

# APLICACIÓN DEL SISTEMA FI.R.E.M.EN. EN EL ESTUDIO DEL GRAN INCENDIO FORESTAL DE REQUENA EN JULIO DE 1994

F. GONZÁLEZ-ALONSO\*, A. RAMPINI\*\*, M. ANTONINETTI\*\*\*, E. BINAGGI\*\*, M. PEPE\*\*\*, P. GHEZZI\*\*, D. TRYFONOPOULUS\*\*\*\*, J. M. CUEVAS\*, R. CURRÁS\*\*\*\*\*, J. L. CASANOVA\*\*\*\*\*

\*LABORATORIO DE TELEDETECCIÓN, INIA-MAPA, CRTA. DE LA CORUÑA KM 7, MADRID, ESPAÑA

\*\*ITIM-CNR, VIA AMPÈRE 56, MILÁN, ITALIA

\*\*\*IRRS-CNR, VIA AMPÈRE 56, MILÁN, ITALIA

\*\*\*\*CINAR, HADJIYANNI 4, ATENAS, GRECIA

\*\*\*\*\*SUBDIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE, VALENCIA, ESPAÑA

\*\*\*\*\*LABORATORIO DE TELEDETECCIÓN, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, 4071, VALLADOLID, ESPAÑA

## RESUMEN

El sistema FI.R.E.M.EN. (Fire Risk Evaluation in Mediterranean ENvironment) es un proyecto de investigación cuyo objetivo básico ha sido el desarrollo y aplicación de un sistema de soporte a la decisión orientado a la identificación y cartografía de áreas de fuerte riesgo de aparición de incendios forestales en los países mediterráneos de la Unión Europea. El sistema se basa en la utilización de imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica de una forma integrada mediante el empleo de técnicas "fuzzy" que incorporan la información proporcionada por los "expertos" en la prevención y lucha contra los incendios forestales. El sistema FI.R.E.M.EN. se ha aplicado al estudio del gran incendio forestal ocurrido en Requena (Valencia, España) durante la primera semana de julio de 1994 y se ha comprobado que la mayoría de las superficies incendiadas eran calificadas como de alto riesgo.

P.C.: Riesgo de incendios forestales, Sistema de Soporte a la Decisión, Landsat TM.

## SUMMARY

The FI.R.E.M.EN. (Fire Risk Evaluation in Mediterranean ENvironment) system is a research project based in the development and application of a decision support system oriented to the identification and cartography of the risk of forest fire areas in the mediterranean countries of the European Union. The system is based on the use of satellite images and Geographic Information Systems in an integrated way using fuzzy rules that incorporate the information supplied by experts in the prevention and fight of forest fires. The FI.R.E.M.EN system has been applied to the study of the great forest fire of Requena (Valencia, Spain) occurred in the first week

of July 1994 and it has been tested that the majority of the burnt surfaces were qualified as being in high risk of forest fire.

K.W.: Forest fire risk, Decision Support System, Landsat TM.

## INTRODUCCIÓN

En España durante los últimos 25 años más de cinco millones de hectáreas de terrenos forestales han sido destruidos por el fuego, correspondiendo más de dos millones de hectáreas a terrenos arbolados. La utilización de las técnicas de teledetección espacial en combinación con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) está abriendo recientemente un campo de investigación muy prometedor en la prevención y lucha contra los incendios forestales (VASCONCELOS, 1995). El sistema FI.R.E.M.EN. (Fire Risk Evaluation in Mediterranean ENvironment) es un proyecto de investigación que ha sido financiado por el programa de Medio Ambiente de la Unión Europea dentro del IV Programa Marco de I+D durante los años 1995 y 1996. Este proyecto ha sido coordinado por el equipo de investigación del ITIM-CNR (Italia) y también han participado otros laboratorios de Italia, Grecia y España. El objetivo básico de FI.R.E.M.EN. ha sido el desarrollo y aplicación de un sistema de ayuda a la decisión orientado a la identificación y cartografía de áreas con alto riesgo de aparición y desarrollo de incendios forestales en la Europa mediterránea.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El sistema FI.R.E.M.EN. es un Sistema de Soporte a la Decisión (SSD) que se basa en la utilización combinada de técnicas de Teledetección y SIG. La información obtenida a partir de imágenes de satélite (tipos de vegetación y usos del suelo) se integra con otras informaciones de tipo geográfico (altitud, pendiente, exposición, vientos predominantes) y como resultado se obtiene una cartografía del riesgo de aparición de incendios forestales.

