

## UN MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS OCURRIDOS EN CATALUÑA DURANTE EL PERIODO 1975-1993 MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Raimon Salvador<sup>1</sup>, Xavier Pons<sup>1,2</sup>, Jordi Valeriano<sup>1</sup>, Joan Romeu<sup>3</sup> y Vicenç Palà<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. CREAM.  
Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

<sup>2</sup> Departament de Geografia.  
Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

<sup>3</sup> Institut Cartogràfic de Catalunya.  
c/ Lleida. Parc de Montjuïc, s/n. 08038. Barcelona.

**RESUMEN:** Mediante el uso de un centenar de imágenes del sensor MSS, se han cartografiado los incendios ocurridos en Cataluña durante el periodo 1975-1993. Bajadas bruscas en el NDVI han caracterizado la presencia de dichos incendios en las imágenes. Sin embargo la presencia de otras superficies de comportamiento similar ha hecho necesaria la aplicación de máscaras para aislar las zonas forestales. Finalmente, se han aplicado 2 métodos diferentes para la obtención de las áreas quemadas. El análisis de la validez de la cartografía generada es expuesta en la comunicación de Díaz-Delgado *et. al.*

### INTRODUCCIÓN

El fuego tiene un papel muy importante en la dinámica de la estructura de las formaciones vegetales mediterráneas. Así, la intensidad y recurrencia con que ocurren los incendios forestales marca de forma clara la composición y estado de la vegetación. A su vez, y de forma retroactiva, dicho estado también tiene un efecto importante sobre el futuro régimen de fuegos (Minnich, 1983). Desde hace ya algunos años se está utilizando la teledetección como herramienta para realizar cartografía de incendios y para estudiar la posterior evolución de las masas vegetales quemadas (Charviat y Congalton, 1988; Pereira y Setzler, 1993).

### OBJETIVO

El trabajo aquí expuesto está incluido dentro de un proyecto de estudio de la dinámica de la vegetación en las áreas forestales quemadas de Cataluña (CICYT AMB94-0881, LUCIFER). En concreto, aquí presentamos la parte inicial del proyecto, dedicada a la obtención de las áreas quemadas durante el periodo 1975-1993.

### LAS IMÁGENES DE SATÉLITE

Para la realización de este trabajo se requirió de la compra de más de 100 imágenes del sensor MSS, embarcado en los satélites de la serie Landsat. La elección de este sensor vino dada por el hecho de tratarse del que ofrecía la serie temporal más antigua, de entre los que reunían las características requeridas. Las imágenes fueron corregidas geoméricamente mediante el modelo de corrección de Palà y Pons (1995), que tiene en cuenta el relieve y ofrece un óptimo registro de las imágenes. El proceso conllevó algunas dificultades importantes en su automatización debido a la falta de líneas en algunas imágenes MSS. Posteriormente, también se realizó la corrección atmosférica, y la corrección de los efectos de iluminación diferencial debidos al relieve. Para este proceso se aplicó el modelo de corrección radiométrica desarrollado por Pons y Solé-Sugrañes (1994). Los valores radiométricos finalmente fueron dados en reflectancias. Esta corrección requirió un detenido análisis del tratamiento dado a las imágenes MSS procesadas en Europa, ya que el protocolo no fue documentado públicamente.

### OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Con la intención de extraer la información referente a las áreas forestales de las imágenes, se calcularon los valores del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) para todos los píxeles de cada una de las imágenes:

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

donde IR es la reflectancia del píxel en el infrarrojo cercano (banda 4 del sensor), y R es la reflectancia del píxel en el rojo (banda 2 del sensor). Véase Mather (1987) para profundizar en el sentido funcional del NDVI. En cuanto a las zonas donde se había producido un incendio forestal, se constató

una súbita disminución de los valores del NDVI, debida a la drástica reducción del dosel vegetal que conformaba la comunidad antes del fuego. Teniendo en cuenta este fenómeno, se utilizó esta disminución súbita de los valores del NDVI como criterio principal de identificación de las áreas quemadas.

Sin embargo, y como se esperaba, se encontraron otras superficies con una respuesta similar a la de las áreas quemadas (Salvador *et al.*, 1996). De entre estas cabe destacar, por su parecido en la disminución del NDVI en momentos concretos, a los cultivos, a las obras públicas de gran tamaño, a masas de caducifolios y a las nubes. En cuanto a la posible confusión con los cultivos y obras públicas, se aplicó sobre las imágenes una máscara que cubría todas las superficies no forestales. Para evitar la confusión con los caducifolios, se obtuvo otra máscara mediante la comparación estacional entre una imagen invernal y una imagen estival. Finalmente, para las nubes, que aparecían con valores bajos de NDVI, se recurrió a la banda original del rojo (donde las nubes presentaban valores altos de reflectancia) para su discriminación.

#### DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE DISMINUCIÓN PARA LAS ÁREAS QUEMADAS

Debido a la dificultad de obtener unos umbrales de disminución de NDVI atribuibles a incendios, se tuvo que recurrir a valores extraídos de las propias imágenes. Dicho proceso se realizó mediante el análisis de los valores del descenso de NDVI de 22 áreas de las cuales se sabía, con seguridad, que habían sufrido un incendio. Para cada uno de los 22 incendios, se dió un intervalo en el que se podía incluir un valor umbral de discriminación satisfactorio (ver líneas verticales de figura 1).

