

## Detección y parametrización de incendios forestales en China mediante el sensor ENVISAT-AATSR

A. Calle, C. Moclán y J.L. Casanova

Laboratorio de Teledetección, LATUV. Universidad de Valladolid. Dpto. de Física Aplicada. Facultad de Ciencias. 47071-Valladolid. e-mail: abel@latuv.uva.es

### Resumen

Este trabajo presenta un análisis del sensor ENVISAT-AATSR respecto a su respuesta en la variación de ciertos parámetros relacionados con los incendios forestales; además se presentan los resultados más relevantes del análisis de incendios forestales en China durante las campañas de los años 2002, 2003 y 2004, de cara a la elaboración de algoritmos automáticos de detección.

### 1. Introducción

La puesta en órbita por parte de la ESA del satélite ENVISAT en marzo de 2002, ha permitido poner en operación el sensor avanzado AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer). Las características radiométricas de las bandas se especifican en la tabla. Cabe destacar que aunque el principal objetivo de la misión de este sensor es el estudio y determinación de la temperatura del mar, sus capacidades para la observación, detección y monitoreo del fuego ha sido ya puesta de manifiesto a través de sus antecesores ATSR-1 y ATSR-2 (Arino and Mellinote, 1998).

Band	Nominal working range	NE delta(T) at 270K
0.55 $\mu\text{m}$	0 - 50 mW cm <sup>-2</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ sr <sup>-1</sup>	N/A
0.66 $\mu\text{m}$	0 - 45 mW cm <sup>-2</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ sr <sup>-1</sup>	N/A
0.87 $\mu\text{m}$	0 - 30 mW cm <sup>-2</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ sr <sup>-1</sup>	N/A
1.6 $\mu\text{m}$	0 - 7 mW cm <sup>-2</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ sr <sup>-1</sup>	N/A
3.7 $\mu\text{m}$	0 - 311K	0.08K
11 $\mu\text{m}$	200 - 321K	0.05K
12 $\mu\text{m}$	200 - 318K	0.05K

El objetivo del presente trabajo es doble: por una parte realizar un análisis exhaustivo de la respuesta del sensor AATSR ante la variación de diferentes parámetros difícilmente cuantificables en tiempo real y para cada punto del territorio, en función de las características potenciales que presenta el fuego observado y en segundo lugar aplicar las técnicas de

detección y análisis a incendios ocurridos en regiones del norte de China, en las cuales las condiciones del entorno son diferentes a las que existen en la Europa mediterránea.

### 2. Metodología

En relación con el proceso de detección de hot-spots, los algoritmos más utilizados han sido los basados en umbrales fijos (Kaufman et al., 1990) El esquema más frecuente es el test consecutivo de las siguientes condiciones donde

MIR y TIR se refieren a las bandas 3.7 $\mu\text{m}$  y 11 $\mu\text{m}$ .  
Uno de los objetivos de este trabajo es precisamente la

$$\begin{cases} T_{\text{MIR}} > V_{\text{MIR}} \\ T_{\text{MIR}} - T_{\text{TIR}} > V_{\text{DIF}} \\ T_{\text{TIR}} > V_{\text{TIR}} \\ R_{\text{NIR}} < V_{\text{NIR}} \end{cases}$$

búsqueda de los umbrales más adecuados para los distintos meses en las zonas forestales de China. Aquí reside una de las partes más novedosas en el sentido en que los umbrales aportados por los autores que han trabajado sobre el sensor predecesor ATSR (Arino, 2000) no son los más adecuados para la región de China.

Por lo que respecta a la extracción de parámetros del fuego, un esquema más realista derivado de la metodología de Dozier es el planteado por Giglio & Kendall, 2001, que consiste en la resolución de las ecuaciones:

$$\begin{cases} L_{\text{MIR}} = \tau_{\text{MIR}} p B(\lambda_{\text{MIR}}, T_f) + (1-p)L_{\text{surf,MIR}} + pL_{\text{atm,MIR}} \\ L_{\text{TIR}} = \tau_{\text{TIR}} p B(\lambda_{\text{TIR}}, T_f) + (1-p)L_{\text{surf,TIR}} + pL_{\text{atm,TIR}} \end{cases} \quad 0 < p < 1$$

donde  $L_{\text{atm,MIR}}$  y  $L_{\text{atm,TIR}}$  son las radiancias emitidas por la atmósfera en las bandas MIR y TIR. Esos términos son despreciados frente a las radiancias emitidas por la superficie,  $L_{\text{surf,MIR}}$  y  $L_{\text{surf,TIR}}$ .  $\tau$  es la transmitancia espectral. La diferencia más importante es que la contribución solar en el MIR y los términos relativos a la emisividad están incluidos implícitamente en la radiancia de los píxeles que rodean al píxel afectado por el fuego (Giglio & Kendall, 2001).

