

## DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES Y ESTIMACIÓN DE RIESGO A PARTIR DE IMÁGENES SEVIRI SINTÉTICAS

A. CALLE<sup>(1)</sup>, J. L. CASANOVA<sup>(1)</sup>, F. GONZÁLEZ-ALONSO<sup>(2)</sup> y A. ROMO<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid.  
Dpto. Física Aplicada I. Facultad de Ciencias.  
Universidad de Valladolid  
abel@latuv.uva.es

<sup>(2)</sup>Centro de Investigación Forestal (CIFOR)  
Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias  
Ministerio de Ciencia y Tecnología  
alonso@inia.es

**RESUMEN:** Este trabajo muestra una metodología para aplicar técnicas conocidas de detección de incendios y determinación de riesgo de incendios forestales usadas sobre imágenes AVHRR, a las imágenes SEVIRI procedentes del MSG. Los resultados son obtenidos a partir de la simulación de las imágenes SEVIRI introduciendo algunas técnicas de procesamiento de imágenes como la corrección de la reflectancia a partir de la aplicación de un modelo de reflectancia bidireccional, para obtener datos válidos en cualquier instante. Las imágenes SEVIRI serán una herramienta útil en el estudio de los incendios forestales, debido a la buena resolución temporal del sensor.

**Palabras Clave:** SEVIRI, MSG, AVHRR, Riesgo de incendios, Detección de incendios

**ABSTRACT:** This work shows a methodology to apply the known techniques of fire detection and forest fire risk used over AVHRR images, to SEVIRI images from MSG. Results are obtained by simulation of SEVIRI images introducing some techniques of image processing as the correction of reflectivity using a bi-directional reflectance model to obtain valid data for any time. SEVIRI images will be a very useful tool in the management of forest fire, caused by a very good temporal resolution.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar y poner a punto los algoritmos para la detección de incendios forestales a partir de imágenes SEVIRI, así como la estimación del riesgo de incendios a partir de estas mismas imágenes. Para ello se han generado imágenes sintéticas SEVIRI a partir de imágenes NOAA-AVHRR y se ha utilizado un modelo de reflectancia bidireccional para adaptar modelos de riesgo de incendios basados en la magnitud NDVI y ser extendidos a sensores que, como en el caso del SEVIRI, aportarán imágenes con frecuencia temporal más alta y con configuraciones geométricas solares muy diferentes entre imágenes. Los resultados demuestran que se podrán detectar grandes incendios a partir de imágenes SEVIRI e incluso pequeños fuegos del orden de 1 ha o menos. Asimismo es posible establecer un mapa de riesgo de incendios a base de un indi-

cador de la evolución de la vegetación y de un indicador de su humedad.

### GENERACIÓN DE IMÁGENES SINTÉTICAS SEVIRI

Las imágenes del sensor SEVIRI se han generado a partir de imágenes del sensor NOAA-AVHRR corregidas geográficamente. Dichas imágenes NOAA fueron remuestreadas a una resolución espacial de 1x1 km<sup>2</sup>, en proyección UTM 30 N. Las imágenes SEVIRI son obtenidas a su vez a través de un proceso de remuestreo utilizando los criterios de vecino más próximo e interpolación bilineal y aplicando las condiciones geométricas impuestas por el sensor.

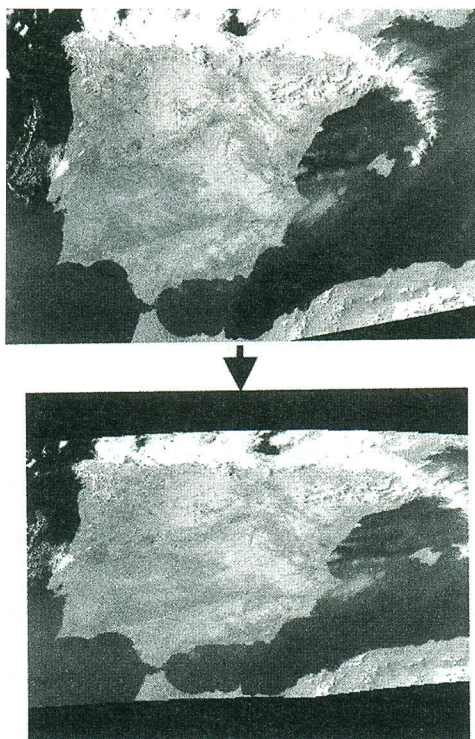
Se considera que el satélite estará en la posición (longitud, latitud) = (0,0) y que la resolución sub-satélite será de 3x3 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un valor del IFOV

