



VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS PRODUCTOS MODIS Y AATSR PARA LA DETECCIÓN DE FOCOS ACTIVOS EN LA ESPAÑA PENINSULAR Y BALEARES EN EL AÑO 2003

Validation and comparison of modis and aatsr active fire products in Spain in 2003

Patricia Oliva^{1*}, Sara Jurdao^{2*}, Jesús Martínez³ y Emilio Chuvieco⁴.

Recibido 26/10/2007; aceptado el 20/01/2008

Resumen. *A partir del tratamiento de los productos MODIS y AATSR para la detección de incendios activos, y de su comparación con las estadísticas oficiales aportadas por la DGB (Dirección General de la Biodiversidad), se han obtenido los resultados a través de los cuales se ha establecido la fiabilidad de los productos para la España Peninsular y Baleares en el 2003. La eficiencia se evaluó a través del cálculo de los errores de omisión y comisión, analizando la distribución espacio-temporal. Atendiendo a los resultados obtenidos, es posible afirmar que la fiabilidad mejora en relación proporcional al tamaño de incendio y tras realizar la comparación entre los productos se concluye que la detección es más precisa a través del sensor MODIS.*

Palabras clave: MODIS, AATSR, DGB, Focos Activos, Error de Omisión.

Abstract. *On the basis of the application of the MODIS and AATSR products for the detection of active fires and of their comparison with official statistics provided by the DGB (the State Biodiversity Office), results have been obtained by which the reliability of the products for the Iberian Peninsula and Balears Islands in 2003 has been established. Their efficiency was evaluated by reckoning the errors of omission and commission, analysing the space-time distribution. On the basis of the results obtained it is possible to state that reliability improves in proportion to the size of the fire and, having made a comparison of the products, the conclusion has been reached that detection by the MODIS product is more accurate.*

Key Words: MODIS, AATSR, DGB, Active fires, Omission Error.

Correo electrónico: 1 patricia.olivap@gmail.com

2 atirasj@yahoo.com

3 jmartinez@ipe.csic.es

4 emilio.chuvieco@uah.es

* Autores principales

1,2,4 Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá

3 Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza.

Patricia Oliva, Sara Jurdao, Jesús Martínez y Emilio Chuvieco

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un agente natural en el clima mediterráneo, sin embargo su repercusión en los últimos años está más allá de los ciclos naturales. Durante la última década ha aumentado la superficie quemada, no sólo por el incremento del número de incendios, sino también, por la mayor cantidad de biomasa acumulada en los bosques que facilita la propagación del frente de llama.

Para actuar con la mayor rapidez posible contra los incendios forestales, y realizar estudios sobre los patrones de ocurrencia de los mismos, se hace necesario conocer la localización de los focos de ignición. Con este fin se han desarrollado diferentes técnicas entre las que destaca el empleo de la teledetección espacial (Ahern et al., 2001).

En este marco, varios autores han abordado la detección de incendios activos a partir de imágenes de satélite, principalmente a escala regional y global (Ahern et al., 2001). La base física para reconocer un incendio activo se centra en la alta emitancia que presenta un foco muy caliente en el infrarrojo medio (especialmente entre 3 y 5 μm), a consecuencia de la ley de Wien. Numerosos proyectos se han basado en imágenes de esta banda del espectro para la detección de focos de incendio activos. Hasta hace unos años, el sensor más empleado ha sido sin duda el AVHRR (Cracknell, 1997), a bordo de la serie de satélites NOAA. Este sensor, operativo desde 1979, cuenta con una banda de observación en torno a 3.7 μm que se ha utilizado extensivamente para cartografiar incendios activos, si bien estaba diseñada con otro propósito, lo que la hace saturarse con facilidad (Martín et al., 1999). Trabajando en una banda algo más corta, los sensores ATSR y AATSR a bordo de los satélites europeos ERS y Envisat también se han utilizado para detección de incendios activos, de cara a evaluar el impacto del fuego a escala planetaria (Ariño y Melinotte, 1998). Con otro enfoque complementario, los datos nocturnos del satélite DMSP también han ofrecido una información de gran interés sobre incendios activos, aunque en este caso se observa no el calor, sino la luz desprendida por estos eventos (Elvidge, 2001). Más recientemente, el sensor MODIS se está empleando globalmente con esta misma finalidad, gracias a disponer de varios canales en el infrarrojo medio y térmico. Entre los productos estándar de este sensor se cuenta uno dedicado específicamente a incendios activos (Justice et al., 2002), que se está utilizando en numerosos estudios de escala global. Los satélites geoestacionarios también resultan de gran potencial en esta aplicación, gracias a su alta frecuencia de observación. Los GOES han incluido un canal en el infrarrojo medio desde hace más de una década, lo que ha permitido su utilización en la detección de incendios en América (Prins y Menzel, 1992). El lanzamiento del Meteosat de Segunda Generación abre nuevas posibilidades para esta aplicación, ya que cuenta con varios canales en el infrarrojo medio y ofrece alta sensibilidad radiométrica (Pereira y Go-

vaerts, 2001). Finalmente, resulta imprescindible citar las misiones específicas de detección de incendios que se han propuesto en los últimos años, singularmente el programa Fuego-Sat y el BIRD (Martínez et al., 2000), aunque ninguna es todavía operativa.

