

Análisis de imágenes basado en objetos aplicado a imágenes fracción derivadas del sensor MODIS para cartografiar áreas quemadas en la cuenca Mediterránea

David Gonzalez Mateos ¹
Carmen Quintano Pastor ¹
Yosio Edemir Shimabukuro ²

¹ Universidad de Valladolid-Departamento de Tecnología Electrónica
Francisco Mendizabal 1, 47014 Valladolid, España
dgmateos@gmail.com; menchu@tele.uva.es

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
yosio@ltd.inpe.br

Abstract. Forest fires are a main problem in Mediterranean countries. From an unitemporal point of view, mapping burned areas is usually achieved by classifying a postfire Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) image. Frequent confusions between burnt vegetation and shadows are, however, observed. This study tries to improve the results obtained using NDVI images and conventional classifiers by combining the use of Spectral Mixture Analysis (SMA) with Object Based Image Analysis (OBIA). The proposed method applies OBIA to the fraction images obtained by unmixing an original image. In this work, the reflectivity products of the MODerate resolution Image Spectroradiometer (MODIS) were employed. The study area was Castilla y León (Spain). First, the endmembers (unburned vegetation, burned vegetation, and shade) were defined and unmixing was performed (Root Mean Square error < 1). Second, the burned vegetation fraction image was segmented and the segmented image was classified into “burned”/“unburned”. Finally, the Global Positioning System (GPS) perimeters of the burned areas were used as ground-truth to calculate the confusion matrix and measure the accuracy of the estimation. Results showed that both overall accuracy and Kappa index (K) had higher values when fraction images were used as input to OBIA (K=0.67 vs. K=0.59). We concluded that the combination of SMA and OBIA is a valid methodology to map burned areas in Mediterranean countries.

Palavras-chave: MODIS, Spectral Mixture Analysis (SMA), Object Based Image Analysis (OBIA), burned areas; MODIS; modelo de mistura espectral, análise de imagens baseado em objetos, áreas queimadas

1. Introducción

El fuego es uno de los principales agentes causantes de cambios ambientales a diferentes escalas y en diversas latitudes. En la cuenca Mediterránea, cada año los incendios forestales queman miles de hectáreas. Tanto la detección temprana de focos activos y su seguimiento como la cuantificación de los daños ocasionados por los incendios son de vital importancia para los organismos encargados de gestionar los recursos forestales.

En España, la cartografía de los daños ocasionados por un incendio se realiza habitualmente identificando el contorno exterior del área quemada y tomando sus coordenadas GPS, bien sobre el terreno o bien sobre helicóptero. Sin embargo, las técnicas basadas en Teledetección permiten cartografiar las áreas quemadas de forma más económica y con una alta fiabilidad. Vélez (2000) afirma que las diferencias con las medidas directas realizadas con GPS son habitualmente inferiores al 10%.

Las técnicas empleadas para cartografiar áreas afectadas por el fuego a partir de imágenes de satélite varían en función del número y tipo de imágenes empleadas. Si sólo se emplea una imagen posterior al fuego, éstas se denominan unitemporales. Dichas técnicas unitemporales se basan en aplicar un algoritmo de clasificación a una o más bandas (originales o sintéticas) de entrada. Entre las bandas de entrada habitualmente empleadas destaca el *Normalized*

Difference Vegetation Index (NDVI). Sin embargo, otras bandas como las imágenes fracción obtenidas tras la aplicación del Análisis de Mezclas Espectrales (*Spectral Mixture Analysis*, SMA) ya han demostrado su utilidad para esta aplicación (Anderson et al., 2004; Caetano et al., 1994; Quintano et al., 2006a; Gordillo et al., 2008).