(*Instantaneous Field of Vision*) de  $8.383e-5$  rad., tomando una distancia nominal del satélite de 45164.0 km y el valor del radio ecuatorial terrestre. Las coordenadas de los puntos de la imagen SEVIRI se han obtenido mediante relaciones trigonométricas que utilizan como valor del FOV (*Field Of Vision*) 0.314 rad, lo que equivale a la cobertura total del disco terrestre desde la distancia del satélite. Además, se ha aplicado el factor de achatamiento de la superficie terrestre, corrigiendo geográficamente la imagen de acuerdo al elipsoide WGS84.

El resultado de la generación de imágenes simuladas se aprecia en la figura 1, en la que aparecen las imágenes NOAA-AVHRR y SEVIRI. A pesar de que los tamaños representados son iguales, para que el efecto de la distorsión SEVIRI pueda ser apreciado perfectamente, obviamente la resolución espacial de ambas imágenes es muy diferente. Mientras que la imagen NOAA de partida estaba corregida geoméricamente correspondiéndola una resolución de  $1 \times 1$  km<sup>2</sup>, en el caso del sensor SEVIRI la resolución espacial es variable con la latitud debido a la curvatura de la superficie terrestre. Para ilustrar este efecto hemos calculado las resoluciones espaciales en cuatro puntos extremos de la península Ibérica, cuyas coordenadas geográficas se han tomado de forma aproximada. Los resultados se muestran en la tabla 1, en la que se expone además de la denominación y coordenadas aproximadas, la resolución espacial en la dimensión X y en la dimensión Y, ambas expresadas en km:

Denominación	Latitud	Longitud	X(km)	Y(km)
Norte Galicia	44°N	8°W	3.03	4.38
San Vicente	37°N	9°W	3.04	3.89
Cabo Gata	36.5°N	2°W	3.0	3.92
Cabo Creus	42.5°N	3.5°E	3.0	4.26

**Tabla 1.** Comparativa de la resolución espacial de puntos extremos de la península Ibérica.



**Figura 1.** Imagen NOAA y la correspondiente imagen SEVIRI simulada.

### CORRECCIÓN DE LA REFLECTANCIA BIDIRECCIONAL

El algoritmo para la detección de incendios forestales se aplicará a lo largo de todo el día, por lo que es necesario corregir la reflectancia no-lambertiana de la superficie terrestre ya que se utilizarán imágenes tomadas a diferentes horas del día y por tanto con una geometría Sol-satélite variable. Para llevar a cabo la corrección de la reflectancia bidireccional del suelo y obtener la reflectancia hemisférica normalizada o reflectancia lambertiana homogénea se ha aplicado el modelo de *Walthall et al., 1986* con algunas modificaciones.

La reflectancia del suelo puede ser modelizada mediante la expresión:

$$r(\theta_s, \theta_v) = a \theta_s^2 + b \theta_s \cos(\phi_s - \phi) + c$$

en la que los coeficientes a, b y c dependen del ángulo cenital solar,  $\theta_s$ ;  $\theta_v$  es el ángulo cenital del satélite, y  $\phi_s$

y  $\phi_s$  son los ángulos acimutales del sol y del satélite respectivamente. Esta expresión, integrada y normalizada en todo el hemisferio lleva a la expresión:

$$R_H = \frac{\int r(\theta_s, \phi_s) \cos(\theta_s) \sin(\theta_s) d\theta_s d\phi_s}{\int \cos(\theta_s) \sin(\theta_s) d\theta_s d\phi_s} = \frac{2.305 a}{\pi} + c$$

En el modelo de Walthall se aportan los coeficientes a, b y c para diferentes ángulos solares  $\theta_s$  obtenidos de forma experimental. Se han tomado dichos valores obteniendo expresiones de ajuste parabólico de la forma:  $\text{coef}_i(\theta_s) = c_0 + c_1(\theta_s) + c_2(\theta_s)^2$ , donde  $\text{coef}_i$  designa a los coeficientes a, b y c. Finalmente, la reflectancia hemisférica normalizada,  $R_H$ , se ha obtenido utilizando la reflectancia obtenida directamente desde el satélite  $r(\theta_s, \theta_v)$  mediante la expresión modificada:

$$R_H = r(\theta_s, \theta_v) + \frac{2.305 a(\theta_s)}{\pi} - a(\theta_s) \cdot \theta_s^2 - b(\theta_s) \cdot \theta_s \cdot \cos(\phi_s - \phi_v)$$