El aspecto más novedoso del sistema consiste en la utilización de técnicas de clasificación basadas en la teoría de conjuntos difusos aplicadas a la cartografía de tipos de cubiertas vegetales (WANG, 1990) y en el empleo de reglas "fuzzy" (ZADEH, 1965) que incorporan el conocimiento de los expertos en la definición de áreas de riesgo en base a la evaluación combinada de una serie de factores.

La modelización del SSD comprende las fases siguientes (BINAGGI Y RAMPINI, 1993):

- Definición de los observables que representan a los factores que afectan al riesgo de incendio forestal.

- Definición de los términos lingüísticos que describen cualitativamente cada observable.

- Definición de las funciones de pertenencia que describen cuantitativamente cada término.

- Definición de las clases de riesgo y sus términos lingüísticos.

- Definición de la importancia relativa entre los factores.

- Elicitación y generación de las reglas de decisión.

Las tres categorías de factores que se han identificado con más incidencia en el riesgo de incendios forestales son: el tipo de cubierta vegetal, la topografía y las condiciones meteorológicas.

El tipo de cubierta vegetal derivado de la clasificación de las imágenes de satélite a partir de su información espectral se considera importante porque sus características y distribución determinan las condiciones del combustible.

Entre los factores relativos a la topografía se han considerado importantes la pendiente, que favorece o retrasa el avance de las llamas, y la exposición, que aumenta o disminuye la humedad del combustible.

Un factor meteorológico importante es la velocidad del viento, que contribuye al progreso del incendio a través de la convección que producen las llamas y mediante la desecación del combustible.

La modelización del riesgo de incendio forestal se ha realizado utilizando una única lase lingüística calificada en tres términos: alto, medio y bajo, que representan de mayor a menor grado de gravedad.

En la evaluación del riesgo de incendio los diferentes factores son agregados y evaluados. Por ejemplo, el factor tipo de cubierta desempeña un papel preponderante en la creación de las condiciones necesarias para la presencia del fuego y su propagación, mientras los otros factores incrementan o disminuyen la gravedad del riesgo. La diferente combinación de factores de riesgo se puede cuantificar mediante coeficientes de peso. La definición de estos coeficientes requiere en primer lugar una ordenación cualitativa de los factores y luego una comparación dos a dos de cara al cálculo del vector de pesos correspondiente.

El último aspecto concierne a la identificación de las relaciones causales (reglas de producción "fuzzy") existentes entre los factores y la clase de riesgo.

En el sistema FI.R.E.M.EN. los expertos son consultados para que definan áreas de entrenamiento a las que deben asociar un grado de riesgo de incendio forestal en base a su experiencia y conocimiento específico del área en cuestión. De esta forma realizan una evaluación implícita de los observables implicados en los factores que afectan al riesgo de incendio de cada píxel perteneciente al área seleccionada.

Una de las zonas en las que se ha aplicado el sistema FI.R.E.M.EN. de cara al análisis de su idoneidad ha sido el área correspondiente al incendio forestal de Requena (Valencia) ocurrido durante el verano de 1994. El incendio se inició el 5 de julio y se extinguió el 12 de julio. La causa de incendio fue una colilla encendida de cigarro arrojada por un fumador.

