

ESTIMACIÓN DEL ÁREA QUEMADA POR INCENDIOS FORESTALES EMPLEANDO EL MODELO DE MEZCLAS ESPECTRALES DESDE UNA PERSPECTIVA MULTITEMPORAL

C. Quintano (*), J. Delgado (**), O. Fernández (***), J. Ramírez (***) y A. Fernández-Manso (***)

menchu@tele.uva.es

(*) *Universidad de Valladolid. LATUV. Dpto. de Tecnología Electrónica.
C/Francisco Mendizabal s/n 47014 Valladolid*

(**) *Universidad de Valladolid. LATUV. Dpto. de Física Aplicada I.
Av. Madrid s/n Palencia*

(***) *Universidad de León. Dpto. de Ingeniería Agraria.
Av. Astorga s/n Ponferrada (León)*

RESUMEN

Este trabajo es una primera aproximación metodológica para determinar la validez del Modelo de Mezclas Espectrales (SMA, Spectral Mixture Analysis) en la estimación del área quemada por grandes incendios forestales desde una perspectiva multitemporal. La comparación entre el estado anterior y posterior al incendio se realizará mediante simple sustracción de las imágenes consideradas. La zona de trabajo elegida ha sido la Comunidad Valenciana, dada la frecuencia y dimensión de los incendios forestales en esta región. A la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la metodología presentada, basada en el análisis multitemporal empleando el Modelo de Mezclas Espectrales Lineal, es válida para estimar de forma general el área quemada por grandes incendios.

ABSTRACT

This work is the first methodological approach to determine the validity of the Spectral Mixture Analysis (SMA) to estimate the burned area by large forest fires, using a multitemporal point of view. The comparison among the previous and later to the fire images will be carried out by means of simple subtraction of the considered images. Because of its the high frequency and dimension of the forest fires, the region in the Southeast of Spain called Comunidad Valenciana has been chosen as work area. Regarding the obtained results, it is possible to affirm that the presented methodology, based on the multitemporal analysis using the Spectral Mixture Analysis, is valid to estimate in a general way the burned area by large forest fires.

Palabras clave: teledetección, SMA, incendios forestales, detección de cambios

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En España, la cartografía de un incendio forestal se realiza habitualmente delimitando el contorno exterior mediante GPS. Sin embargo, el empleo de técnicas de teledetección también permite realizar esa tarea, e incluso hacerlo de forma más rentable económicamente hablando (Casanova, 2000). El Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV) ha llevado a cabo diversos estudios basados en imágenes de satélite para definir índices de peligro de incendio, detectar focos activos y evaluar los daños ocasionados por el fuego. Este trabajo se enmarca dentro de dicha línea de trabajo.

Existen diferentes procedimientos para estimar el área afectada a partir de imágenes de satélite, siendo los más habituales los basados en la comparación de una imagen tomada en una fecha anterior al incendio, con otra registrada en otra

fecha posterior al mismo. El método más sencillo para efectuar dicha comparación consiste simplemente en restar las dos imágenes consideradas, que normalmente son imágenes NDVI (Viedma y Chuvieco, 1994). De esta forma, en la imagen diferencia se localiza el descenso brusco y fuerte del NDVI (relacionado con la desaparición de la vegetación existente) que identificará el área afectada por el fuego. Aunque este método es el más extensamente utilizado, presenta algunos inconvenientes como el establecimiento del umbral de cambio de forma automática, la influencia de los píxeles mezcla en el resultado, la confusión de las zonas incendiadas con zonas sombrías, etc. Para solventar estos problemas algunos autores, como Pereira (1999), defienden el empleo de otros índices de vegetación como variable para la detección de cambios. Siguiendo las ideas de estos investigadores, el

objetivo concreto del presente trabajo es determinar la validez del empleo desde una perspectiva multitemporal de las imágenes fracción vegetación obtenidas al aplicar SMA a las imágenes de satélite para cartografiar zonas quemadas. Ya que se utilizarán imágenes AVHRR y TM será posible también observar como afecta la resolución espacial a los resultados obtenidos.