OBJETIVOS

Este artículo tiene por objetivo evaluar la fiabilidad de dos productos de detección de incendios activos, que se generan de modo operativo y a escala planetaria por los sensores MODIS y AATSR. Con este fin, se han tomado como referencia las estadísticas oficiales de la Dirección General de Biodiversidad (DGB), organismo dedicado a la gestión de incendios forestales, dentro del Ministerio de Medio Ambiente. Por último, se compararán los resultados obtenidos por ambos sensores para determinar el de mayor fiabilidad.

METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo se ha basado en tres etapas. En la primera se han obtenido los productos de incendios activos de los sensores AATSR y MODIS, procediéndose a su espacialización y ajuste a un formato común. En la segunda etapa, se han tratado las estadísticas de incendios facilitadas por la DGB atendiendo a diferentes tamaños de incendio. La validación de los productos de ambos sensores se ha abordado a través del cálculo de una matriz de confusión tomando como datos de referencia los extraídos de las estadísticas oficiales, y finalmente, se ha determinado cuál de los dos ofrece mayor exactitud.

En este estudio, desarrollado para el territorio peninsular y Baleares, se han establecido tres escalas temporales de trabajo: semanal, estacional y anual. El análisis anual ha sido referido al año 2003. Para realizar el estudio a escala estacional, se ha prestado especial atención a la estación de incendios, considerando los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre. Por último, se ha llevado a cabo un estudio pormenorizado de la temporada de incendios considerando la escala semanal. Debido a las características del producto MODIS de reflectividad utilizado, se consideran como «semanas» periodos de 8 días de duración.

1. Adquisición y tratamiento de los productos de incendios activos

Sensor AATSR

Los datos para este trabajo se han extraído de dos productos operativos que se calculan diariamente a escala planetaria. El primero de ellos se denomina ATSR World Fire Atlas (<http://dup.esrin.esa.int/ionia/wfa/index.asp>). Se trata de una serie temporal que recoge los incendios activos detectados por los sensores ATSR-2 (*Along Track Scanning*

Radiometer), a bordo del ERS-2, desde 1995 hasta 2002, y del AATSR (*Advanced Along Track Scanning Radiometer*), instalado en el Envisat, desde el 2003 hasta la actualidad. Para este trabajo, hemos empleado la serie disponible para el año 2003, que se basa en datos AATSR. Éste adquiere imágenes en 7 bandas espectrales (centradas en 0.55, 0.66, 0.87, 1.6, 3.7, 11 y 12 μm), en dos ángulos (vertical y hacia delante), con una resolución en el nadir de 1 km, y de hasta 1-5x2 km en la visión delantera (<http://envisat.esa.int/instruments/aatsr/>). La detección de incendios activos a partir de este sensor se hace únicamente a partir de las imágenes nocturnas, empleando dos algoritmos basados en umbrales sobre la banda de 3.7 μm . La detección teórica que estiman los autores está en incendios de 0,1 Ha cuando están a una temperatura próxima a los 600K, y de 0,01 Ha cuando alcanzan los 800K, considerando una temperatura de fondo de 300K. Las limitaciones de estos algoritmos se relacionan con la presencia de nubes; los efectos atmosféricos; la bidireccionalidad del algoritmo de emisividad; y que la temperatura y la extensión del fuego no están considerados en el proceso. Al considerarse únicamente los incendios nocturnos se evitan posibles confusiones con suelos calientes, pero se reduce la detectabilidad de los fuegos de ciclo corto. Para este proyecto hemos seleccionado los productos derivados del algoritmo 1, que retiene únicamente los píxeles que alcanzan el nivel de saturación del sensor (312 K).

Una vez descargados los datos en formato ASCII correspondientes a 2003, a partir del servidor del ATSR World Fire Atlas, se procedió a seleccionar los correspondientes a la Península Ibérica y Baleares mediante una base de datos relacional. Posteriormente, se importaron a un Sistema de Información Geográfica (Arcview) para referenciarlos a una proyección común con los datos MODIS y las estadísticas de la DGB. Los datos se agruparon por semanas de ocho días para facilitar la comparación con el producto estándar MODIS. En el año seleccionado, este sensor no detectó incendios en nuestro país para los meses de febrero, noviembre y diciembre.

Sensor MODIS

El segundo producto de detección de incendios que se ha utilizado para este proyecto es el generado operativamente a partir de datos del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Este sensor orbita en los satélites TERRA (1999) y AQUA (2001). El sensor MODIS tiene 36 canales, 2 con una resolución espacial de 250 m, cinco con una resolución de 500 m y el resto con una resolución de 1 km, que se sitúan entre unas longitudes de onda de 0.4 μm hasta 14.4 μm (Guenther et al., 2002; <http://MODIS.gsfc.nasa.gov/>). El producto que se ha empleado es el denominado MOD14A2, que recoge las anomalías térmicas

con resolución de 1 km² para un intervalo de 8 días. Este producto se genera utilizando las bandas de 4 y 11 μm , para la detección, y las bandas del visible e infrarrojo cercano (de mayor resolución) para determinar la cobertura de nubes (<http://modis-fire.umd.edu/>). El algoritmo empleado se basa en una secuencia de umbrales múltiples y criterios de contexto, y funciona tanto de día como de noche (Giglio et al., 2003).