La superficie afectada fue 31.123 ha, de las que 16.273 ha fueron de forestal abolido, 7.691 ha de forestal no arbolado y 7.059 ha de no forestal.

La zona de estudio tiene unas dimensiones de 60 x 50 km y se encuentra comprendida entre las coordenadas UTM 4410 - 4360 de latitud Norte y las coordenadas 650 - 710 de longitud Este en el huso 30. Las especies forestales afectadas fueron principalmente: *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra* y en menor medida *Quercus ilex*.

La lista de factores considerados con incidencia en la determinación del riesgo de incendio forestal para la zona de Requena se especifican en la Tabla 1.

La pendiente y la exposición se han obtenido a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) disponible de la zona en estudio y la red hidrográfica y de comunicaciones se ha obtenido por digitalización de cartografía a escala 1:50.000.

Para obtener la cartografía de los tipos de cubierta vegetal presentes en la zona en estudio antes del incendio se ha utilizado una imagen de satélite Landsat TM de fecha 28 de mayo de 1994. Esta imagen se ha clasificado mediante un procedimiento de clasificación "fuzzy" incluido en el sistema FI.R.E.M.EN. Mediante este sistema para cada tipo de cubierta se obtiene una imagen en la que el valor de cada píxel representa el grado de pertenencia a la clase en cuestión.

Los tipos de cubierta vegetal o usos del suelo considerados en el proceso de clasificación han sido: Agua, Cítricos, Matorrales, Coníferas, Urbano, Agrícola no irrigado, Incendios del año 1994, Incendios del año 1993, Incendios del año 1992, Suelos desnudos y Vegetación ripícola.

Con objeto de poder realizar una evaluación de la clasificación cada píxel se ha asignado a la clase para la que tiene un mayor grado de pertenencia. El porcentaje de clasificación correcta

obtenido en una serie de áreas de test seleccionadas en el área en estudio para el conjunto de las clases consideradas ha sido 83,11 .

## RESULTADOS

En base a la información proporcionada por los expertos de la Dirección General de Montes de la Comunidad Autónoma de Valencia mediante el sistema FI.R.E.M.EN. han sido generadas automáticamente un conjunto de 23 reglas de decisión. En la Tabla 2 se presentan tres ejemplos de estas reglas que corresponden a la definición de riesgo de incendio bajo, medio y alto. La base de conocimiento obtenida sobre el área en estudio ha sido utilizada por el mecanismo de inferencia basado en la lógica "fuzzy" para producir la cartografía del riesgo de incendio forestal en el área en estudio que aparece representada en la Figura 1 en una escala de grises de forma que cuanto más claro hay más riesgo. Se ha evaluado la precisión de la cartografía del riesgo de incendio forestal obtenida comparándola con una cartografía de la zona incendiada obtenida a partir de una imagen Landsat TM posterior a la fecha del incendio. En la Tabla 3 aparecen los resultados obtenidos en esta comparación donde puede observarse que solamente el 11 % del área quemada corresponde a zonas calificadas como de bajo riesgo de incendio forestal, mientras que el 74 % del área incendiada corresponde a zonas calificadas como de alto riesgo de aparición de incendio.

## CONCLUSIONES

El Sistema de Soporte a la Decisión desarrollado en el sistema FI.R.E.M.EN. se ha manifestado como una herramienta potente y eficaz para la identificación de áreas de alto riesgo de aparición de incendios forestales, pudiendo complementar los sistemas existentes actualmente para la determinación del riesgo de incendios. La caracterización del territorio en niveles de riesgo obtenida previamente al inicio de la campaña de incendios serviría como un elemento de planificación de las actuaciones preventivas y de distribución de los medios de extinción en un área determinada.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado con cargo al proyecto EV5V-CT94-0521 del programa de Medio Ambiente y Clima del IV Programa Marco de I+D de la Unión Europea. Los autores agradecen las facilidades proporcionadas por los Servicios Forestales de la Comunidad Autónoma Valenciana en la realización del trabajo de campo y en el acceso a la cartografía temática relativa al área en estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINAGHI, E. & RAMPINI A. (1993). Fuzzy decision making in classification of multisource remote sensing data. Número especial "From numerical to symbolic image processing systems and applications", *Optical Engineering*, 32(6): 1193-1204.

