

Detección de incendios forestales mediante MSG-SEVIRI: operación en tiempo real con apoyo de imágenes MODIS

J.L. Casanova, A. Calle y J. Sanz

Laboratorio de Teledetección, LATUV. Universidad de Valladolid. Dpto. de Física Aplicada. Facultad de Ciencias. 47071-Valladolid.

Resumen

Este trabajo presenta las capacidades del sensor MSG-SEVIRI para la detección de incendios forestales y la consiguiente extracción de los parámetros del fuego. El Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid dispone de receptores MSG y MODIS, así como el sistema operativo de detección de fuegos que difunde vía Internet durante la temporada veraniega de incendios. Aquí, mostramos algunos resultados concretos así como la metodología de procesado involucrada.

1. Introducción

En lo que se refiere a los sensores utilizados para llevar a cabo la detección de incendios, el más importante ha sido, sin duda, el NOAA-AVHRR debido a su mayor resolución temporal y el tipo de sensores de los que está dotado. La detección mediante AVHRR ha sido desarrollada a través de diferentes algoritmos que podemos clasificar en algoritmos basados en umbrales fijos y algoritmos contextuales, cuyos parámetros han sido adaptados a las diferentes zonas de estudio. La baja resolución espacial, de 1 km^2 , de este sensor ha dado lugar al estudio a nivel de sub-píxel, mediante la aplicación de la metodología de Dozier (1981), a partir de la cual es posible determinar simultáneamente la temperatura del fuego y la fracción de área que se encuentra ardiendo. A pesar de las limitaciones de las que adolece este sensor, es inevitable utilizarlo como referencia comparativa para los sensores posteriores como MODIS. La aparición del sensor MODIS, en 1999, sobre las plataformas TERRA y AQUA, aportando 36 bandas espectrales ha mejorado enormemente las capacidades de la detección de forma que los algoritmos basados en AVHRR han sido adaptados y mejorados para la operatividad de MODIS (Kaufman and Justice, 1998). La aparición del satélite experimental BIRD, diseñado por el laboratorio DLR de Alemania, introdujo algunas mejoras realmente significativas en las capacidades de los sensores térmicos y a pesar

de encontrarse en fase experimental aportó ya resultados sorprendentes en algunos casos y ello hace pensar en que la búsqueda de un sistema espacial operativo de alerta temprana, terminará siendo una realidad en un futuro no muy lejano (Briess et al., 2003).

La detección de incendios con objetivo de aportar alertas tempranas, por otra parte, es una necesidad aún no resuelta por no disponer de sensores que mezclen adecuadamente la resolución temporal y la resolución espacial en el dominio del espectro térmico. En esta línea, los satélites geoestacionarios aún no han mostrado su capacidad en la detección de pequeños focos de incendios y por ello aún no se encuentran en disposición de ser útiles para aportar los avisos de alerta temprana. La dificultad que entraña la fabricación de sensores térmicos con alta resolución espacial es el principal obstáculo para llevar a cabo esta tarea. Algunos autores han realizado simulaciones para determinar el área mínima detectable en función de la temperatura sobre GOES y MSG (Prins and Schmetz, 1999). En el caso de este último, y sobre nuestras latitudes, para que un fuego de 600 K sea detectado se necesita una extensión mayor 1.5 ha. y esto sin incluir los efectos de la atenuación atmosférica. El principal antecedente de MSG en la detección de fuegos ha sido el sensor GOES, que ha mostrado grandes resultados sobre zonas de la Amazonía donde existen incendios muy extensos y de larga duración. Estamos ahora en la tarea de mostrar las capacidades de MSG para la detección sobre nuestras latitudes teniendo en cuenta las condiciones particulares de los incendios que nos afectan.

2. MSG-SEVIRI características relacionadas con los incendios

Como es sabido, el sensor SEVIRI consta de 12 bandas espectrales de las cuales, una de ellas denominada HRV tiene una resolución espacial de 1 km en el nadir. El resto tienen una resolución espacial de 3 km. Por lo que respecta a sus características espectrales, la tabla adjunta muestra

las longitudes de onda de las bandas involucradas en los algoritmos de detección.