Una vez obtenido el producto del servidor de Internet del programa MODIS, se realizó un mosaico de las imágenes a partir de cuatro bloques (tiles) estándar, con objeto de completar la superficie de la Península y Baleares. Posteriormente, se re proyectó la imagen a proyección UTM 30 (Datum Europeo 1950), para superponer los datos con la cuadrícula de la DGB, empleada para referenciar incendios.

2. Adquisición y tratamiento de estadísticas de incendio

Se realizó una petición a la DGB para obtener los partes informatizados de incendios acaecidos en el año 2003, lo que suponía procesar 18.000 registros. A través de consultas en una base de datos relacional, se resumieron las variables que incluían estos registros extrayendo las que resultaban de utilidad para este proyecto. La unidad de referencia para la DGB es la cuadrícula de la rejilla UTM de 10x10 km, lo que supone el nivel de referencia más detallado que podemos utilizar para comparar con los incendios extraídos de las imágenes.

A partir de la base de datos de partes de incendio, se contabilizó el número de incendios iniciados para cada una de esas cuadrículas, distinguiendo entre cuatro tamaños de incendios: de 0 a 5 has, de 5 a 100 has, de 100 a 500 has y mayores de 500 has. Estas clases nos permitirían evaluar si la detección de incendios realizada a partir de satélite ofrecía resultados significativamente distintos en función del tamaño del incendio. A priori sería lógico pensar que a mayor tamaño de incendio, aumentaría la probabilidad de su detección. Sin embargo, esto no es tan evidente si se tiene en cuenta que el satélite sólo detecta la situación del incendio cuando es observado por el sensor. Por tanto, sólo se refiere al tamaño del foco activo en un determinado momento de su evolución y no a la superficie quemada.

Las estadísticas por cada cuadrícula 10x10 km se agruparon también en periodos de 8 días, para facilitar la comparación con los productos de satélite. Lamentablemente, no es posible identificar qué incendios MODIS o AATSR se corresponden con cada registro de la DGB, ya que no se indican coordenadas exactas, sino sólo la cuadrícula donde se ubica.

En resumen, se disponía de varios campos binarios (0/1), estableciendo la ausencia o presencia de incendio para cada cuadrícula, periodo temporal y tamaño de incendio.

3. Validación y comparación de los productos

Validación para todos los incendios

Se han considerado como «incendios observados» los recogidos en la base de datos de la DGB y como «incendios detectados» los correspondientes a los obtenidos a partir de los productos MODIS y AATSR. Para ambos productos se ha realizado la espacialización de los focos activos a la cuadrícula de 10x10 km de la DGB, tomada como unidad de referencia.

Los resultados han sido obtenidos a partir de una tabulación cruzada (Tabla 1) entre las cuadrículas que cuentan con incendios detectados (o no), por los sensores, y las que tienen incendios observados (o no), por la DGB. A partir de esa comparación, se identificaron las cuadrículas de la rejilla UTM de 10x10 km que contaban con incendios detectados y observados o no detectados y no observados (aciertos), detectados y no observados (errores de comisión), y no detectados y observados (omisión). Considerando la limitación espacial de la base de datos de la DGB, es preciso interpretar con cautela tanto los errores de omisión como los de comisión. Al no saber exactamente si cada píxel detectado como incendio corresponde a uno o a varios incendios reales, se considera omisión aquella cuadrícula con incendio observado que no tienen ningún incendio detectado. Por otro lado, la comisión será la correspondiente a las cuadrículas en las cuales se han detectado incendios pero no han sido observados por la DGB, lo que puede ser consecuencia tanto de ruidos en la detección, como de problemas en la georeferenciación de las imágenes que incluyen ambos productos.

La notación de la fiabilidad total de la tabla de cruce entre los datos de la DGB y los detectados por satélite, puede expresarse de la siguiente forma:

$$\hat{F} = \frac{\sum_{i=1,n} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}} \quad (1)$$

donde X_{ij} indica el acuerdo entre la detección por satélite y la observación por la DGB. Los errores de omisión y de comisión se formulan como:

$$E_{o,i} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}} \quad (2)$$

$$E_{c,i} = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \quad (3)$$

donde X_{+i} indica el total de incendios observados por la DGB y X_{i+} el total de los detectados en las imágenes AATSR o MODIS. En este caso, estaríamos validando el error asociado a la detección. Otra cosa sería analizar el error asociado a la ausencia de detección, comparando los no detectados en las imágenes con los observados o no observados por la DGB. Lógicamente, en este segundo caso, los errores serían inferiores a los de la detección, ya que el fenómeno no incendio es mucho más frecuente que el fenómeno incendio.

En cuanto a la escala anual se ha realizado sin considerar el tamaño del incendio. Para el análisis estacional y semanal se han considerado las escalas de tamaño comentadas anteriormente, pero debido a la limitación de espacio existente, dichos mapas no se presentan en esta publicación.

Por último, además de los resultados numéricos obtenidos a partir de las tabulaciones cruzadas, se han construido mapas que representan los resultados de cruce entre cuadrículas.