Respecto al algoritmo de clasificación, habitualmente se utilizan clasificadores orientados a pixel (supervisados o no supervisados), que únicamente consideran las características espectrales de las bandas de entrada. Sin embargo, los clasificadores orientados a objeto (*Object Based Image Analysis*, OBIA) permiten emplear no sólo la información espectral de las bandas de entradas sino también información contextual, por lo que la precisión de la clasificación realizada suele superar a la precisión obtenida mediante los clasificadores convencionales (Gitas et al., 2004; Quintano et al., 2006b)

Por otra parte, el tipo de imágenes de satélite empleadas para la cartografía de áreas quemadas depende a su vez de otros parámetros como la escala del estudio o el tamaño medio de las zonas afectadas. Diferentes trabajos (Li et al., 2004; Roy et al., 2005, entre otros) han demostrado que las imágenes procedentes del *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) pueden ser utilizadas para la cartografía de áreas afectadas por incendios mayores que 0,5 km². Su resolución espacial varía entre 250 m y 1 km dependiendo de la banda espectral considerada, siendo su resolución temporal diaria por encima de los 30 grados de latitud.

El presente estudio se sitúa en esta línea de trabajo, teniendo como principal objetivo validar la aplicación de OBIA a las imágenes fracción obtenidas tras la aplicación de SMA a los productos de reflectividad MODIS como metodología para ser utilizada en la cartografía de áreas quemadas en el área Mediterránea.

2. Material y Método

La zona de estudio elegida fue Castilla y León (Figura 1), una región de interior situada en el norte de España. Castilla y León presenta una altitud que oscila entre los 700 y los 1100 m en las llanuras centrales, y los 2600 m que alcanza en las cotas más altas de las montañas. Más de la mitad de su territorio (94 224 km²) se corresponde con uso forestal, representando la superficie arbolada un 31% de la superficie forestal total.



Figura 1. Zona de estudio

En este trabajo se analizarán los incendios cuya superficie afectada fue mayor que 1 km² ocurridos entre Junio y Agosto de 2004 (Tabla 1). Dicho año, según el gobierno Castellano y Leonés, se produjeron 632 incendios en los que se quemaron más de 150 km² de superficie forestal en Castilla y León.

Tabla 1. Fecha y superficie afectada de los incendios considerados
(datos procedentes de la Junta de Castilla y León, España)

Incendios producidos en el mes de Junio		Incendios producidos en el mes de Julio		Incendios producidos en el mes de Agosto	
Fecha	Superficie (km ²)	Fecha	Superficie (km ²)	Fecha	Superficie (km ²)
18 / 06	3,78	01 / 07	1,73	01 / 08	3,38
18 / 06	6,38	17 / 07	20,26	01 / 08	3,96
30 / 06	2,60	23 / 07	1,04	07 / 08	7,73
		25 / 07	2,61	07 / 08	10,25
		26 / 07	4,08	15 / 08	1,83
				15 / 08	12,44

El trabajo se ha basado en el empleo de los productos MODIS de reflectividad MOD09GHK (500 m, 7 bandas) y MOD09GQK (250 m, 2 bandas). Los perímetros digitalizados de los incendios ocurridos en el año 2004, proporcionados por Junta de Castilla y León, se han utilizado como verdad-terreno para validar las estimaciones de área quemada realizadas.

La metodología utilizada se basó en el empleo conjunto de SMA y OBIA (Figura 2).



Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología seguida

Las etapas o fases de trabajo se pueden resumir en las siguientes:

1. **Preprocesado.** Las imágenes posteriores a los incendios considerados fueron descargadas a través de *Earth Observing System Data Gateway* de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Se realizó una selección visual de las mismas para evitar aquellas con nubes. A continuación, las imágenes finalmente seleccionadas (14 y 29 de Agosto) fueron recortadas al área de estudio.
Por otra parte, los perímetros de los incendios considerados se agruparon en dos ficheros “.shp”: el primero incluyó los incendios anteriores a 14 de Agosto; y el segundo los anteriores a 29 de Agosto.
2. **SMA.** Antes de descomponer espectralmente (*unmixing*) cada imagen considerada en sus componentes básicos (*endmembers*) fue necesario identificarlos. En este trabajo, dichos componentes básicos fueron extraídos de las propias imágenes. Para ello, en primer lugar, se realizó la transformada *Minimum Noise Fraction* (MNF) de cada imagen. A continuación, se calculó el índice de pureza de los píxeles (*Pixel Purity Index*, PPI) de dicha transformada. Por último, las agrupaciones de dichos píxeles más puros fueron visualizadas en un diagrama de dispersión n-dimensional, permitiendo la definición de los componentes básicos.
La descomposición espectral se llevó a cabo resolviendo el sistema de ecuaciones que define matemáticamente el modelo lineal de SMA (Shimabukuro y Smith, 1991), obteniéndose así las imágenes fracción de cada componente básico considerado (vegetación sana, vegetación quemada y sombra para MOD09GHK, y vegetación sana y vegetación quemada para MOD09GQK).
3. **OBIA.** El análisis de imágenes basado en objetos tiene dos etapas fundamentales: la segmentación de la banda o bandas de entrada, y la posterior clasificación de los segmentos previamente definidos. En este estudio, ambas etapas fueron llevadas a cabo mediante el software “*eCognition*”. La segmentación es la subdivisión de una imagen en regiones más pequeñas representadas por objetos. Los objetos obtenidos contienen la información referida a su propio espectro, su forma, posición y textura; y están relacionadas con las características de sus objetos vecinos.
En este trabajo se utilizó el procedimiento de segmentación por multiresolución, en el cual los segmentos son creados en base a tres criterios: escala, color y forma (suavidad y compactibilidad). Respecto a la etapa de clasificación de los segmentos, se empleó el procedimiento de jerarquía de clases, en el cual se las imágenes son clasificadas en función de una lista de clases disponibles, en este caso área quemada y área no quemada.
4. **Validación de resultados.** La precisión de cada estimación realizada fue calculada a través de la matriz de confusión y el estadístico Kappa (Congalton y Green, 1999). Los perímetros GPS de los incendios considerados fueron rasterizados e incluidos en la máscara Training and Test Area (TTA) que se utilizó como verdad terreno.

3. Resultados y Discusión

Como indica el diagrama de la Figura 2, tras el preprocesado se aplicó SMA a las imágenes seleccionadas. Tanto la definición de los componentes básicos de la forma descrita, como la resolución del sistema de ecuaciones, se repitieron hasta que el error cuadrático medio (*Root Mean Square*, RMS) fue inferior a 1. A modo de ejemplo, las imágenes fracción finalmente obtenidas a partir del producto MOD09GQK del 29 de Agosto de 2004 se muestran en la Figura 3.

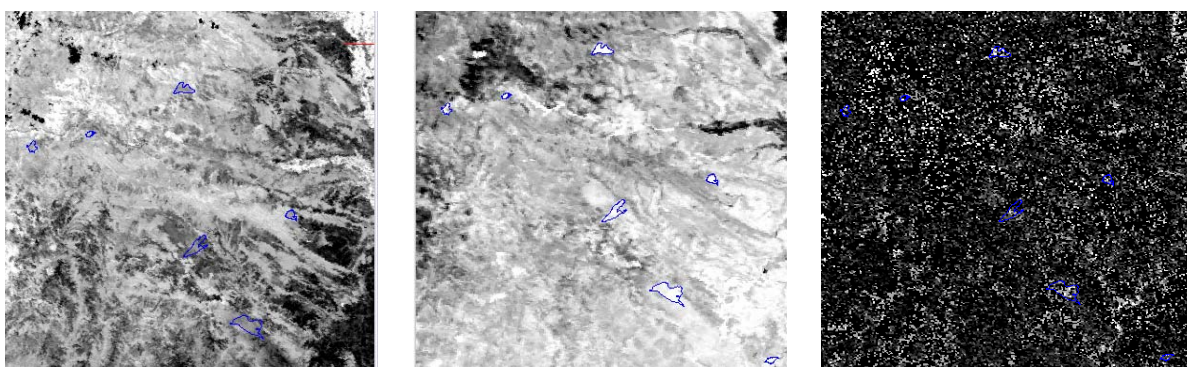


Figura 3. Imágenes fracción del producto MOD09GQK del día 29 de Agosto de 2004 (izquierda: fracción vegetación sana; centro: fracción vegetación quemada; derecha: imagen de error RMS)

