

## PROPUESTA DE UN NUEVO ÍNDICE PARA CARTOGRAFÍA DE ÁREAS QUEMADAS: APLICACIÓN A IMÁGENES AVHRR Y TM

E. CHUVIECO (\*) y M. P. MARTÍN (\*\*)

emilio.chuvieco@uah.es y mpilar.martin@ieg.csic.es

(\*) Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá

C/ Colegios, 2. 28801 Alcalá de Henares

(\*\*) Instituto de Economía y Geografía, C.S.I.C.

C/ Pinar 25, 28006 Madrid

**RESUMEN:** Se presenta una alternativa para abordar cartografía de áreas quemadas a partir de imágenes de satélite. Se trata del índice de área quemada (IAQ) que se diseña específicamente con este propósito, y se basa en la cuantificación de la distancia espectral de los valores de la imagen en las bandas del infrarrojo cercano y rojo al punto de convergencia que se define como la respuesta espectral típica de las áreas recientemente quemadas en esas bandas. Su idoneidad se verifica a partir de radiometría de laboratorio e imágenes de satélite de alta y baja resolución espacial.

**ABSTRACT:** A new spectral index adapted to burned land mapping is presented in this paper. The index is named Burned Area Index (BAI), and takes into account spectral distance from pixel values in the NIR and Red band to the convergence point defined as the typical spectral signal of recently burned areas in those bands. Laboratory measurements, as well as high and low resolution satellite images are used in testing the usefulness of this index.

**Palabras clave:** Areas quemadas, simulación de la señal, índices espectrales.

### INTRODUCCIÓN

La cartografía de áreas quemadas a partir de la teledetección se ha desarrollado notablemente en los últimos años, gracias al creciente interés por obtener una evaluación global de las áreas afectadas por incendios (Chuvieco y Martín, 1994). Con este enfoque global, el sensor más utilizado ha sido el NOAA-AVHRR, gracias a su buena resolución espectral y adecuada frecuencia temporal. Para abordar este tipo de estudios, se han planteado hasta el momento dos tipos de metodologías. Por un lado, la cartografía de incendios activos a partir de los canales térmicos del AVHRR (principalmente del canal 3: Martín *et al.*, 1999; Robinson, 1991), y por otro la delimitación de áreas recientemente quemadas, a partir de una comparación multitemporal de índices de vegetación (Kasischke *et al.*, 1993; Martín y Chuvieco, 1995). Algunos autores sugieren combinar ambos criterios, reteniendo los píxeles detectados como incendios activos para mejorar la discriminación de áreas identificadas como potencialmente quemadas en la comparación multitemporal (Fraser *et al.*, 2000). Aunque este segun-

do enfoque parece mejorar los resultados de los dos primeros, restan todavía notables incertidumbres, sobre todo como consecuencia de tipos de cobertura con rasgos espectrales similares a las áreas quemadas, además de la propia inestabilidad radiométrica del AVHRR.

Los trabajos con sensores de mayor resolución espacial, como el Landsat-TM o el Spot-HRV parecen proporcionar mejores resultados (Jakubauskas *et al.*, 1990; Koutsias *et al.*, 1999), si bien al coste de cubrir zonas menos extensas y requerir una inversión más elevada.

En cualquier caso, la mayor parte de las técnicas aplicadas hasta el momento se basan en el empleo de índices espectrales que se emplean para diversos fines (básicamente el estudio de las características de las cubiertas vegetales), y no están diseñados específicamente para enfatizar la señal espectral del área quemada. Nuestro propósito es plantear una alternativa en este sentido, proponiendo un índice espectral específicamente desarrollado para esta finalidad, y que sea aplicable a una amplia variedad de sensores.

## CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE LAS ÁREAS QUEMADAS

A través de diversos trabajos de revisión bibliográfica actualmente contamos con una buena caracterización espectral de las áreas afectadas por incendios (Pereira *et al.*, 1999; 1997). En primer lugar, conviene tener presente la existencia de dos tipos de señal en un área quemada: una señal característica del área recientemente quemada, donde dominan los remanentes de la combustión (cenizas y carbón) y otra que sirve para definirla a medio-largo plazo y se caracterizaría por una reducción o transformación de la cubierta vegetal original (reducción si se produce regeneración tras el fuego, transformación, si el fuego implica una colonización de nuevas especies, tal vez de aquellas que están mejor adaptadas al fuego. A corto plazo, por tanto, esperamos encontrar una señal espectral muy distinta de la original: típicamente pasaríamos de una curva característica de la vegetación sana a otra dominada por la alta absorción del carbón (figura 1). En consecuencia, las áreas quemadas tenderán a presentar muy bajas reflectividades en las bandas visible, infrarrojo próximo y medio, similares a las que podemos encontrar en láminas de agua o zonas en sombra (topográfica o de nubes). A medio-largo plazo, el efecto del fuego normalmente se marcará por una reducción del vigor vegetal, si bien en caso de climas más productivos, la señal puede equipararse con la vegetación no afectada por el fuego en relativamente pocos tiempo.