La reflectancia bidireccional puede ser corregida con otros modelos. A pesar de que en un principio se ha llevado a cabo la aplicación de un modelo general como es el que hemos expuesto, estamos trabajando en modelos que adaptan la cubierta del suelo mediante la utilización de coeficientes. Estos coeficientes que no pueden ser calculados para todas las posibles cubiertas, si pueden estar englobados en grandes grupos de cubiertas que se muestran más homogéneas en su ocupación. Tengamos en cuenta la moderada resolución espacial del sensor. Además, en el modelo adoptado deberá tenerse en cuenta que los cálculos se realizarán en tiempo real, y por tanto, deben tener una alta economía de tiempo de cálculo.

### ALGORITMO DE DETECCIÓN DE FUEGOS FORESTALES

Para detectar focos activos se ha adoptado el algoritmo de Fernández *et al.* (1995). Este algoritmo que ha sido validado correctamente para imágenes NOAA-AVHRR aporta buenos resultados al aplicarlo a imágenes SEVIRI simuladas.

El algoritmo consiste en analizar la distribución espacial de datos de temperaturas de brillo en las regiones espectrales de las 3 y 11 mm y los valores de reflectancia, mediante la utilización de matrices de píxeles deslizantes, centradas en el píxel de análisis. Así, tras obtener los valores de reflectancia y temperaturas de brillo de los canales 3 y 4 NOAA-AVHRR, y tras filtrar las nubes, se concluye que un píxel corresponde a un fuego activo, si satisface las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} T_3 &> \mu_3 + 2 \cdot \sigma_3 \\ (T_3 - T_4) &> \mu_{3,4} + 2 \cdot \sigma_{3,4} \\ R_2 &> \mu_2 + \sigma_2 \quad (\text{esta condición es aplicada para las imágenes diurnas}) \end{aligned}$$

Los valores  $\mu$  y  $\sigma$  corresponden a la media y la desviación estándar de la matriz de puntos analizada.

El análisis, que previamente ha sido verificado sobre las imágenes AVHRR, se ha realizado sobre matrices de dimensión 35x35. Para el caso de imágenes SEVIRI, la dimensión de las matrices ha sido de 25x19 debido a la diferente resolución espacial mostrada por dicho sensor en las latitudes de análisis.

Los resultados pueden verse en la figura 2, en la que puede comprobarse cómo algunos incendios han sido reproducidos con más claridad debido al agrupamiento producido por la disminución de resolución espacial.

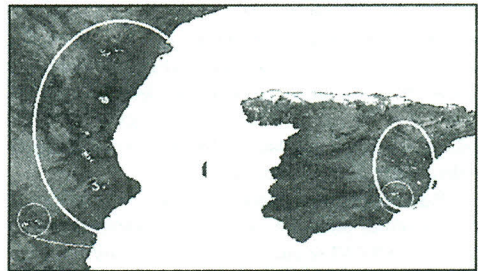


Figura 2. Detección de incendios sobre imágenes NOAA-AVHRR y SEVIRI simuladas.

Los incendios que se muestran en estas figuras corresponden a *grandes incendios*. Sin embargo, se ha analizado también la posibilidad de detección de *pequeños fuegos*, denominados *conatos*, de menos de una hectárea. Para ello se han determinado los límites de detección de las imágenes NOAA y se ha establecido una simple proporcionalidad entre los tamaños de sus píxeles.

Se ha aplicado el anterior algoritmo a los incendios ocurridos en julio de 1994 en España, y una vez localizados los conatos, se ha aplicado el método de Dozier (1981). Este método se basa en que cuando se produce un incendio, la emisión en el IR medio aumenta proporcionalmente mucho más que en el IR térmico. Entonces se puede considerar que:

$$L_3(T_3) = p \cdot L_3(T_F) + (1-p) \cdot L_3(T_V)$$

$$L_4(T_4) = p \cdot L_4(T_F) + (1-p) \cdot L_4(T_V)$$

donde 3 y 4 corresponde a los canales MIR y TIR, F indica fuego, V, vegetación, y p es la fracción del píxel que arde. Aplicando este algoritmo a diferentes incendios, se ha podido comprobar que se detectan incendios de un tamaño mínimo del orden de unos 600 m<sup>2</sup>. Si se cumple la proporcionalidad que establece el procedimiento de Dozier, como un píxel SEVIRI es aproxima-

damente 15 veces mayor que un píxel NOAA, se podrán detectar incendios del orden de los 9000 m<sup>2</sup>, es decir, inferiores a una ha. No obstante, mediante análisis multi-temporales que por el momento no pueden aplicarse, y a través de un refinamiento del método de Dozier, se espera que el límite inferior de detección podrá ser muy inferior.

