

EVALUACION DEL RIESGO DE APARICION DE INCENDIOS FORESTALES EN LA COMUNIDAD AUTONOMA VALENCIANA EN 1994 MEDIANTE IMAGENES DE SATELITE NOAA-AVHRR

F. GONZÁLEZ-ALONSO¹, J. M. CUEVAS¹, J. L. CASANOVA², A. CALLE² y P. ILLERA²

RESUMEN

Se ha determinado el riesgo de aparición de grandes incendios forestales en la Comunidad Autónoma Valenciana en 1994 a partir de la información suministrada por el sensor AVHRR de los satélites de la serie NOAA. Los resultados obtenidos muestran que la metodología diseñada es una técnica de gran interés, tal y como se ha demostrado en el caso de los grandes incendios forestales acaecidos en dicha Comunidad durante el verano de 1994.

Palabras clave: Incendios forestales, imágenes NOAA-AVHRR, riesgo de incendios.

INTRODUCCION

Los incendios forestales son una de las mayores causas de la destrucción del medio ambiente a nivel mundial e influyen en el cambio climático global debido a las enormes cantidades de CO₂, CH₄, COS, NH₃, NOX, CO, hidrocarburos y partículas que se liberan a la atmósfera durante el proceso de combustión de la biomasa. Además, el CO₂ y el CH₄ residen durante mucho tiempo en la troposfera y en consecuencia influyen de forma muy importante en el calentamiento de la atmósfera a nivel global debido al efecto invernadero (MATSON *et al.*, 1987).

Según las estadísticas de la FAO (FAO, 1992) durante el período 1981-1990 han ardido a nivel mundial una media de 6.732.000 ha de tierras forestales cada año, lo cual representa el 0,24% de las mismas.

En el área mediterránea los incendios forestales son uno de los mayores problemas ecológicos

debido a que con su elevada frecuencia e intensidad se ven afectados todos los años grandes extensiones de territorio. En el Mediterráneo norte la media anual de superficie afectada por el fuego durante el período 1981-1990 ha sido 437.650 ha (FAO, 1992).

En España este problema es especialmente dramático pues el número de incendios ha pasado de 64.452 en la década 1975-1984 a 132.333 en la década 1985-1994, es decir, entre ambos períodos de tiempo el incremento en el número de incendios forestales ha sido del 205%. La superficie total afectada por los incendios ha pasado de 2.120.591 ha en el período 1975-1984 a 2.533.482 ha en el período 1985-1994 con un incremento del 19,47%. Las superficies arboladas afectadas han pasado de 899.711 ha en la década 1975-1984 a 1.065.465 ha en la década 1985-1994, es decir, se han incrementado en un 18,42%.

El año 1994 fue especialmente negativo en España en materia de incendios forestales pues la superficie total afectada fue de 432.997 ha, de las cuales 250.231 correspondieron a superficies arboladas. Esta última cifra es especialmente grave pues es la primera vez que en España se han sobrepasado las 200.000 ha arboladas destruidas

¹ Laboratorio de Teledetección. CIT-INIA. Ctra. de la Coruña Km 7, 28040 Madrid.

² Laboratorio de Teledetección. Departamento de Física Aplicada I, Universidad de Valladolid. Prado de la Magdalena s/n, Valladolid.

por el fuego, superándose en un 37% el anterior récord histórico del año 1989 en que fueron 182.369 las hectáreas incendiadas.

En el año 1994 la Comunidad Autónoma más afectada fue la Comunidad Valenciana con una superficie total incendiada de 138.775 ha, de las que 87.229 estaban ocupadas por masas arboladas. Esto supone que aproximadamente el 14% de la superficie arbolada de dicha Comunidad se destruyó durante el verano de 1994.