MATERIAL Y METODOS

Zona de estudio

La zona de trabajo considerada se localiza en la Comunidad Valenciana (Figura 1), concretamente se estudiarán dos zonas afectadas por el fuego: Millares en Valencia y Alto Mijares en Castellón.

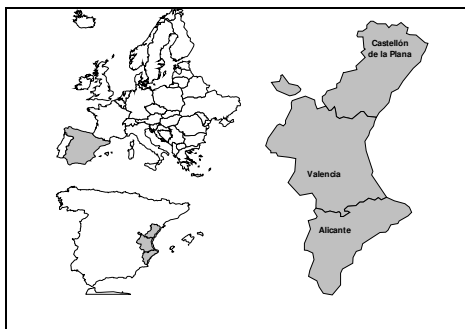


Figura 1. Situación de la Comunidad Valenciana

Los incendios estuvieron activos entre los días 4 y 12 de julio de 1994, y 3 y 10 de julio de 1994, respectivamente y la superficie afectada por el fuego fue 25 930 ha y 19 310 ha, según los datos proporcionados por el antiguo Instituto para la Conservación de la Naturaleza, ICONA, hoy Ministerio de Medio Ambiente, MMA, (ICONA, 1994).

Imágenes empleadas

Se han empleado dos imágenes AVHRR de fecha 29 de junio de 1994 (anterior a los incendios considerados) y 13 de julio de 1994 (posterior a los mismos). Y dos imágenes TM con fechas 29 de junio y el 16 de agosto de 1994.

También han sido utilizadas dos imágenes vectoriales con el perímetro de cada incendio considerado, según los datos proporcionados por el MMA.

Métodos de análisis

En cuanto a la metodología empleada, las imágenes originales han atravesado las siguientes etapas.

1.-Preprocesamiento.

Las correcciones necesarias se han llevado a cabo mediante software desarrollado por el grupo de trabajo del LATUV. (Illera *et alii*, 1995, Delgado, 1991) En esta etapa inicial se calculó también la imagen NDVI para cada una de las fechas consideradas.

2.-Modelo de Mezclas Espectrales Lineal.

El Modelo de Mezclas Espectrales Lineal supone que la energía recibida puede considerarse como la suma de las energías recibidas desde cada componente. Cada campo en la escena contribuirá con una cantidad de señal recibida en el sensor que es característica del tipo de cubierta del campo y proporcional al área ocupada dentro del píxel. Además, la suma de estas proporciones de cubiertas básicas debe ser la unidad para cada píxel. De esta forma el modelo lineal se define para cada píxel de la imagen como: $x = Mf + e$. Donde 'x', es un vector columna (nx1) cuyas componentes representan la reflectividad del píxel considerado en las 'n' bandas utilizadas en la transformación, 'f', es un vector (mx1) cuyas componentes indican la proporción de superficie ocupada por cada uno de los 'm' componentes o cubiertas básicas que forman parte de la imagen, 'M' es una matriz (nxm) que almacena la reflectividad en cada banda de cada componente básico, y 'e', es un vector (nx1) que representa el error de la predicción.

Al resolver el sistema de ecuaciones antes planteado, se obtiene una imagen por cada componente básico definido que representa una estimación de la proporción de píxel ocupado por ese componente. Además, se obtiene una imagen del error cometido en la transformación. En este trabajo, se considerarán tres componentes básicos: suelo, vegetación y sombra. (Shimabukuro y Smith, 1991).

Pero antes de aplicar propiamente el modelo habrá que identificar la firma espectral de los componentes puros considerados. Kerdiles, (1995) afirma que no es aconsejable utilizar librerías para cubiertas vegetales ya que las propiedades espectrales de éstas varían con factores tales como la climatología, la atmósfera, y el paso del tiempo; no considerados en las librerías de espectros. Por su parte, Gong (1994) indica que el error cuadrático medio de la solución empleando firmas obtenidas a partir de librerías presentaba cierta polaridad en su distribución, que no era observada al utilizar firmas extraídas de la propia imagen. Considerando estas ideas, en este trabajo los espectros de los tres componentes básicos utilizados se obtendrán de la propia imagen.