### ESTIMACION DEL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

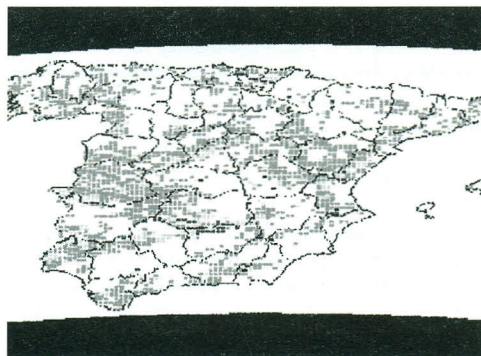
Desde 1995 el LATUV, Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid, viene estimando diariamente el riesgo de incendios forestales para las regiones mediterráneas europeas durante el verano. Para ello se han desarrollado varios indicadores que se fusionan finalmente en un único índice que va desde el valor "0, riesgo nulo", hasta el valor "4, riesgo extremo". Los indicadores utilizados dan cuenta de la evolución de la vegetación y de la humedad del suelo.

Para determinar el primero se calcula el NDVI de los dos meses anteriores al día que corresponda. Los valores del NDVI se ajustan mediante un *spline cúbico* y mediante extrapolación se predice el valor del NDVI esperado para ese día. Si el NDVI medido es superior al NDVI predicho, se considera que la situación es de *no riesgo*. Por el contrario, si el NDVI real es inferior al previsto, esto significa que la vegetación se ha secado más de lo esperado y hay *riesgo de incendios*. El riesgo se establece en función de la separación entre los dos valores del NDVI mediante un procedimiento de umbrales.

El indicador de humedad del suelo se calcula a partir de la relación lineal entre la temperatura de superficie y el NDVI de una cierta área, típicamente de, al menos, 100 píxeles. El indicador es la pendiente de esta recta: cuanto mayor es la humedad, mayor es el NDVI y menor la temperatura. La pendiente en este caso es poco negativa. Por el contrario, si la situación es de riesgo, con humedad baja, el NDVI disminuye y la temperatura aumenta, y la pendiente se hace más negativa.

Combinando adecuadamente estos dos indicadores, y calibrando los resultados en función de los incendios producidos en años anteriores, se podrá establecer un método objetivo para la determinación del riesgo a partir de las imágenes SEVIRI.

En la figura 3 adjunta se muestra el resultado utilizando los mismos umbrales y las mismas reglas de composición de los dos riesgos que se utilizan para las imágenes NOAA. Aunque los resultados no son válidos, dada la diferencia de tamaños del píxel, este resultado demuestra que las imágenes SEVIRI son susceptibles de suministrar un índice de riesgo de incendios forestales. Cuando se disponga de ellas se analizará la posible evolución a lo largo del día de este índice.



**Figura 3.** Mapas de riesgo de incendios aportados por las imágenes SEVIRI simuladas.  
(Ver figura en color en la página 673)

### BIBLIOGRAFÍA

- BRUNEL, P. and MARSOUIN, A. (1986). *Geographical navigation of NOAA AVHRR series imagery*. Centre de meteorologie spatiale. B.P. 147-Lannion Cedex.
- DOZIER J., 1981, A methode for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11, 221-229.
- FERNÁNDEZ, A., ILLERA, P., DELGADO, J. A. and CALLE, A. (1995). *A System For Operational Fire Monitoring Using AVHRR Images*. The 1995 Meteorological satellite data users' conference. Ed. EUMETSAT, Federal Republic of Germany. Pp, 123-130.
- WALTHALL, C. L., NORMAN, J. M., WELLES, J. M., CAMPBELL, G. and BLAD, B. (1985) *Simple equation to approximate the bidirectional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces*. *Applied Optics*, Vol. 24, N 3, pp. 383-387. 1985