En la Lámina I aparece el sector de la imagen NOAA 11-AVHRR captada en la mañana del 6 de julio de 1994 cubriendo el área estudiada en el presente trabajo con una combinación de los canales térmicos 3 y 4 del sensor. Se aprecian claramente en color amarillo y anaranjado cuatro grandes incendios forestales con multitud de focos activos. En el momento de obtenerse la imagen se encontraban ardiendo simultáneamente aproximadamente 23.500 ha.

Las causas de estas catástrofes pueden deberse a la sequía que se ha padecido en amplias zonas de España desde el año 1992 y al importante déficit pluviométrico que se ha producido en el año 1994 en el sur y este de la Península Ibérica incluyendo Cataluña, Aragón, Valencia, Murcia, Castilla La Mancha y algunas zonas de Andalucía. En muchas de estas regiones las precipitaciones no han alcanzado el 50% del valor normal.

El día 30 de junio de 1994 la precipitación acumulada desde el 1 de septiembre de 1993 era inferior al 75% de la media de los últimos 30 años al este de una línea imaginaria uniendo Sevilla y San Sebastián.

En lo que respecta a las temperaturas los valores de julio y agosto fueron extremadamente cálidos y muy especialmente los primeros días del mes de julio cuando se alcanzaron los 46 °C en Córdoba y Sevilla.

Las investigaciones sobre la utilización de las imágenes procedentes del sensor AVHRR de los satélites de la serie NOAA en la lucha contra los incendios forestales se vienen realizando en España desde el año 1990 con diversos objetivos tales como: identificación y cartografía de áreas quemadas (GONZÁLEZ-ALONSO, 1994; CHUVIECO y MARTÍN, 1994; MARTÍN y CHUVIECO, 1995),

detección de focos de incendios activos (CASANOVA *et al.*, 1993; GONZÁLEZ-ALONSO, 1993; ILLERA Y DELGADO, 1995), así como la estimación del peligro de incendio (LÓPEZ *et al.*, 1991; GONZÁLEZ-ALONSO y CASANOVA, 1994; MARTÍN *et al.*, 1995).

El objetivo de este estudio ha sido tratar de identificar las áreas más propensas a la aparición y desarrollo de grandes incendios forestales mediante el seguimiento de la evolución experimentada por la actividad fotosintética de las cubiertas vegetales a partir de la evolución en el tiempo del Índice de Vegetación Normalizado, NDVI (TUCKER, 1979), deducido de los canales 1 (rojo) y 2 (infrarrojo próximo) del sensor AVHRR de los satélites de la serie NOAA.

METODOLOGIA Y RESULTADOS

El área estudiada cubre un territorio de aproximadamente 2.420.000 ha correspondientes a la Comunidad Autónoma de Valencia y a una parte de la provincia de Cuenca. Este área tiene un relieve en general bastante accidentado y las masas forestales están constituidas en su gran mayoría por masas de *Pinus halepensis* L., apareciendo también *Pinus pinaster* Ait., así como la encina.

Las imágenes procedentes del sensor AVHRR de los satélites NOAA son recibidas diariamente con una resolución espacial de 1 km² mediante la antena instalada en el Laboratorio de Teledetección del Departamento de Física Aplicada I de la Universidad de Valladolid.

A partir de dichas imágenes la metodología empleada en la realización de este estudio ha constado fundamentalmente de los siguientes pasos:

- Corrección geométrica y radiométrica de las imágenes NOAA-AVHRR.
- Cálculo diario del Índice de Vegetación Normalizado, NDVI, que en el caso de las imágenes NOAA-AVHRR tiene como expresión:

$$\text{NDVI} = (\text{banda 2} - \text{banda 1}) / (\text{banda 2} + \text{banda 1})$$

- Obtención de la imagen compuesta semanal correspondiente al valor máximo del NDVI.

d) Determinación de las superficies incendiadas mediante un proceso de clasificación automática de una imagen multitemporal compuesta por una fecha anterior a los incendios y otra de fecha posterior a los mismos (GONZÁLEZ-ALONSO, 1994).