Por lo que se refiere a la detección y estudio del fuego, cabe destacar que SEVIRI presenta la banda IR3.9 como la principal banda para llevar a cabo la detección, por estar centrada en la zona espectral de emisión de cuerpos calientes con temperaturas en torno a los 800 K. Esta banda, sin embargo, presenta un rango de funcionamiento entre 0 y 335 K lo que provoca su saturación a pesar de tratarse de píxeles con extensiones cercanas a 13 km² en la península. Esta situación aparece con cierta frecuencia en caso de incendios grandes

Banda	Longitud de onda (µm)
VIS 0.8	0.74 - 0.88
IR 1.6	1.50 - 1.78
IR 3.9	3.48 - 4.36
IR 10.8	9.80 - 11.80

3. Detección de incendios forestales

La detección del fuego, mediante teledetección, es una tarea relativamente sencilla, atendiendo, claro está a las limitaciones propias de cada sensor en lo relativo a tamaño mínimo detectable. Un problema mucho más difícil de resolver es el adecuado filtrado de falsas alarmas. En lo que se refiere a la metodología aplicada aunque han sido propuestos modelos físicos, los algoritmos más utilizados con éxito en sensores precedentes como AVHRR y MODIS han sido los basados en umbrales (Kaufman et al., 1990) y los algoritmos contextuales (Lee and Tag, 1999, Kaufman and Justice, 1998, Giglio et al., 2003). Estos algoritmos han mostrado eficiencia en la detección pero también errores de comisión de falsas alarmas.

3.1. Metodología

La metodología seguida en el presente estudio está basada en la utilización de las dos bandas espectrales IR3.9 y IR10.8. Sobre ellas se ha aplicado un análisis contextual analizando una matriz de píxeles de tamaño NxN, para establecer los parámetros estadísticos valor medio y desviación estándar. El test de detección consiste en establecer un píxel como afectado cuando cumpla las condiciones:

$$T_{3.9} > \mu_{3.9} + f \cdot \sigma_{3.9}$$

$$T_{3.9} - T_{10.8} > \mu_{dif} + f \cdot \sigma_{dif}$$

donde μ y σ son el valor medio y la desviación estándar, respectivamente, para la banda IR3.9 y la diferencia entre las bandas mencionadas. Aunque el análisis contextual ha sido ampliamente utilizado por otros sensores, aún no se han establecido el

tamaño de matriz aplicable para el sensor SEVIRI, ni el factor estadístico f .

Un amplio intervalo de fuegos de diferentes tamaños ha sido estudiado a lo largo del verano de 2004, con el apoyo de validación del sensor MODIS, para obtener los valores contextuales más adecuados en los algoritmos de detección, sin la inclusión de gran número de falsas alarmas en los bordes de las nubes. Finalmente, el sistema del LATUV está trabajando en tiempo real con tres diferentes valores que muestran tres diferentes niveles de probabilidad en los fuegos detectados. Con respecto al filtrado de puntos con cobertura nubosa, se ha utilizado la banda IR10.8. Además, en el caso de imágenes diurnas se ha utilizado la banda VIS0.8 para eliminar puntos con fuerte contribución solar que podrían contaminar la señal de la banda IR3.9.

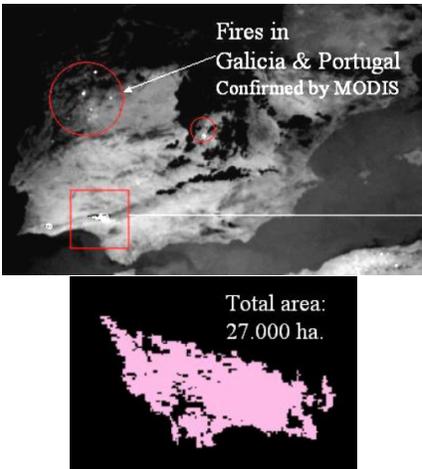
El sensor SEVIRI cuenta con una característica muy importante que puede ser aplicada a la consolidación de los resultados en base a la eliminación de falsas alarmas y que no se encuentra disponible en los sensores de los satélites polares heliosíncronos, y es la alta resolución temporal; esto es, los resultados pueden ser comparados en intervalos de 15 minutos que es el período entre dos escenas consecutivas. Así, un test de consolidación ha sido aplicado consistente en confirmar la persistencia del fuego detectado en las escenas siguientes, en el mismo píxel afectado o en los 8 píxeles adyacentes.

