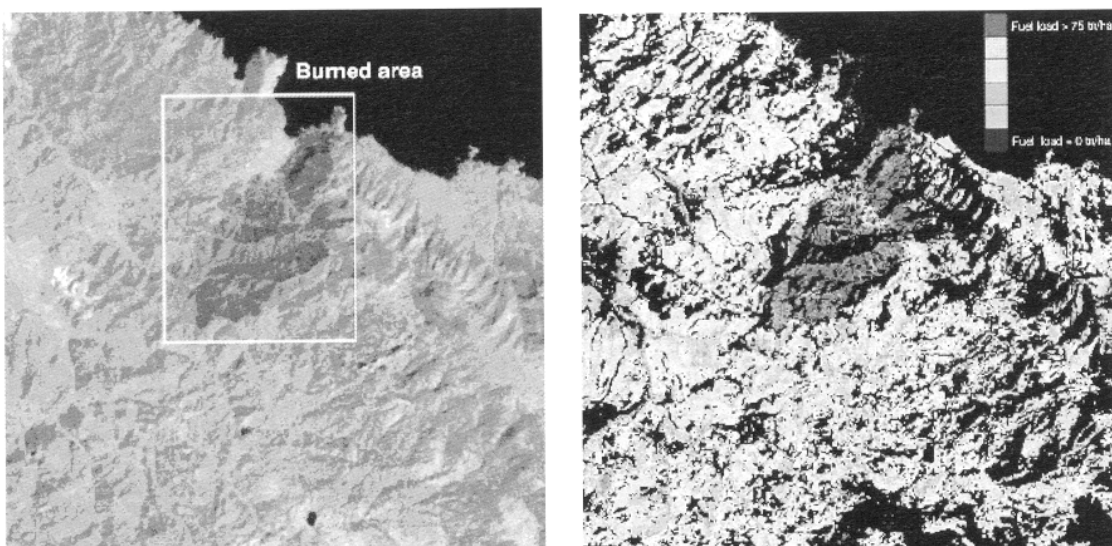


Figura 2. A partir de la respuesta espectral de las imágenes de satélite (a la izquierda, imagen Landsat TM 543 : Isla de Evia, Grecia) y de las cargas de combustible de las de la distintas clases forestales, es posible estimar el volumen de material incendiado y cartografiar su distribución. En la imagede la derecha, las cargas de combustible oscilan entre 0 tn/ha (azul) hasta 75 tn/ha (rojo).

1:50.000, detectar cambios entre fechas y recopilar información sobre el bosque.

La próxima disponibilidad de fuentes de mayor resolución, más apropiadas para distinguir estratos forestales, abre la posibilidad futura de realizar estudios a mayor escala.

$$\text{Carga Activa} = 0.4 * \text{NDVI} - 0.22 * \text{Textura} + 9.8$$

Después de clasificar el área en estratos forestal y no forestal, esta relación fue aplicada al estrato forestal para producir un mapa de cargas de combustible que fue evaluado por los usuarios griegos (Figura 2).

BIBLIOGRAFÍA

- BURGAN, R.E. y ROTHERMEL, R.C. 1984. BEHAVE. Fire behaviour prediction and fuel modeling system -Fuel subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. USDA, Forest Service.
- DENORE, B.J. y VAZQUEZ ESPÍ, M.F. 1997. La cartografía de combustibles mediante teledetección, como base para la planificación en Galicia de la lucha contra incendios forestales. Teledetección aplicada a la gestión de recursos naturales y medio litoral marino, AETUSC, pp. 316-319.
- ICONA 1987. Clave fotográfica para la identificación de los modelos de combustible. MAPA, Madrid.
- RYHERD, S.L. y WOODCOCK, C.E. 1990. The use of texture in image segmentation for the definition of forest stand boundaries. 23th International Symposium of Remote Sensing of Environment, Bangkok (Thailand), DD. 1209-1213.
- VÁZQUEZ ESPÍ, M.F. 1998. Informe sobre el desarrollo metodológico para la cartografía de combustibles forestales en Galicia. IBERSAT, S.A.
- VEGA, J.A. 1997. Notas sobre la adecuación de los modelos de combustibles del sistema BEHAVE al caso de Galicia. Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Comunicación personal.
- XANTHOPOULOS, G. 1997. Active fuelload as a function of brush height and brush cover. NAGREF. Comunicación personal.