A la hora de escoger un umbral a partir de las áreas conocidas, se observó que el uso de un solo valor para todos los casos no parecía ser la opción más idónea. Había diferentes factores que, de forma significativa, afectaban la elección del umbral a utilizar. Así, la estacionalidad de las imágenes podía claramente influir sobre el umbral a escoger. Por ejemplo, el paso de una imagen de primavera a una imagen de verano, de por sí, ya conllevaba una disminución global del NDVI, que tenía que ser contemplada en el propio umbral. Por otro lado, según la formación vegetal dominante en el área quemada, podía observarse una disminución más o menos importante del NDVI (encontrándose un gradiente de densidad desde los incendios en bosques densos hasta los incendios en matorral poco denso).

Para minimizar estos factores modificadores del umbral de selección se pasó a trabajar a un nivel de subventana (se dividió el territorio estudiado en 31 subventanas de trabajo), y se dieron los intervalos en función de la diferencia de la media de NDVI de la subventana, entre las dos fechas que acotaban temporalmente el incendio (figura 1).

A continuación, se desarrollaron 2 metodologías diferentes para aprovechar la información aportada por los 22 incendios conocidos. Por un lado se ajustó, de forma iterativa, un modelo lineal a partir de los rangos de los intervalos descritos (ver umbral iterado de figura 2), dándose el valor del umbral a utilizar en función de la diferencia de las medias. Por otro lado, se desarrolló también un método más complejo, basado en un doble umbral extraído de los modelos lineales creados a partir de los puntos máximos y mínimos de los intervalos (umbrales inferior y superior de la figura 2).

#### CONTRASTE DE LOS RESULTADOS

Los incendios del periodo 1975 - 1993 detectados mediante ambos métodos han sido contrastados con la información de campo proporcionada por el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya. Véase la ponencia de Díaz-Delgado *et al.* presentada en esta misma reunión, para el desarrollo del método de verificación de los resultados de este trabajo.

#### SIGNIFICACIÓN Y CONTINUIDAD DEL TRABAJO

Uno de los resultados más destacables de este trabajo, además de los puramente metodológicos, es la formación de cartografía anual de incendios y la creación de un mapa de síntesis que muestra la recurrencia de fuegos en cada área del país. Ello resulta de gran importancia en la comprensión del régimen de fuegos que nos afecta, constituyendo una aplicación operacional de la teledetección de elevado interés. En un futuro próximo, mediante la cartografía de las áreas quemadas obtenida por este trabajo, se pretenden llevar a cabo estudios sobre la dinámica de la recuperación de las citadas áreas. Concretamente, se pretende estudiar el efecto sobre dicha recuperación de varios factores, como son: la estructura de la comunidad forestal antes del incendio, la recurrencia de los incendios en la zona estudiada, el efecto de la litología y el efecto de la meteorología en los meses anteriores y en los años posteriores al incendio.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Díaz-Delgado, R. Salvador, R., Valeriano, J. y Pons, X. "Resultados y valoración estadística de un método

automático de detección de superficies forestales quemadas en Cataluña (periodo 1975-1993)".

[2] Mather, P.M. 1987. "Computer Processing of Remotely-Sensed Images". John Wiley and Sons. New York. 351 pp.

[3] Charvico E. y Congalton R.G. 1988. "Mapping and Inventory of Forest Fires from Digital Processing of TM Data". *Geocarto International*, 4. 41-53.

[4] Minnich, A.M. 1983. "Fire Mosaics in Southern California and Northern Baja California". *Science*, 219. 1287-1294.

[5] Palà, V. y Pons, X. 1995. "Incorporation of Relief into Geometric Correction Based on Polynomials". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 7. 935-944.

[6] Pereira, M.C. y Setzler, A.W. 1993. "Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia". *Int. J. Remote Sensing*. 14. 2061-2078.

[7] Pons X. y Solé-Sagrafies, L. 1994. "A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data". *Remote Sens. Environ.* 48. 191-204.

[8] Salvador, R. y Pons, X. *EARSel Advances in Remote Sensing*, vol 4, p. 159-169, 1996.

Figura 1: Gráfico de los intervalos de umbrales aplicables a cada uno de los 22 incendios utilizados para alimentar el modelo. Dichos intervalos se dan en relación a la diferencia de NDVI medio de las dos subimágenes entre las que se encontraba localizado el incendio.

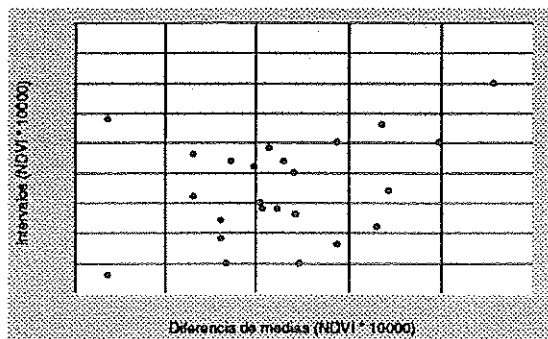


Figura 2: Rectas extraídas a partir de los intervalos de umbrales. Dichas rectas fueron utilizadas por los dos métodos descritos en el texto para discriminar las zonas quemadas de las zonas con fenología variable.