3.2. Resultados

Los principales resultados se muestran en la figura 1. Esta imagen ha sido elegida porque muestra el incendio más grave ocurrido en España durante el verano 2004. El algoritmo presentado fue aplicado consecutiva e ininterrumpidamente a lo largo de los dos días y medio durante los cuales tuvo lugar el principal avance del fuego. Finalmente el incendio arrasó 27000 ha. en la provincia de Huelva. La misma figura contiene la cartografía realizada en tiempo real mediante el sensor MODIS aplicando un algoritmo basado en el análisis de cambios en las bandas de reflectancia de 250 metros. La figura también contiene otros hot-spots detectados por MSG-SEVIRI en la mitad norte de España; fuegos que han sido validados mediante el sensor MODIS.

El sistema así presentado, MSG-SEVIRI para la detección y MODIS para la cartografía de áreas afectadas ha resultado ser un sistema integrado de

alta operacionalidad en el seguimiento de los incendios forestales durante la época veraniega.



4. Análisis de la evolución temporal de los incendios, mediante MSG SEVIRI.

Como se mencionaba en la introducción la utilidad de la detección mediante técnicas de teledetección es bastante reducida, una vez que los satélites geostacionarios son los únicos con capacidad temporal operativa pero adolecen de una baja resolución espacial. Sin embargo, mucho más útil resulta el concepto de "monitoring" tarea mediante la que se pretenden extraer los parámetros del fuego, para el posterior análisis y control.

4.1. Metodología

La tarea de determinación de la temperatura del fuego, área ocupada por el mismo y la potencia radiada por el fuego ha sido establecida en dos fases de análisis: análisis a nivel del píxel y análisis de clusters. Por clusters entenderemos un grupo de píxeles afectados por el fuego y ocupando posiciones adyacentes.

Aunque la metodología original más utilizada ha sido la propuesta por Dozier, 1981 y Matson y Dozier, 1981, sin embargo no es la más adecuada en su forma original, puesto que requiere el correcto conocimiento de la temperatura de la superficie de la parte del píxel afectado que no se encuentra

ocupada por el fuego. Aunque esta magnitud puede ser aproximadamente definida a través de la información de los píxeles circundantes, los errores encontrados en la temperatura del fuego son desmesuradamente grandes comparados con los errores que pueden ser introducidos a través de este análisis. Así, un error de 10 K en la temperatura de superficie pueden un error de más de 90 K en la temperatura del fuego calculada. Por ello, hemos seguido la metodología propuesta por Giglio & Kendall, 2001, que consiste en una modificación de la metodología de Dozier, consistente en resolver el sistema de ecuaciones espectrales:

$$L_i = \tau_i p B(\lambda_i, T_f) + (1 - p)L_{background,i} + p L_{atmos,i}$$

$i = MIR, TIR$

donde hemos denotado por L la radiancia obtenida a nivel del sensor en cada banda, τ es la transmitancia atmosférica, T_f la temperatura del fuego a calcular y p la fracción ocupada por el fuego; hemos despreciado el término correspondiente a la radiancia atmosférica captada por el sensor por ser despreciable. La potencia radiada por el fuego ha sido determinada a través de la ecuación de Stefan-Boltzmann, una vez conocidos el área y la temperatura del fuego

La caracterización de cada cluster de fuego, ha sido realizada a través de la suma de las áreas de fuego de cada píxel integrante y mediante una temperatura promediada, calculada de la forma:

$$T_f = \frac{\sum_k T_{r,k} \cdot S_k}{S}, S = \sum_k S_k$$

Donde el subíndice k denota cada uno de los píxeles integrantes del cluster.