Validación en función del tamaño de incendio

En los productos derivados de las imágenes, cuando se están validando todos los incendios pueden estimarse tanto los errores de omisión como los de comisión. Sin embargo, cuando se consideran los incendios por tamaños, sólo se puede estimar los errores de omisión, ya que los productos derivados de las imágenes son binarios, incendio-no incendio, y por tanto no nos informan sobre el tamaño del incendio. En consecuencia, no se podría saber si un incendio hipotéticamente considerado como error de comisión para una determinada clase de tamaño de incendio, podría estar detectado en otra categoría de tamaño.

Análisis de los patrones de ocurrencia

Puesto que estos sensores son de escala global, un último aspecto a considerar en nuestro análisis sería si los patrones espaciales de ocurrencia son similares a los detectados mediante estos sensores. En otras palabras, se trataría de comprobar si la distribución espacial de las cuadrículas con incendios detectados por AATSR o MODIS tiene un gra-

TABLA 1: Matriz de validación empleada

		DGB		
		OBSERVADO	NO OBSERVADO	
AATSR o MODIS	DETECTADO	11 (ii)	10 (ji)	i+
	NO DETECTADO	01 (ij)	00 (jj)	j+
		+i	+j	TOTAL

do aceptable de concordancia con las registradas por las estadísticas oficiales y, en consecuencia, si podrían utilizarse esos datos para obtener una visión global de las áreas más afectadas por incendios. Una manera de comprobar esta hipótesis sería calcular el grado de acuerdo entre detecciones reales y extraídas de los datos AATSR y MODIS, empleando el estadístico kappa (k). Este índice se utiliza habitualmente para indicar el grado de fiabilidad entre los resultados de una clasificación y la verdad terreno. En el ámbito del presente artículo, indica si el acuerdo observado en la distribución espacial de la detección es significativamente mejor que el que puede obtenerse al azar y también si hay diferencias significativas entre ambos sensores. El estadístico k se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Hudson y Ramn, 1987):

$$\hat{k} = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}$$

donde n sería el tamaño de la muestra, X_{ii} el acuerdo observado, y el producto de los marginales (X_{i+} , X_{+i}) el acuerdo esperado en cada categoría i . Para calcular la significación del estadístico, se ha utilizado la siguiente fórmula (Skidmore, 1989):

$$z = \frac{|\hat{k}_1 - \hat{k}_2|}{\sqrt{\sigma_{k1}^2 + \sigma_{k2}^2}}$$

Donde la varianza de k se obtiene a partir de Congalton y Mead (1983).

RESULTADOS

1. Resultados para todos los incendios

Análisis anual

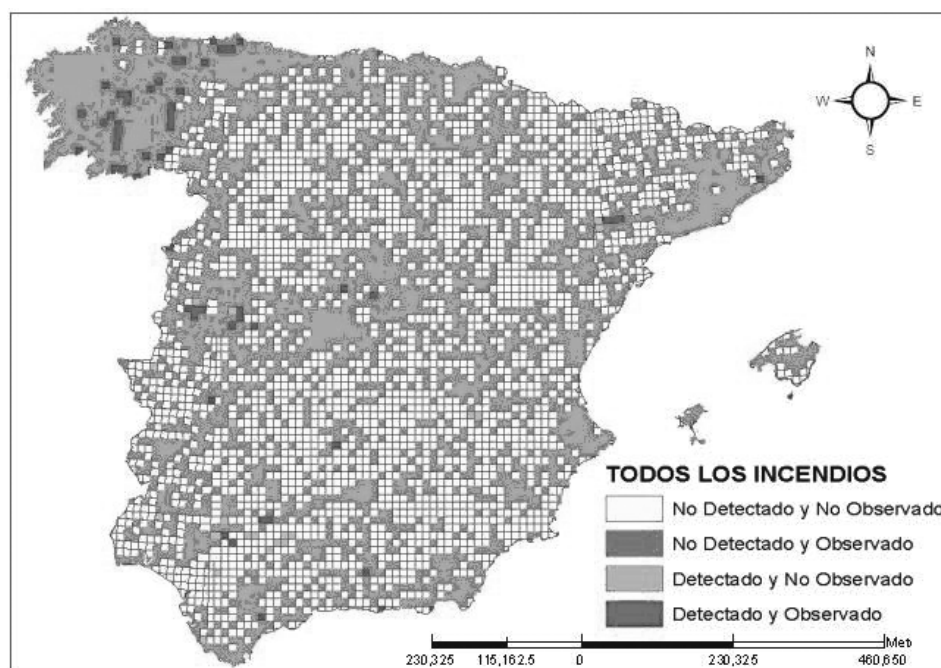
De las 5265 teselas de 10x10 km que cubren la España peninsular y Baleares, en el año 2003 se registraron incendios en 2686, considerando todos los tamaños y meses del año, lo que supone que algo más de la mitad del territorio nacional tuvo, en sus alrededores, algún fuego en algún momento del año (Figuras 1 y 2). Únicamente las zonas agrarias extensivas de la Meseta Norte y Sur, Valle del Guadalquivir y Depresión del Ebro, así como algunas sierras más elevadas y/o inaccesibles fueron exentas de incendios.

Sin embargo, de las 2686 teselas en las cuales se registraron incendios en el año 2003, sólo 59 fueron seleccionadas por los incendios detectados por el sensor AATSR, y 562 se identificaron a partir del sensor MODIS. En ambos casos, estos datos se refieren a teselas que se quemaron al menos una vez en el periodo de estudio, aunque puede ocurrir que tuvieran varios incendios en otros meses (dado el tamaño de estas teselas, esto es muy probable en las zonas de mayor ocurrencia, pues el total de incendios en el país superó los 18.600 en el año 2003). Las teselas con acierto (en la detección o en la no detección), implican que se observa al menos un incendio en esa tesela.