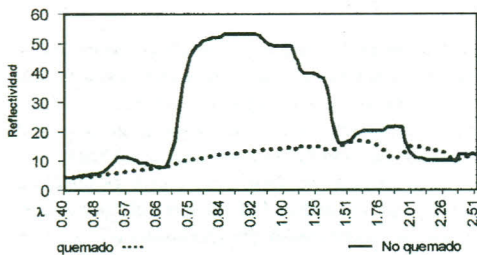


Figura 1. Curvas típicas de área quemada y no quemada obtenidas con radiometría de campo.

## METODOLOGÍA

Para plantear un índice característico para áreas quemadas hemos seguido una filosofía de trabajo similar a la planteada por Pinty y Verstraete para diseñar el GEMI (Pinty y Verstraete, 1992), en el sentido de diseñar una fórmula que permita enfatizar la separación de la señal que se pretende realzar (en este caso área quemada) frente a otras cubiertas. La experiencia de varios

análisis con radiómetros de laboratorio y de la interpretación de imágenes de alta y baja resolución espacial, nos llevó a plantear un índice que se basara en las bandas del rojo e infrarrojo cercano, las más universalmente disponibles en los satélites de observación de la Tierra. Algunos autores sugieren que el espacio formado por el infrarrojo cercano y el medio de onda corta resulta más oportuno para discriminar áreas quemadas, pero preferimos no considerarlo en este caso ya que aún son muchos los sensores que no cuentan con bandas de observación en esta región del espectro (por ejemplo, IRS-WiFs, Landsat-MSS, NOAA-AVHRR, o Resurs), pero presentan, en cambio, amplias posibilidades por su resolución temporal o cobertura espacial para la cartografía de áreas quemadas.

El índice se definió como la distancia espectral entre el valor de cada píxel de una determinada imagen en las bandas de referencia y lo que denominamos valor o punto de convergencia, definido por las reflectividades características de la vegetación quemada en esas bandas. Así las cosas, definimos el índice de área quemada (en adelante IAQ) de la forma siguiente:

$$IAQ = \frac{1}{(pc_r - \rho_r)^2 + (pc_{ir} - \rho_{ir})^2}$$

donde  $pc_r$  y  $pc_{ir}$  son los valores de convergencia de las bandas rojo e infrarrojo cercano, respectivamente, y  $\rho_r$  y  $\rho_{ir}$  las reflectividades de esas mismas bandas. Los valores de convergencia se definieron, respectivamente como 0,1 y 0,06 tras un exhaustivo análisis del comportamiento espectral de áreas recientemente quemadas realizado sobre una serie temporal de imágenes NOAA-AVHRR.

## APLICACIÓN DEL ÍNDICE IAQ

Hemos evaluado la aplicación del IAQ a cartografía de áreas quemadas en diversos contextos. En primer lugar, se empleó con imágenes NOAA-AVHRR, para cartografiar áreas quemadas en grandes incendios para el conjunto de la Península Ibérica. Este índice demostró una mayor sensibilidad que otros índices más convencionales, como el NDVI, SAVI o GEMI, todos ellos basados en las mismas bandas (Martín y Chuvieco, 1998).

La segunda aplicación de este índice fue en un estudio de simulación sobre las potencialidades del sistema Fuego para la cartografía de áreas quemadas (Chuvieco y Martín, 1999). En este caso, evaluamos el poder discriminante de este índice respecto a los anteriormente indicados, señalando como criterio el número de cruces entre áreas quemadas y otro tipo de cubiertas del suelo que presentarían diferencias espectrales signifi-

ficativas. Asumiendo como clases puras las reflectividades del suelo, de la vegetación y de las áreas quemadas medidas con espectroradiómetro sobre el terreno, estimamos cuál sería la señal esperable para distintas proporciones de suelo y vegetación, con distintos grados de área quemada (figura 2). Para el caso simple de asumir 36 escenarios de separación posible (12 para un píxel cubierto completamente de vegetación antes del incendio, 12 para un píxel con 75% de vegetación y el resto de suelo, y otros 12 para 50 % de vegetación y suelo), el IAQ ofreció valores de la *t* de student significativos en todos los casos (36), frente al SAVI que ofreció 33, NDVI 31 y GEMI 29.