4.2. Resultados

El concepto de análisis del fuego a través del estudio de la evolución temporal es claro a la vista de la figura 2, que compone uno de los principales resultados obtenidos sobre grandes incendios. En ella se puede apreciar los resultados obtenidos sobre grandes incendios del verano de 2003 en Portugal, verano que ardieron casi 400.000 ha en un período cercano a 15 días. Como se puede apreciar, las gráficas se refieren a diferentes píxeles integrantes de un mismo cluster, sobre los cuales se ha determinado la potencia radiada en Mwatts entre las 12:00 y las 16:00. Así, puede verse como en los píxeles de la parte trasera del cluster la potencia va decreciendo con el tiempo y en la parte delantera,

por donde se produce el avance del fuego, la potencia se va incrementando.

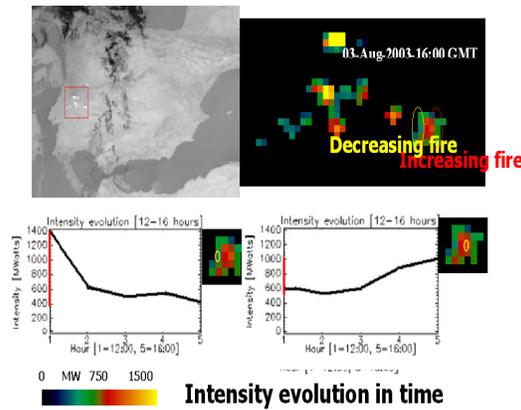


Figura 2: Evolución temporal de la potencia (Mwatts) de un incendio. Análisis de uno de los dos frentes de un cluster

5. Conclusiones

El sensor MSG-SEVIRI ha mostrado sus capacidades como sensor de observación de la tierra, además de meteorológico, proporcionando información relevante en el estudio de grandes incendios. Con respecto a la detección, esta es la tarea más delicada, no por la detección en sí, sino por la comisión de falsas alarmas. Un algoritmo contextual produce buenos resultados; en todo caso los parámetros estadísticos en los que se apoya deben ser cuidadosamente elegidos para evitar aparición de errores. Por ello, el filtro temporal de consolidación propuesto mejora los resultados; el problema añadido es que la utilización de imágenes posteriores en la consolidación recae en un empeoramiento de la resolución temporal de los resultados. Con respecto a la fase de análisis de parámetros, los resultados son satisfactorios desde el punto de vista cualitativo. La posibilidad de disponer de gráficas de evolución temporal de un incendio posibilitan el posterior análisis en base a sus capacidades de regeneración.

6. Referencias

Briess, K., Jahn, H., Lorenz, E., Oertel, D., Skrbek, W. & Zhukov, B. 2003. Fire recognition

potential of the bi-spectral detection (BIRD) satellite. *Int. J. Remote Sensing*, 24, 865-872.

Dozier, J. (1981). A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Rem. Sens. Env.*, 11: 221-229

Giglio, L & Kendall, J.D., 2001. Application of the Dozier retrieval to wildfire characterization. A sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, 77, 34-49.

Ichoku, C., Kaufman, Y.J., Giglio, L., Li, Z., Fraser, R.H., Jin, J-Z & Park, W.M. 2003. Comparative analysis of daytime fire detection algorithms using AVHRR data for the 1995 fire season in Canada: perspective for MODIS. *Int. J. Remote Sensing*, 24, 1669-1690.

Kaufman, Y. & Justice, C. 1998. MODIS Fire Products. MODIS Science Team. EOS ID#2741.

Lorentz, E. and Skrbek, W. 2001. Calibration of a bi-spectral infrared push-broom imager. *Proceedings of SPIE, Infrared Spaceborne Remote Sensing IX*, San Diego, 29 July-3 August 2001, 4486, 90-103

Matson, M. and Dozier, J. 1981. Identification of sub-resolution high temperatures sources using a thermal IR sensor. *Photo Engr. and Remote Sensing*, 47(9), pp. 1311-1318.

Prins, E.M. and Menzel, W.P. 1993. Application of the GOES VAS Automated Biomass Burning Algorithm (ABBA) in South America: A trend analysis from 1983-1991.

Prins, E and Schmetz, J. 1999. Diurnal fire active detection using a suite of international geostationary satellites. *GOFC Forest Fire Monitoring and Mapping Workshop*, JRC, Ispra.

Robinson, J.M., 1991. Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. *Int. Journal of Remote Sensing*, 12, pp.3-24

Wooster, M.J., Zhukov, B & Oertel, D. 2003. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 86, 83-107.