ERROR DE OMISIÓN

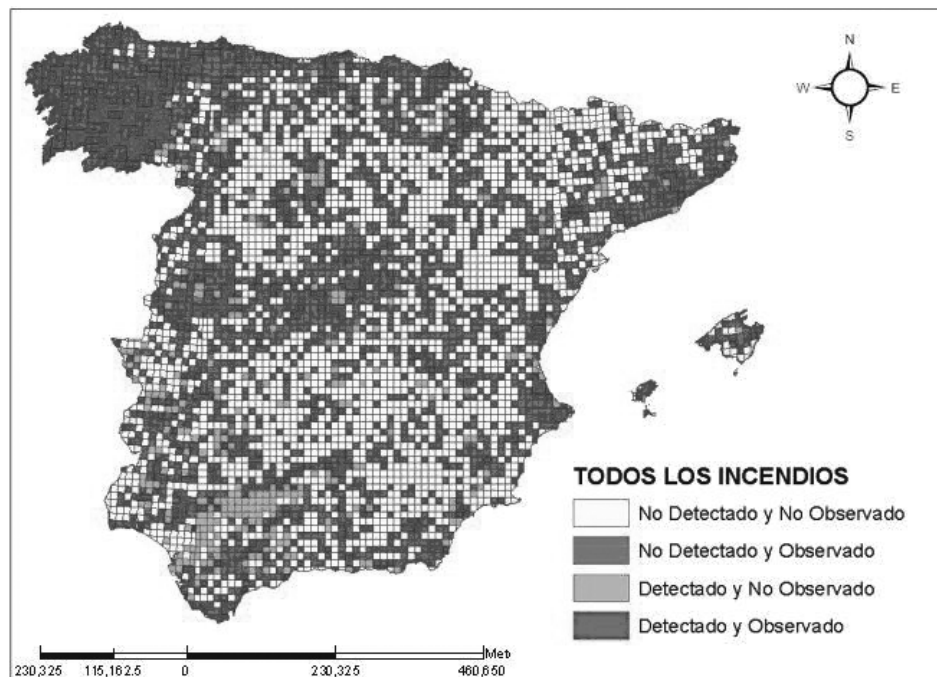
A partir de estas premisas, podemos calcular un error global de omisión para AATSR cercano al 98%, mientras MO-

FIGURA 1: Mapa anual de todos los incendios del sensor AATSR para el año 2003.



Patricia Oliva, Sara Jurdao, Jesús Martínez y Emilio Chuvieco

FIGURA 2. Mapa anual de todos los incendios del sensor MODIS para el año 2003.



DIS lo reduce a algo menos del 80%. Como venimos indicando a lo largo de este trabajo, estos errores se refieren no a incendios concretos, sino a al número de teselas que cubren el área de estudio.

ERROR DE COMISIÓN

Las estimaciones de los errores de comisión son mucho más confiables al indicar las teselas señaladas como incendio por alguno de los dos sensores en algún periodo del mes, pero que no han sido observados como incendio por la DGB en ningún periodo del mes. Por tanto, estamos bastante seguros que se trata de detecciones incorrectas. En este caso, la tasa de error es ligeramente superior en MODIS, con un 34%, frente al 27% del AATSR. Esto parece razonable, ya que AATSR sólo detecta incendios por la noche, en donde las posibles confusiones de focos activos con suelos descubiertos, reflejos especulares o bordes de nubes tienden a reducirse mucho.

2. Resultados en función del tamaño de incendio

Análisis estacional

En el estudio desarrollado para la temporada de incendios, se observa una mejor discriminación de las teselas que han albergado los incendios más grandes (figura 3), si bien la mejora es mucho más significativa para MODIS que para AATSR. El primero ofrece valores de detección correcta cercanos al 60% para las teselas con incendios mayores a 500

hectáreas, mientras se sitúa en torno al 20% para los menores a 5 hectáreas. Al igual que en el caso anterior, estos porcentajes se refieren a proporción de teselas en las que la detección y la observación coinciden.

Análisis semanal

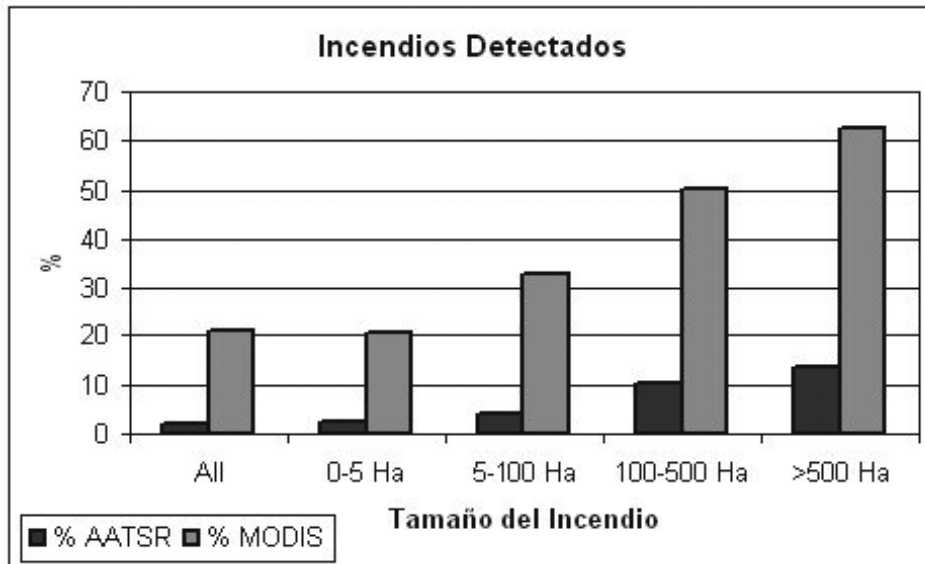
Tras el análisis estacional, se ha profundizado la comparativa entre incendios detectados y observados en los periodos de ocho días desde junio hasta septiembre, cuando se produce el 70 % de los incendios del año.