**Figura 2.** Valores del IAQ para distintos niveles de área quemada y de cubierta vegetal.

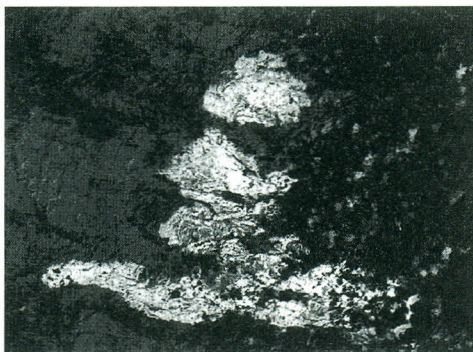
Finalmente, hemos evaluado la capacidad del IAQ para cartografiar incendios a partir de imágenes Landsat-TM. En este caso, hemos trabajado en dos escenarios. Por un lado, en la isla de Elba, dentro del proyecto Italscar, y por otro en un incendio ocurrido en el interior de Valencia en 1991. En el primer caso, se procedió a extraer una muestra de 1000 píxeles con distintas categorías de cobertura del suelo sobre imágenes anteriores a un incendio y posteriores (dos meses y un año). Para estas tres imágenes, se calcularon valores de distancia normalizada entre las áreas quemadas y las otras categorías de cobertura del suelo (se utilizó como referencia de coberturas el mapa Corine Land Cover de Italia). En este caso, se evaluó el IAQ frente a otros índices generables a partir de imágenes TM, como el NDVI, GEMI y el NDII (índice normalizado donde se integran el infrarrojo cercano y el medio de onda corta), además de las reflectividades de todas las bandas originales. La suma de las distancias normalizadas (calculadas como la relación entre la diferencia de medias y la suma de las desviaciones típicas) entre el área quemada y todas las demás categorías ofreció un valor más alto para el IAQ

que para las demás bandas para la imagen posterior al fuego (tabla 1), ocupando el segundo lugar (tras el NDII) cuando la comparación se hacía con la imagen adquirida un año después del incendio.

<i>Índice</i>	<i>Suma de distancias normalizadas</i>
IAQ	22.57
GEMI	22.37
NDVI	19.51
NDII	18.60

**Tabla 1.** Distancias normalizadas entre píxeles del área quemada y de otras categorías de cobertura del suelo para la Isla de Elba

Finalmente, ensayamos la aplicación del IAQ a las imágenes adquiridas antes y después de un gran incendio ocurrido en el interior de Valencia en 1991. El índice también se mostró bastante sensible a la delimitación del área afectada por el fuego (figura 3), si bien la presencia de sombras de nubes dificultó la aplicación inmediata de umbrales sobre la imagen posterior al fuego. En este sentido, se observó que la imagen del NDII se mostraba menos sensible a la confusión con sombras de nubes.



**Figura 3.** IAQ calculado sobre una imagen adquirida tras el incendio de Buñol (Valencia) ocurrido en 1991. Se observan valores altos del índice también en algunos sectores afectados por sombras de nubes.

## CONCLUSIONES

Hemos planteado un nuevo índice espectral ajustado a la discriminación de áreas quemadas. Se ha visto la conveniencia teórica de plantear un índice de estas características y el buen rendimiento que plantea tanto para imágenes de baja como de alta resolución espacial, requiriendo una resolución espectral mínima.

## BIBLIOGRAFÍA

- CHUVIECO, E. y M. P. MARTÍN (1994). Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: 563-570.
- CHUVIECO, E. y M. P. MARTÍN (1999). *Performance Assessment in the Fire Post-fire Phase. Final Report*. Alcalá de Henares, Department of Geography.
- FRASER, R. H., Z. LI y J. CIHLAR (2000). Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): a new technique for burned area mapping over Boreal forest. *Remote Sensing of Environment* 74: 362-376.
- JAKUBAUSKAS, M. E., K. P. LULLA y P. W. MAUSEL (1990). Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56: 371-377.
- KASISCHKE, E. S., N. H. FRENCH, P. HARRELL, N. L. CHRISTENSEN, S. L. USTIN y D. BARRY (1993). Monitoring of wildfires in Boreal Forests using large area AVHRR NDVI composite image data. *Remote Sensing of Environment* 45: 61-71.
- KOUTSIAS, N., M. KARTERIS, A. FERNÁNDEZ, C. NAVARRO, J. JURADO, R. NAVARRO y A. LOBO (1999). Burnt land mapping at local scale. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. (E. Chuvieco, Ed.) Berlin, Springer-Verlag: 123-138.
- MARTÍN, M. P., P. CECCATO, S. FLASSE y I. DOWNEY (1999). Fire detection and fire growth monitoring using satellite data. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. (E. Chuvieco, Ed.) Berlin, Springer-Verlag: 101-122.
- MARTÍN, M. P. y E. CHUVIECO (1995). Cartografía y evaluación superficial de grandes incendios forestales a partir de imágenes de satélite. *Ecología* 9: 9-21.
- MARTÍN, M. P. y E. CHUVIECO (1998). Cartografía de grandes incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Serie Geográfica* 7: 109-128.
- PEREIRA, J. M., A. C. L. SA, A. M. O. SOUSA, J. M. N. SILVA, T. N. SANTOS y J. M. B. CARREIRAS (1999). Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. (E. Chuvieco, Ed.) Berlin, Springer-Verlag: 123-138.
- PEREIRA, J. M. C., E. CHUVIECO, A. BEUDOIN y N. DESBOIS (1997). Remote Sensing of burned areas: a review. *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*. (E. Chuvieco, Ed.) Alcalá de Henares, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá: 127-184.
- PINTY, B. y M. M. VERSTRAETE (1992). GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio* 101: 15-20.
- ROBINSON, J. M. (1991). Fire from space: global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 12: 3-24.