VASCONCELOS, M. J, (1995). Integration of remote sensing and geographic information systems for fire risk management. *In: Proc. of EARSeL International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management*, 129-147.

WANG, F. (1990). Fuzzy supervised classification of remote sensing images. *In: IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 28(2), 194-200.

ZADEH, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*. 8: 338-353.

<b>Factores</b>	<b>Observables</b>	<b>Fuente de los datos</b>
Usos del suelo	Agua Cítricos Matorrales Coníferas Urbano Agrícola no irrigado Incendios forestales de 1994 Incendios forestales de 1993 Incendios forestales de 1992 Suelos desnudos Vegetación ripícola	Imagen Landsat TM
Cartografía	Proximidad a carreteras Proximidad a ríos	Mapas
Topografía	Pendiente Orientación Altitud	Mapas
	Viento relacionado con la orografía	Simulador del viento y mapa altitudinal

Tabla 1. factores, obseables y fuentes de los datos

<p>@IF[Agua] IS (alto) AND [Cítricos] IS (bajo) AND [Matorrales] IS (bajo) AND [coníferas] IS (bajo) AND [Urbano] IS (bajo) AND (Agrícola no irrigado) IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1994] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1993] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1992] IS (bajo) AND [Suelos desnudos] IS (bajo) AND [Vegetación ripícola] IS (bajo) AND [pendiente] IS (bajo) AND [Orientación] IS (Alto) AND [Velocidad del viento] IS (medio) AND [Altitud] IS (medio) AND [Proximidad a carreteras] IS (bajo) THEN [Riesgo de incendio forestal] IS (bajo)</p>
<p>@IF [Agua] IS (bajo) AND [Cítricos] IS (bajo) AND [Matorrales] IS (alto) AND [Coníferas] IS (bajo) AND [Agrícola no irrigado] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1994] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1993] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1992] IS (bajo) AND [Suelos desnudos) IS (bajo) AND [Vegetación ripícola] IS (bajo) AND [Pendiente] IS (bajo) AND [Orientación] IS (bajo) AND [Velocidad del viento] IS (medio) AND [Altitud] IS (medio) AND [Proximidad a carreteras] IS (bajo) THEN [Riesgo de incendio forestal] IS (medio)</p>
<p>@IF [Agua] IS (bajo) AND [Cítricos] IS (bajo) AND [Matorrales] IS (bajo) AND [Coníferas] IS (alto) AND [Urbano] IS (bajo) AND [Agrícola no irrigado] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1994] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1993] IS (bajo) AND [Incendios forestales de 1992] IS (bajo) AND [Suelos desnudos] IS (bajo) AND [Vegetación ripícola] IS (bajo) AND [Pendiente] IS (bajo) AND [Orientación] IS (alto3) AND [Velocidad del viento] IS (alto) AND [Altitud] IS (medio) AND [Proximidad a carreteras] IS (bajo) AND [Proximidad a ríos] IS (bajo) THEN [Riesgo de incendio forestal] IS (alto)</p>

Tabla 2. Ejemplos de reglas generadas automáticamente

	Riesgo de incendio forestal		
	Bajo	Medio	Alto
Píxeles quemados (%)	1487 (11,870)	1777 (14,185)	9263 (73,944)
Píxeles no quemados (%)	137888 (61,116)	19768 (7,762)	67961 (30,122)