### 3. Análisis del sensor AATSR

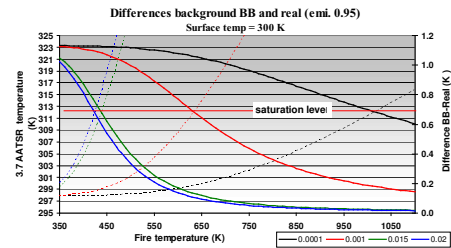
En esta sección abordaremos el análisis del sensor AATSR atendiendo a la respuesta obtenida

procedente de píxeles con fuego y cuantificando los efectos producidos por la variación de ciertos parámetros.

### 3.1. Dependencia con la emisividad

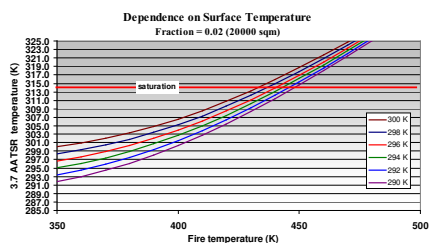
Las ecuaciones bi-espectrales planteadas por Giglio & Kendall, 2001, plantean la emisión de radiancia de un píxel dividido en fuego y background, de forma simplificada. En este último caso, la radiancia emitida depende de la emisividad de la superficie, la cual se aparta del comportamiento de cuerpo negro en una mayor cuantía que el caso del fuego. Para conocer la manera en la que afecta la variación de la emisividad de la superficie en la temperatura de brillo proporcionada finalmente por el sensor, para diferentes temperaturas y área del fuego hemos realizado diferentes simulaciones mediante el código MODTRAN y utilizando la función de respuesta espectral de las bandas 3.7 y 11  $\mu\text{m}$  del sensor AATSR. Para realizar este análisis se tomaron temperaturas del fuego en el intervalo de [350, 1100 K] con incremento de 10 K y con fracciones de píxel afectado por fuego en el intervalo [0, 1] atendiendo con especial atención a valores pequeños, donde se aplicaron incrementos de 0.0001. Con este esquema, fueron determinadas, para perfiles atmosféricos estándar, las temperaturas de brillo que debería proporcionar el sensor AATSR en las bandas implicadas en la detección. Un resultado representativo para la discusión cualitativa, se presenta en la figura 1, en la que se ha utilizado un valor de 300K para la temperatura de la superficie no afectada por el fuego. La figura 1 representa en abscisas los valores potenciales de la temperatura del fuego, en el primer eje de ordenadas la temperatura de brillo de la banda 3.7 y en el eje secundario la diferencia de temperatura de brillo en dicha banda, de considerar superficie como cuerpo negro y considerar cuerpo real de emisividad valor 0.95. Se representan 4 diferentes fracciones de píxel afectado por el fuego: 0.0001, 0.001, 0.015 y 0.02. Obsérvese, en la misma figura el nivel de saturación del sensor, a partir del cual sólo podría llevarse a cabo la detección pero en ningún caso la determinación de los parámetros del fuego. Como era de esperar, la consideración de diferentes valores de la emisividad, afectan más fuertemente a las condiciones de los píxeles con poca cobertura de fuego, en los cuales tiene mayor importancia la contribución del suelo, y valores más bajos de la temperatura del fuego. Así, se encuentra que un fuego de 100  $\text{m}^2$  a una temperatura de 1000 K, rodeado de una superficie a 300K, se encuentra justo en las condiciones de saturación y la diferencia de considerar emisividad 1 ó 0.95 en

dicha superficie es de algo más de medio K en la temperatura de brillo. Un fuego de 8000  $\text{m}^2$  a temperatura de 450 K saturaría el píxel. Esta diferencia de temperatura es mayor, lógicamente a medida que se considera una superficie con valores inferiores de emisividad. Téngase en cuenta, por otra parte que la observación de incendios forestales se realiza sobre terrenos forestales, por lo que los valores de emisividad reales más frecuentes serán superiores a 0.95. Así se han encontrado diferencias máximas de 4.8 K en caso de considerar emisividad 0.8 y para fracciones de píxel ardiendo de  $10^{-4}$ .