e) Generación de la imagen multitemporal correspondiente a la cuarta semana de mayo y a la cuarta semana de junio de 1994 previas a la aparición de los grandes incendios en la zona en estudio en la primera semana de julio de 1994.

f) Aplicación a la imagen multitemporal de la máscara correspondiente a las superficies forestales. Esta máscara se obtuvo a partir de los resultados del proyecto CORINE LAND COVER redefiniendo las clases presentes.

g) Clasificación automática no supervisada de la imagen multitemporal de las superficies forestales.

h) Interpretación de la clasificación resultante en base a la evolución experimentada por el NDVI medio de cada clase a lo largo del tiempo. Las clases de riesgo habrán lógicamente experimentado una disminución en el NDVI de mayor magnitud cuanto mayor sea el nivel de *stress*.

i) Identificación de los píxeles con una mayor concentración en el nivel de riesgo como resultado de la realización de un análisis de diversidad espacial basado en una ventana de 3 x 3 píxeles rodeando a cada píxel (CUEVAS y GONZÁLEZ-ALONSO, 1993).

Se han considerado píxeles de alto riesgo aquellos en que en una ventana cuadrada de 3 x 3 píxeles, rodeándoles hay siete, ocho o nueve píxeles calificados como de riesgo.

En la Lámina II aparecen en color naranja las zonas incendiadas en el área en estudio obtenidas a partir de las imágenes NOAA-AVHRR.

Como resultado de la aplicación de esta metodología se ha obtenido que el 21,87% del área en estudio se encontraba con un alto grado de riesgo de aparición de incendios forestales. Estas áreas se encuentran representadas en color amarillo o blanco en la Lámina III.

La incidencia del fuego en el conjunto del área en estudio ha sido el 4,14%, mientras que en las superficies calificadas como de alto riesgo fue del 9,17%. Es decir, la incidencia del fuego en las áreas de alto riesgo ha sido 2,21 veces mayor que en el conjunto del área estudiada.

Para analizar la dependencia estadística del fenómeno incendio con respecto a las áreas calificadas como en alto riesgo se ha realizado una prueba chi-cuadrado sobre la tabla de contingencia que aparece en la Tabla I. La realización de la prueba chi-cuadrado correspondiente a la Tabla I indica que existe una dependencia significativa estadísticamente al nivel de probabilidad 0,001 entre el fenómeno incendio y el fenómeno riesgo. O, lo que es lo mismo, que los incendios ocurren con mayor frecuencia de una forma significativa en las áreas que están calificadas como en alto riesgo.

En la Tabla I figuran entre paréntesis las frecuencias esperadas si existiera independencia estadística entre el fenómeno incendio y el fenómeno riesgo. Así pues, la «frecuencia esperada» de los incendios para el área en riesgo era de 219,64 km², mientras que la «frecuencia real» observada para dicho fenómeno ha sido de 486 km², 2,21 veces superior, debido a la asociación que existe entre los incen-

TABLA I
TABLA DE CONTINGENCIA ENTRE LAS AREAS DE RIESGO Y LAS AREAS INCENDIADAS.
FRECUENCIAS OBSERVADAS Y ESPERADAS (ENTRE PARENTESIS)

	Riesgo (km ²)	No Riesgo (km ²)	Total (km ²)
Incendio (km ²)	486 (219,64)	518 (784,35)	1.004
No incendio (km ²)	4.809 (5.075,35)	18.390 (18.123,64)	23.199
Total (km ²)	5.295	18.908	24.203

dios y las áreas en riesgo determinadas en base a la metodología diseñada y aplicada.

En la Lámina III aparecen representadas en color amarillo las áreas de riesgo no incendiadas, en blanco las áreas incendiadas coincidentes con áreas de riesgo, y en color azul las áreas incendiadas que no coinciden con áreas en riesgo. En esta figura se puede observar cómo las áreas incendiadas no coincidiendo con áreas de riesgo están prácticamente todas situadas en las proximidades de áreas incendiadas en zonas de riesgo, lo que muestra que una vez se ha desatado un gran incendio forestal este puede afectar a zonas que en principio no presentaban un gran riesgo de ser el origen de un incendio.