A continuación, OBIA fue aplicado tanto a las imágenes fracción obtenidas de la forma indicada como al índice NDVI y a las bandas roja e infrarroja originales de los productos considerados. En la Figura 4 aparecen detallados los procesos de segmentación y clasificación llevados a cabo sobre las bandas originales del producto MOD09GQK de fecha 14 de Agosto de 2004 para la cartografía del Incendio de Fonfría, ocurrido el 17 de Julio y cuya área afectada fue 20,26 km².

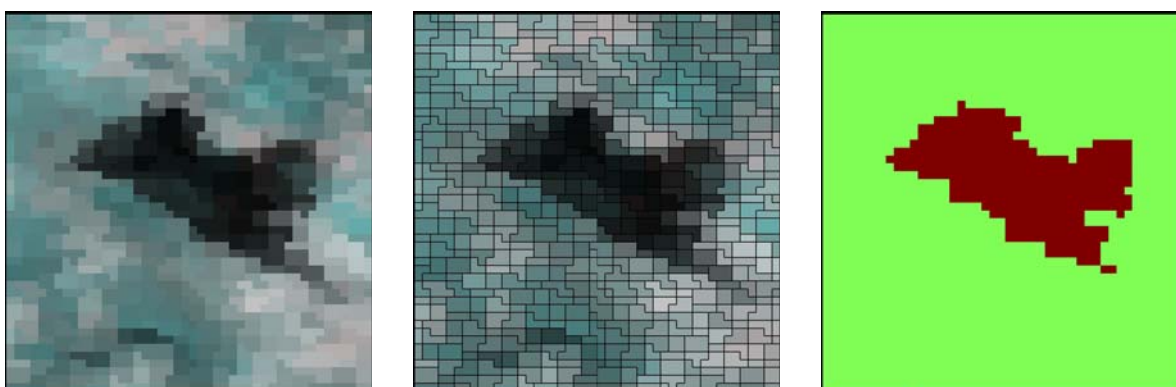


Figura 4. Detalle de la aplicación de OBIA a las bandas originales del producto MOD09GQK de fecha 14 de Agosto de 2004 (izquierda: composición en color de las bandas originales; centro: imagen segmentada; derecha: imagen clasificada)

Respecto al proceso de segmentación, se ha observado que el parámetro compacidad fue irrelevante ya que no modificó el número de objetos creados. Respecto a los criterios y reglas de clasificación, la agrupación semántica de clases favoreció la comprensión de las clasificaciones y generó planos/imágenes más sencillos de entender. Cada banda de entrada se caracterizó de forma independiente a otras bandas, siendo más sencillas de clasificar las imágenes fracción que las bandas originales.

El índice Kappa y la precisión total de las diferentes estimaciones de área quemada realizadas se muestran en la Tabla 2. Se observa como la precisión de las estimaciones de área quemada basadas en las imágenes fracción son superiores a las basadas tanto en NDVI como en las bandas originales en todos los casos salvo uno. Asimismo se confirma que los mejores resultados se obtienen al emplear una imagen más próxima a la fecha del incendio.

Tabla 2. Índice Kappa y precisión total de las diferentes estimaciones

PRODUCTO MODIS	BANDAS DE ENTRADA A OBIA	FECHAS			
		14 Agosto 2004		29 Agosto 2004	
		Índice Kappa	Precisión total	Índice Kappa	Precisión total
MOD09GQK	Fracción vegetación quemada	0.50	85%	0.56	82%
	Banda roja e infrarroja	0.57	86%	0.51	86%
	NDVI	0.58	86%	0.51	86%
MOD09GHK	Fracción vegetación quemada	0.67	90%	0.61	86%
	Banda roja e infrarroja	0.60	87%	0.56	85%
	NDVI	0.59	87%	0.51	84%