### 3.2. Dependencia con la temperatura de superficie

La última de las variables que intervienen en las ecuaciones bi-espectrales, cuya cuantificación es difícil de realizar es la temperatura de la superficie no afectada por el fuego, en el píxel incendiado. La opción para su determinación consiste en atribuir a dicho valor, una media de los valores de temperatura de superficie de los píxeles circundantes que no contienen fuegos. Este valor así determinado es una aproximación y es menos precisa a medida que aumenta la dispersión de los valores utilizados para su cálculo. Como gráfica representativa de las simulaciones que hemos llevado a cabo, presentamos la figura 2., que muestra los valores de la temperatura de brillo al nivel del sensor, en la banda MIR que es la más afectada por esta variación. Se ha considerado una superficie de fuego de  $2 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ . En el eje de abscisas se representa la temperatura del fuego y en la gráfica se muestran los valores de temperatura de la superficie en el intervalo [290K, 300K]. Son mayores las diferencias para temperaturas de fuego más bajas. En todo caso, lo que se aprecia es que una variación de 10K en la superficie conlleva menos de 10K en la temperatura obtenida por el sensor. Se muestra además la línea de saturación.

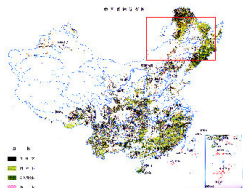


#### 4. Detección de incendios en China

A continuación se presentan algunos resultados obtenidos en imágenes ENVISAT-AATSR sobre el territorio de China. Todos los resultados que presentamos han sido proporcionados a través de un estudio interactivo sobre los casos con mayor probabilidad de ser fuegos reales. Así, se ha intentado obtener las características representativas para realizar con posterioridad análisis automáticos.

##### 4.1. Zona y período de estudio

Las imágenes del sensor AATSR han sido utilizadas para el análisis de los incendios forestales en las regiones del norte y este de China. La zona de estudio se encuentra delimitada por las coordenadas



geográficas del intervalo: Longitud[120°-137°], Latitud[44°-53°N]. La época en que hemos llevado a cabo el análisis han sido los meses de: Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto, correspondientes a los años 2002,03 y 04 y el total de escenas analizadas ascendió a 49, aunque no en todas fueron localizados incendios. Antes de aportar valores numéricos relativos a los procesos de detección y monitoring, cabe destacar que los incendios no se encontraron uniformemente repartidos en dicho período de análisis, aunque fuera éste el más sensible a los incendios según las autoridades de aquel país. Así hemos encontrado mayor número de incendios durante el mes de Abril, seguido de Mayo, y en menor cuantía en resto de los meses. Además, la mayoría de los casos encontrados han sido en imágenes nocturnas, aunque este último dato puede estar influido por el hecho de que durante la

noche, en ausencia de contribución solar, los fuegos son mucho más fiables.

#### 4.2. Resultados de la detección

Las estadísticas obtenidas en el presente análisis se muestran en la tabla:

	Diurnal conditions	Night conditions
Brig. Temp. 3.7 mm	310 K	305 K
Brig. Temp. 11.0 mm	286 K	274 K
Difference 3.7-11.0 mm	24 K	33 K
Reflectance 0.87 mm	12%	-----
Reflectance 0.67 mm	7%	-----

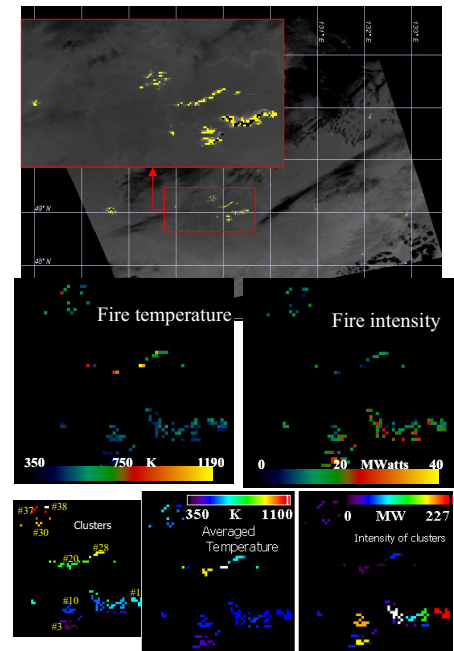
Cabe destacar que las estadísticas que hemos encontrado se refieren a cada uno de los meses de análisis, con la finalidad de obtener umbrales adaptados a las distintas épocas climáticas de China; si bien, por cuestiones de espacio sólo aportamos la tabla resumen anterior. Fueron analizadas las estadísticas de los valores térmicos atendiendo a los criterios de temperatura de las bandas 3.7 $\mu$ m y 11 $\mu$ m, así como la diferencia entre ambas, distinguiendo el caso de imágenes nocturnas y diurnas, siempre en píxeles no saturados, lógicamente. Además, y para estas últimas, se analizaron las reflectancias en las bandas 0.87 $\mu$ m y 0.67 $\mu$ m con la intención de utilizarlas para el filtrado de falsas alarmas en la automatización de los procesos. Por lo que respecta a la banda MIR se encontró como válido el umbral de 310 K durante el día y 305 K durante la noche. La diferencia entre ambos valores estriba en la contribución de la radiación solar en aquéllas. Los valores más destacados correspondieron a la banda de TIR, cuyos valores representativos en situaciones diurnas fueron de 286 K y 274 K durante la noche. Es muy importante destacar el hecho de que el porcentaje más alto de fuegos analizados estaba concentrado en el mes de abril, lo cual explica los valores tan bajos detectados en esta zona del espectro y para estas latitudes. Por otra parte y por lo que respecta a los valores característicos de la diferencia, durante el día el promedio en píxeles con fuego fue de 24K y durante la noche de 33K, sin duda producido por los valores tan bajos de la temperatura de la superficie. Finalmente, el análisis de las reflectancias en imágenes diurnas mostró valores representativos de píxeles con fuego de 12% en la región de 0.87 $\mu$ m y del 7% en 0.67 $\mu$ m, valores estos utilizados para filtrar puntos que pudieran presentar situaciones de *sun glint* y altos valores de señal en el MIR; valores estos más en consonancia con los encontrados en la Europa mediterránea.