Tabla 3. Exactitud de la clasificación en áreas de riesgo de incendio forestal

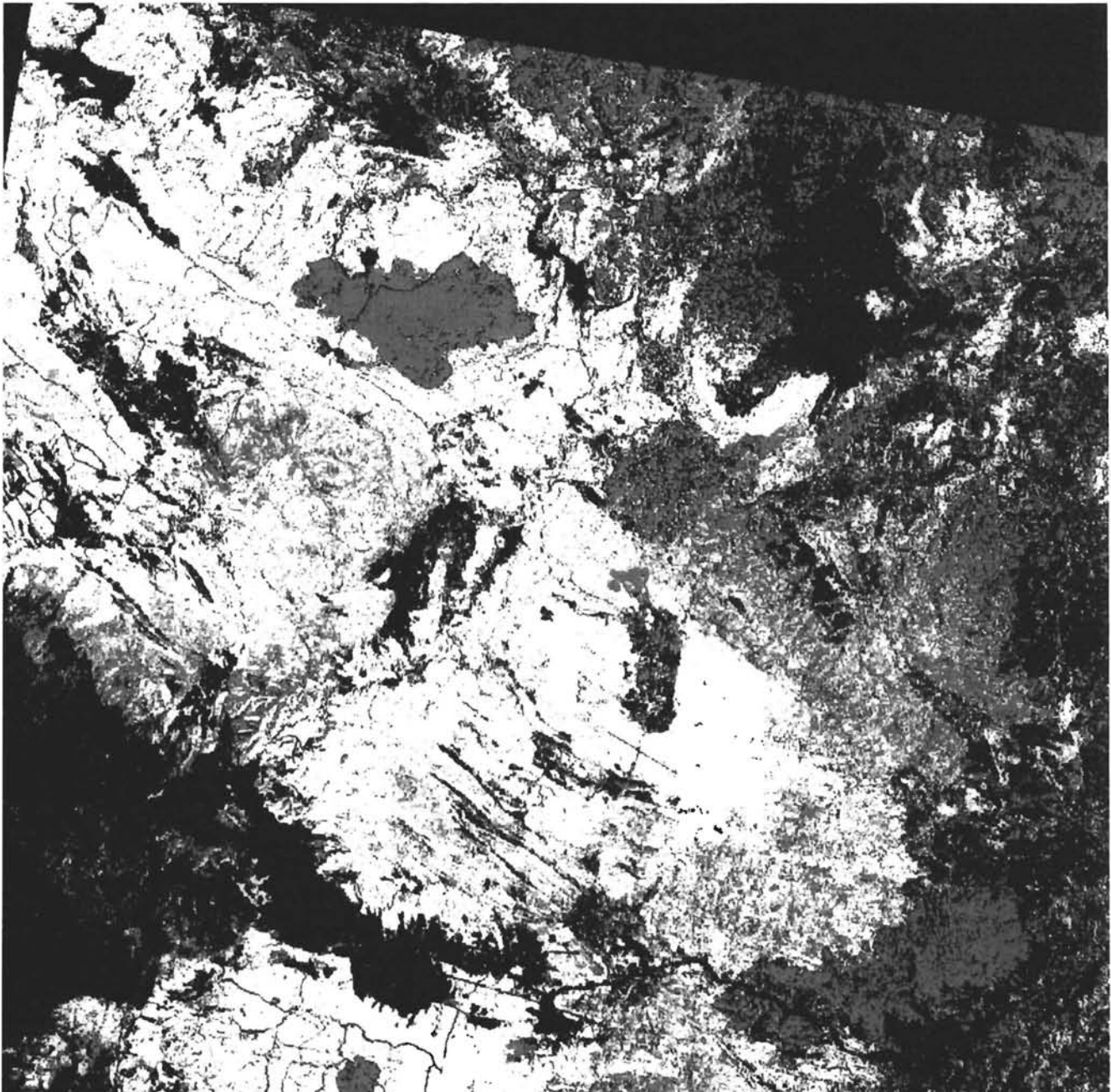


Figura 1. Riesgo de incendio forestal en el área en estudio. Mayor riesgo cuanto más claro