La figura 4 incluye el total de teselas que en cada periodo de ocho días incluyen algún incendio detectado por MODIS o AATSR. Como puede observarse, la detección con MODIS es mucho más detallada, frente al AATSR que resulta bastante conservador, al no detectar ningún incendio en algunos periodos de inicio de junio y julio, lo que se relaciona de nuevo con su exclusiva actividad nocturna, y con el umbral de saturación que es relativamente alto.

SENSOR AATSR

En cuanto al análisis de errores, AATSR (figura 5) muestra una tasa de omisión muy elevada, con valores superiores al 98% en todos los periodos del estudio. Conviene remarcar de nuevo que se trata de omisión en las teselas en donde hay incendios detectados en los ocho días del periodo, no de incendios propiamente dichos. Aunque la proporción puede estimarse que sería similar, no tenemos datos para comprobarlo. Si consideramos sólo las teselas con incendios obser-

FIGURA 3. Proporción de cuadrículas con incendios correctamente detectados para distintos tamaños de área quemada en la estación de incendios.



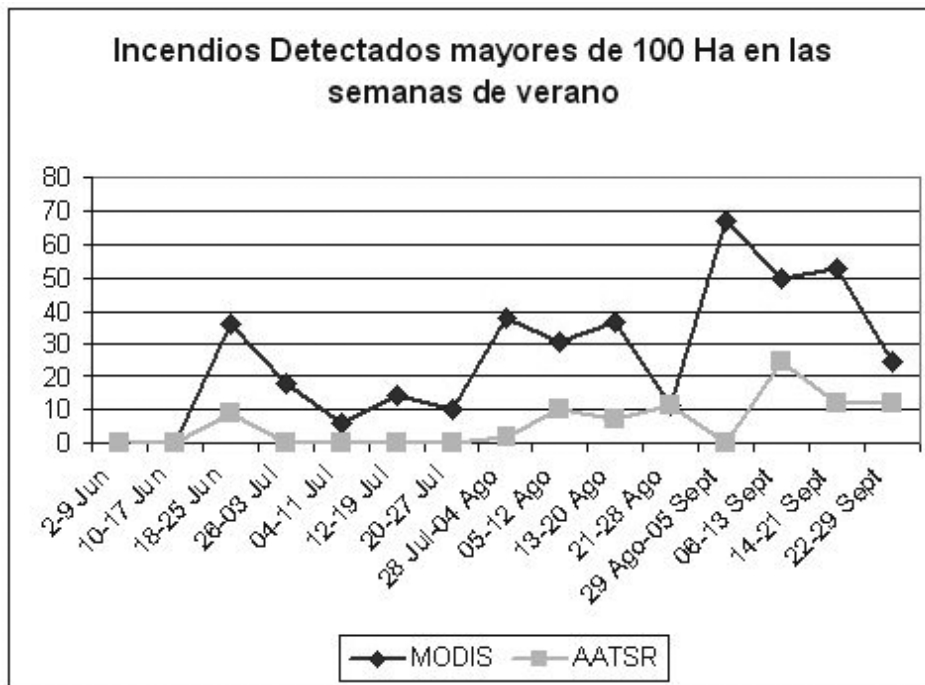
vados mayores de 100 hectáreas, la omisión desciende ligeramente, especialmente en las semanas centrales del verano, donde se alcanzan valores próximos al 90% de error. En cuanto al error de comisión, muestra valores mucho más bajos, confirmando el carácter conservador del AATSR al realizar una detección nocturna (discrimina menos incendios, pero de modo más seguro que MODIS). Pueden aparecer esporádicamente errores de comisión muy altos cuando el nú-

mero de incendios detectados es bajo, como ocurre al inicio del mes de septiembre, pero en general las falsas alarmas de este sensor son relativamente bajas.