CONCLUSIONES

Las zonas de riesgo de incendio forestal identificadas en base a la información proporcionada por

las imágenes NOAA-AVHRR están estadísticamente asociadas de forma significativa con los incendios forestales ocurridos en la Comunidad Valenciana durante la primera semana de julio de 1994. Así pues, la utilización operacional de las imágenes NOAA-AVHRR en la determinación del riesgo de aparición de grandes incendios forestales en el área mediterránea es una técnica que presenta gran interés en la mitigación de este tipo de desastres ecológicos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la Dirección General de Planificación Territorial de la Secretaría de Estado de Política Territorial y Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente que nos ha facilitado la información procedente del proyecto CORINE LAND COVER.

SUMMARY

The risk of great forest fires in 1994 has been determined in the community of Valencia (Spain) from the information supplied by the sensor AVHRR of the NOAA satellites. The obtained results show that the designed methodology is an interesting technique as it has been demonstrated in the case of the great forest fires occurred in the Community of Valencia in the summer of 1994.

Key words: Forest fires, NOAA-AVHRR images, fire risk.

BIBLIOGRAFIA

- CASANOVA J. L., ILLERA P., DELGADO J. A. y RODRÍGUEZ P. 1993: «Análisis de incendios mediante imágenes NOAA». *Cuarta Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*, Sevilla, p. 53-57.
- CHUVIECO E. y MARTÍN P. 1994: «A simple method for fire growth mapping using AVHRR channel 3 data». *International Journal of Remote Sensing*, 16: 3141-3146.
- CUEVAS J. M. y GONZÁLEZ-ALONSO F. 1993: «Análisis mediante una imagen Landsat MSS de la diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana». *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 2(1): 89-98.
- FAO 1992: «Global wildland fire statistics, 1981-1990». MISC/92/4. Forestry Department. Roma.
- GONZÁLEZ-ALONSO F. 1993: «Aplicaciones de la Teledetección espacial al estudio de los incendios forestales. Detección de incendios en Galicia». *Congreso Forestal Español*. Lourizán, pp. 53-57.
- GONZÁLEZ-ALONSO F. 1994: «Identificación rápida de superficies afectadas por grandes incendios forestales en España a partir de imágenes NOAA-AVHRR». *Montes*, 35: 24-26.

- GONZÁLEZ-ALONSO F. y CASANOVA J. L. 1994: «Application of NOAA-AVHRR images to the study of forest fires in Spain». *International Workshop on Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management*. Thessaloniki, pp. 53-57.
- ILLERA P. y DELGADO J. A. 1995: «Fire monitoring in Spain using NOAA thermal data». *14th EARsEL Symposium on Sensors and Environmental Applications*, Götterborg, pp. 377-384.
- LÓPEZ S., GONZÁLEZ-ALONSO F., LLOP R. y CUEVAS J. M. 1991: «An evaluation of the utility of NOAA-AVHRR imagen for monitoring forest fire risk in Spain». *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1841-1851.
- MARTÍN M. P. y CHUVIECO E. 1995: «Cartografía y evaluación superficial de grandes incendios forestales a partir de imágenes de satélite». *Ecología*, 9: 3-8.
- MARTÍN M. P., DOMÍNGUEZ L. y CHUVIECO E. 1995: «Estimating forest fire danger from AVHRR data». *14th EARsEL Symposium on Sensors and Environmental Applications*. Götterborg, pp. 375-376.
- MATSON M., STEPHENS G. y ROBINSON J. 1987: «Fire detection using data from NOAA-N satellites». *International Journal of Remote Sensing*, 8(7): 961-970.
- TUCKER C. J. 1979: «Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation». *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.