### 4.3. Resultados de parámetros de fuego

La fase de análisis ha sido establecida mediante dos niveles de procesado: nivel de píxel y nivel de cluster, entendiendo por cluster una agrupación de píxeles afectados y vecinos. El primer nivel consiste en la determinación de la temperatura del fuego y la energía radiativa. Téngase en cuenta que la potencia generada por el incendio tiene tres procesos de extinción: potencia transmitida por el calentamiento del suelo, potencia liberada por procesos de convección y potencia radiada. Es esta última es la calculada a través de los parámetros accesibles al satélite. La figura 3 muestra uno de los ejemplos analizados, donde puede verse la escena original procesada, los incendios detectados y el análisis de temperatura del fuego y potencia radiada por el mismo en MWatts. Por lo que respecta al análisis a nivel de cluster, la figura 3. muestra una máscara con los clusters detectados en nuestro proceso, numerados para la extracción de los parámetros del cluster que se explican en el siguiente párrafo. La figura muestra los valores de temperatura promediada para cada cluster. Esta temperatura ha sido obtenida mediante el promedio de la temperatura de cada uno de los píxeles que componen el cluster, ponderado por el área ocupada por el fuego. Finalmente, la figura muestra la potencia radiada por todo el cluster, como la suma de las potencias de cada uno de los píxeles que integran el cluster. Este parámetro está relacionado con el poder destructivo del incendio y por consiguiente con la dificultad para la regeneración posterior de la zona.

### 5. Conclusiones

La utilidad del análisis del sensor para la extracción de parámetros del fuego indican que el desconocimiento de la emisividad y temperatura del suelo no repercuten en grandes variaciones en la temperatura de brillo medida por el sensor. Sin embargo, el bajo nivel de saturación del sensor 3.7 $\mu$ m le dificulta, de forma dramática, para la observación y análisis de fuegos con elevadas temperaturas o con altas fracciones del píxel afectado. La segunda parte del trabajo ha consistido en la aplicación de la metodología sub-píxel al sensor AATSR y para escenarios centrados en China. Los valores encontrados en las temperaturas de la banda 11 $\mu$ m difieren mucho de las condiciones encontradas en la Europa mediterránea. La diferencia entre las bandas 3.7 y 11 se manifiesta como el principal argumento a introducir en los procesos automatizados de detección.



### 6. Referencias

- Arino, O. & Mellinote, J.M. (1998). The 1993 Africa fire map. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 2019-2023.
- Arino 2000. Various Authors. *ATSR World Fire Atlas validation*. ESA-ESRIN, Italy.
- Giglio, L & Kendall, J.D., (2001). Application of the Dozier retrieval to wildfire characterization. A sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, 77, 34-49.
- Kaufman, Y.J., Tucker, C.J. & Fung, I. (1990). Remote sensing of biomass burning in the tropics. *Journal Geophy. Res.*, 95:9927-9939.
- Li, Z, Kaufman, Y.J., Ichoku, C, Fraser, R., Trishchenkp, A., Giglio, L. Jin, J and Yu, X. (2001). A review of AVHRR-based active fire detection algorithms: Principles, limitations and recommendations in Global and Regional vegetation fire monitoring from space, SPB Academic Publishing, The Haque, Netherlands, pp. 199-225.