SENSOR MODIS

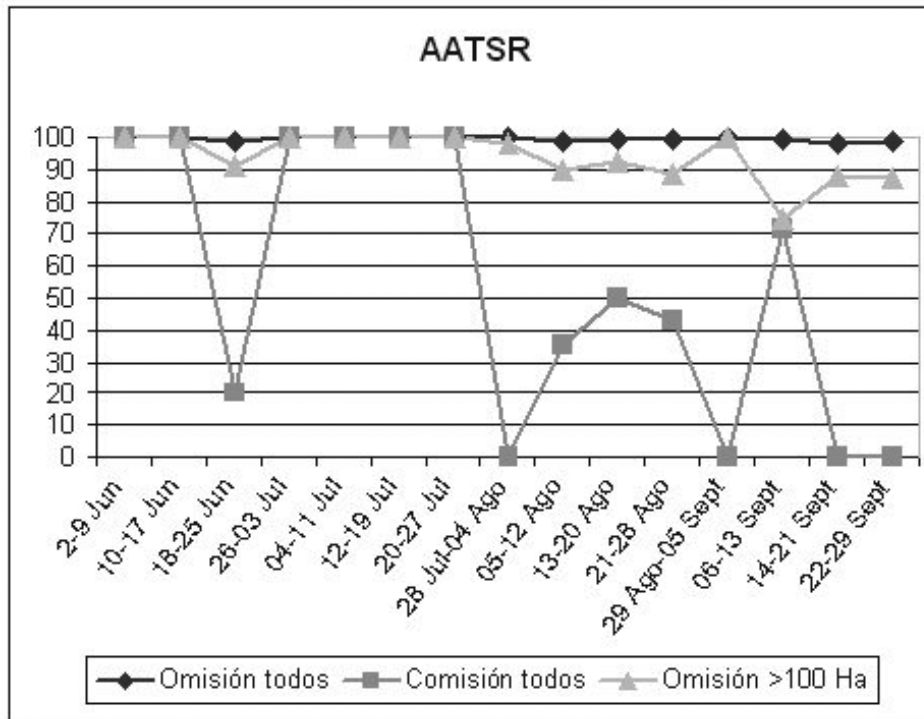
El sensor MODIS (figura 6) muestra errores de omisión mucho más pequeños que el AATSR, especialmente cuando

FIGURA 4. Proporción de cuadrículas con incendios detectados por MODIS y AATSR en las semanas de la temporada de incendios.



Patricia Oliva, Sara Jurdao, Jesús Martínez y Emilio Chuvieco

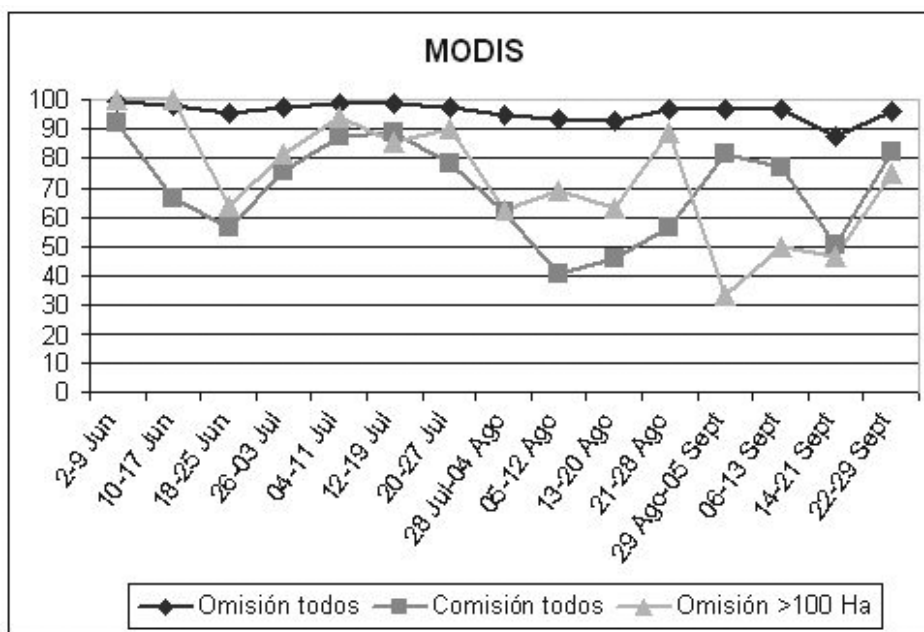
FIGURA 5: Errores de omisión y comisión para AATSR en las semanas de verano.



nos referimos a los incendios más grandes, en donde se alcanzan tasas de error de omisión cercanas al 30 % en algunos periodos del verano, aunque son bastante fluctuantes. En cuanto a los errores de comisión, son más altos que para el AATSR (promedio 70% para MODIS y 30% para AATSR). Estos errores siguen el mismo patrón que los de omisión para los incendios > 100 hectáreas, presentando los valores más

bajos durante el mes de agosto. Entendemos que buena parte de estos errores, tal y como se observa en la figura 2, se relacionan con quemas agrícolas de fin de temporada, por lo que no aparecen en las estadísticas oficiales de la DGB. No obstante, esos casos no pueden considerarse propiamente como falsas alarmas, ya que se trataría de incendios reales. Resulta muy complicado, con la información que se dispone

FIGURA 6: Errores de omisión y comisión para MODIS en las semanas de verano.



poder calcular qué proporción de los errores de comisión corresponde a este tipo de situaciones.