Respecto a la forma de resolver el sistema de ecuaciones, se utilizará el método propuesto por Shimabukuro y Smith (1991) para imágenes TM, basado en la consideración de todas las posibles salidas del estimador clásico, y que permite incluir de forma sencilla las dos restricciones habitualmente utilizadas (suma unidad y fracciones positivas). Este algoritmo ha sido tomado como referencia a la hora de establecer comparaciones y es uno de los más ampliamente. Al trabajar con imágenes TM emplearemos las bandas 3, 4, 5, y 7 por ser las que mayor información aportan. En el caso de utilizar imágenes AVHRR, utilizaremos sólo las bandas 1 y 2, las reflectivas.

3.-Reclasificación de la imagen diferencia de las imágenes fracción vegetación anteriores y posteriores al fuego.

Una simple resta entre las imágenes de dos fechas permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios bruscos. Las zonas estables presentarán un valor cercano a cero, mientras que las que hayan experimentado cambios ofrecerán valores significativamente distintos a cero (positivos o negativos) (Chuvieco, 1996). La dificultad consiste en fijar adecuadamente los umbrales de detección de cambios para identificar y evaluar la superficie quemada.

Los umbrales fijos dependen tanto de la zona de estudio como de la época de adquisición de las imágenes y los resultados no son extrapolables a otras situaciones. Para solventar estos problemas, Fernández (1996) desarrolló un procedimiento para la determinación automática de los umbrales en el decremento del NDVI, trabajando con imágenes AVHRR, que posteriormente fue validado por Quintano et al. (2000) para imágenes TM y que será el utilizado en este caso. De esta forma, un píxel se considerará quemado si: $NDVI_a - NDVI_p > \mu_{a-p} + 2\sigma_{a-p}$. Donde ' μ_{a-p} ' representa el valor medio y ' σ_{a-p} ', la desviación típica, de la imagen diferencia de las imágenes NDVI anterior y posterior al incendio, en una ventana de 100x100 km centrada en el incendio.

4.-Verificación de resultados

Son varias las técnicas existentes para validar los resultados obtenidos a través de datos de satélite (Congalton y Green, 1999). Sin embargo, Smits et al. (1999), entre otros, han puesto de manifiesto la conveniencia del empleo de la matriz de confusión y el índice Kappa. Por este motivo, éstos serán los métodos utilizados para relacionar las estimaciones obtenidas con las imágenes verdad-terreno.

Asimismo, se han calculado los índices kappa de las estimaciones realizadas a partir de imágenes NDVI. De esta forma, se podrán comparar los resultados obtenidos con la nueva metodología presentada con los obtenidos mediante una técnica reconocida internacionalmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Son muchos los autores que utilizan técnicas multitemporales sobre imágenes NDVI para identificar las zonas quemadas por el fuego, (Viedma y Chuvieco, 1994; Salvador et al., 2000). En este sentido, el trabajo realizado está de acuerdo con ellos, ya que muestra la validez de la aplicación de dichas técnicas a imágenes NDVI para efectuar la cartografía, obteniéndose valores para el índice kappa cercanos a 0.85.

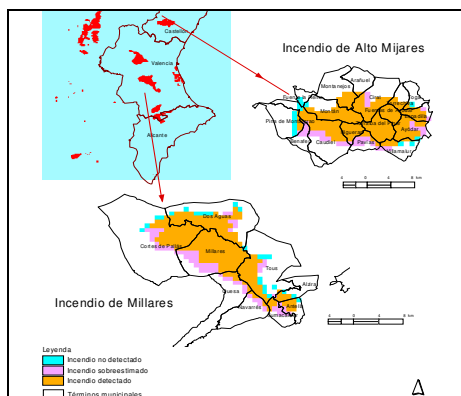


Figura 2. Resultados obtenidos (AVHRR)

Sin embargo, el empleo de las imágenes fracción vegetación obtenidas mediante la aplicación del Modelo de Mezclas Espectrales Lineal ha proporcionado valores del índice Kappa ligeramente superiores (ver Figura 2 y Tabla 1). El empleo de estas imágenes se basa en los resultados de diferentes investigadores que han demostrado que dicha imagen fracción está más relacionada con la vegetación que la imagen NDVI (García-Haro, 1999).