Los resultados obtenidos demuestran que la combinación de SMA y OBIA proporciona una metodología válida para la cartografía de áreas quemadas en la cuenca Mediterránea. Por una parte, SMA, que trabaja a nivel subpíxel, posibilita minimizar las confusiones originadas por la influencia del suelo; y, por otra, OBIA, trabajando a nivel suprapíxel, permite considerar características no espectrales tales como la forma y la textura. Estos resultados coinciden con los obtenidos en varios trabajos anteriores (Fernández-Manso et al., 2006; Quintano et al., 2006b).

4. Conclusiones

Se ha demostrado la validez de la aplicación de OBIA a las imágenes fracción procedentes de la descomposición espectral (SMA) de los productos de reflectividad MODIS como metodología para ser utilizada en la cartografía de áreas quemadas en el área Mediterránea (índice Kappa: 0,67).

La precisión de las estimaciones de área quemada obtenidas superó la precisión obtenida al clasificar las bandas originales.

Referencias

- Anderson, L.O.; Shimabukuro, Y.E.; Lima, A. Detecção de áreas queimadas baseado no Modelo Linear de Mistura Espectral utilizando dados Multitemporais MODIS/Terra no estado do Mato Grosso, Amazônia Brasileira. **SELPER**, Santiago, Chile, 2004.
- Caetano, M.S.; Mertes, L.A.K.; Pereira, J.M.C. Using spectral mixture analysis for fire severity mapping. **Proc. 2º Int. Conf. Forest Fire Research. Coimbra**. Vol. II. C16: 667-677. 1994.
- Congalton, R.G.; Green, J. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practice**. NY: Lewis publishers. 1999
- Fernández-Manso, O.; Quintano, C.; Fernández-Manso, A. Combining Spectral Mixture Analysis and Object-Oriented image classification for monitoring forest cover changes in northwest of Spain. **Anais del VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR, Brasil, 17-19-octubre-2006. ISBN 978-85-60020-01-0. p. 73-79
- Gitas, I.Z.; Mitri, G.H.; Ventura, G. Object-Oriented Image Analysis for Burned Area Mapping using NOAA-AVHRR Imagery in Creus Cape, Spain. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 409-413, 2004.
- Gordillo, V.; Martín, P.; Quintano, C.; Lima, A.; Shimabukuro, Y.E. MODIS Spectral Mixture Analysis y cartografía de áreas quemadas en la Cuenca Mediterránea. **Anais del VIII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR, Brasil, 7-9-octubre-2008. ISBN 978-85-60020-05-8. p. 68-73

Li, R.R.; Kaufman, Y.J.; Hao, W.M.; Salmon, J.M.; Gao, B.C. A technique for detecting burn scars using MODIS data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, p. 1300-308, 2004.

Quintano, C.; Fernández-Manso, A.; Fernández-Manso, O.; y Shimabukuro, Y. Mapping burned areas in Mediterranean countries using Spectral Mixture Analysis from a unitemporal perspective. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 645–662, 2006a.

Quintano, C.; Fernández-Manso, O.; Fernández-Manso A.; Ramírez, J. Synergies between linear spectral mixture analysis and object based image analysis **Ambiência**. Ed. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Brasil. (ISSN: 1808-0251.) Edição Especial. p. 121-134, 2006b.

Roy, D.P.; Frost, P.G.H.; Justice, C.O.; Landmann, T.; Le Roux, J.L.; Gumbo, K.; Makungwa, S.; Dunham, K.; Du Toit, R.; Mhwandagaraii, K.; Zacarias, A.; Tacheba, B.; Dube, O.P.; Pereira, J.M.C.; Mushove, P.; Morisette, J.T.; Santhana-Vannan, S.K.; Davies, D. The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, p. 4265-4292, 2005.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived from Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 29, p. 16-21, 1991.

Vélez, R. **La defensa contra incendios forestales**. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. 2000.