	AVHRR	TM
NDVI	0.841	0.845
Fracción vegetación	0.860	0.912

Tabla 1. Índices kappa obtenidos

Si se considera la influencia de la resolución espacial en los resultados obtenidos, éstos indican que la precisión obtenida es similar, aunque algo mayor empleando imágenes TM. Además, este tipo de imágenes permite una

discriminación mucho más alta de las zonas no afectadas dentro del perímetro del fuego. Esta misma afirmación ha sido realizada por otros autores a partir de imágenes NDVI (Martín et al., 1994). Sin embargo, no pueden extraerse conclusiones determinantes en uno u otro sentido ya que sería necesario el estudio y comparación de un mayor número de siniestros.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la metodología propuesta para estimar el área quemada, basada en el empleo de imágenes fracción vegetación en lugar de imágenes NDVI dentro de una perspectiva multitemporal (diferencias), no sólo es válida, si no que proporciona resultados ligeramente superiores que cuando se aplica sobre imágenes NDVI.

BIBLIOGRAFIA

Casanova, J.L. 2000. *Aplicaciones de la teledetección para evaluar los factores ambientales. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Cap. 6. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España.

Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp, SA. Madrid.

Congalton, R.G. and Green, K. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Lewis Publishers.

Delgado, J.A. 1991. *Clasificación y análisis de nubes mediante imágenes Meteosat*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. Valladolid.

Fernández, A. 1996. *Análisis de incendios forestales mediante imágenes NOAA-AVHRR: detección, cartografía de superficies afectadas y estimación del peligro*. Tesis Doctoral. Dpto. de Física Aplicada I. Universidad de Valladolid.

García-Haro, F.J. 1999. Validación de una estrategia basada en el análisis de mezclas espectrales a partir de datos ATM. *Revista de Teledetección*. Vol. 12: 9-12.

Gong, P., Miller, J. and Spanner, M. 1994. Forest Canopy Closure from Classification and Spectral Unmixing of Scene Components - Multisensor Evaluation of an Open Canopy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 32, núm. 5. pp. 1067-1079.

ICONA. 1994. *Los incendios forestales en España durante 1994*. Avance Informativo. Subdirección

General de Protección de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Illera, P., Delgado, J.A. and Calle, A. 1995. A navigation algorithm for satellite images. *International Journal of Remote Sensing*. Vol.15. pp. 577-588.

Kerdiles, H. and Grondona, M. 1995. NOAA-AVHRR NDVI Decomposition and Subpixel Classification Using Linear Mixing in the Argentinean Pampa. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 16, núm. 7. pp. 1303-1325.

Martín, P., Viedma, O. and Chuvieco, E. 1994. High versus low resolution satellite images to estimate burned areas in large forest fires. *Proc. 2º Int. Conf. Forest Fire Research*. Coimbra. Vol. II. C14: 653-663.

Pereira, J. 1999. A comparative evaluation of NOAA vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 37: 217-226.

Quintano, E., Delgado, J.A., Fernández, A. and Illera, P. 2000. Automatic mapping of large scale forest fires in Spain using Landsat-TM. *Remote sensing in the 21st Century: economic and environmental applications*. Casanova ed. Balkema, Rotterdam. 357-361.

Salvador, R., Valeriano, J., Pons, X. and Díaz-Delgado, R. 2000. A semiautomatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forest with Landsat MSS time series. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 21: 655-671.

Shimabukuro, Y. and Smith, J. 1991. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol 29, pp 16-20.

Smits, P.C., Dellepiane, S.G. y Schowengerdt, R.A. 1999. Quality assessment of image classifications algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 20: 1461-1486

Viedma, O. and Chuvieco, E. 1994. Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya de Buñol (Valencia). *Revista de la Asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho*. Vol. 167: 60-66