3. Análisis de los patrones de ocurrencia

La distribución espacial de los datos muestra las zonas del país en las que la detección con los dos sensores es más acertada y aquellas en las que se observan errores sistemáticos (figuras 1 y 2). A partir de los datos AATSR (figura 1) se puede observar una mayor acumulación de incendios detectados en la región noroccidental de la península (Galicia), con algunos puntos aislados en Cataluña y Andalucía. Las falsas alarmas, se observan en los sectores orientales, especialmente en Andalucía y Valencia. En cuanto a las detecciones realizadas a partir de imágenes MODIS (figura 2), se observa un número mucho mayor de zonas detectadas, respecto al AATSR, aunque también aumentan notablemente los errores de comisión. Siguen predominando las zonas detectadas en el interior de Galicia, Sistema Central y puntos aislados de la costa catalana y valenciana, Sierra Morena y sur de Málaga y Cádiz. Las falsas alarmas están bastante concentradas en el Valle del Guadalquivir, lo que hace pensar que se trata de quemadas agrícolas. También aparecen otros puntos más dispersos en el interior de Cataluña, Extremadura y centro de las dos Castillas, que pueden también obedecer a este factor, pero resulta más problemático de comprobar.

En cuanto a la capacidad de los datos MODIS o AATSR para inferir patrones geográficos de ocurrencia para todos los incendios, se destaca que los valores k de acuerdo entre teselas observadas y detectadas son generalmente bajos, cercanos al 0.10, lo que indica una tasa de concordancia bastante baja. Sin embargo, MODIS presenta un grado de acuerdo espacial mucho más nítido que el AATSR cuando consideramos los incendios más grandes (>100 has), con valores k superiores al 0.6 para MODIS y en torno al 0.2 para AATSR.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de este análisis espacio-temporal entre incendios detectados mediante los sensores MODIS y AATSR, para el año 2003, podemos concluir que ambos sensores presentan un elevado error de omisión, con valores superiores al 90% cuando se consideran todos los incendios. La omisión es menor cuando consideramos únicamente los incendios más grandes. Entre los dos sensores utilizados, MODIS es mucho más sensible al detectar focos activos, debido a que el valor mínimo de omisión se sitúa en torno al 80% para AATSR y en torno al 40% para MODIS. En cuanto a los errores de comisión, AATSR es más fiable para eliminar falsas alarmas, al trabajar exclusivamente con imágenes nocturnas. MODIS presenta errores de comisión relativamente altos, especialmente en algunas semanas de verano, en donde pueden producirse confusiones con quemadas agrícolas, o bien con suelos

muy calientes o superficies especulares. En el primer caso, no podrían propiamente clasificarse como errores de comisión ya que se trataría de incendios activos en realidad, pero no están registrados en las estadísticas oficiales de incendios. Si se consiguiera identificar los incendios relativos a quemadas de rastrojos, por ejemplo a partir de un mapa actualizado de la cobertura del suelo, esto permitiría ajustar mucho mejor los errores de comisión.

En el cómputo total del análisis temporal en cuestión, puede haber coincidencias entre detectado y observado dentro de la misma tesela. Sin embargo, es preciso interpretar los resultados con cautela, ya que en cada tesela en la que el sensor haya detectado la presencia de un foco activo, ha podido haber muchos más incendios que no hayan sido detectados. Asimismo, al acumular los incendios ocurridos en determinados periodos de tiempo (análisis anual, estacional y semanal), puede suceder que en una tesela en la que haya habido concordancia en la detección, se estén escondiendo falsas detecciones (errores de comisión).

En resumen, podemos afirmar que la tasa de detección de incendios que realiza el sensor MODIS y el sensor AATSR es bastante discreta, respecto a los detectados con los métodos convencionales (observación de terreno, principalmente). Teniendo en cuenta todos los tamaños de incendio, no parece razonable basarse en datos de estos sensores para realizar una estadística fiable de áreas afectadas por incendios, al menos en lo que se refiere a los productos de incendios activos.

En cuanto al análisis de los patrones de ocurrencia, se puede observar que los datos derivados del sensor MODIS (figura 2), para incendios grandes y en valores acumulados anuales, ofrecen una representación territorial mucho más ajustada a la incidencia real de los incendios que los AATSR (figura 1). En este sentido se puede concluir que MODIS proporciona un acuerdo razonable con los patrones observados. Por lo que puede considerarse el valor acumulado anual como un buen muestreo de la distribución geográfica de la ocurrencia, lo que lleva a subrayar el interés del sensor MODIS para la realización de estudios sobre los patrones globales de ocurrencia.

REFERENCIAS

- AHERN, F. J., GOLDAMMER, J. G., et al., Eds. (2001). «Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a coordinated international effort». *The Hague, The Netherlands, SPB Academic Publishing*.
- ARINO, O. y MELINOTTE, J. M. (1998). «The 1993 Africa Fire Map». *International Journal of Remote Sensing* 19(11): 2019–2023.
- CHUVIECO, E., Ed. (1999). «Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin». *Berlin, Springer-Verlag*: 212
- CONGALTON, R. G. y MEAD, R. A. (1983). «A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49: 69–74.
- CRACKNELL, A. P. (1997). «The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)». *London, Taylor & Francis*

Patricia Oliva, Sara Jurdao, Jesús Martínez y Emilio Chuvieco

- ELVIDGE, C. D. (2001). «DMSP-OLS estimation of tropical forest area impacted by surface fires in Roraima, Brazil: 1995 versus 1998». *International Journal of Remote Sensing* 22(14): 2661-2673.
- GIGLIO, L., DESCLOITRES, J., et al. (2003). «An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS». *Remote Sensing of Environment* 87: 273-282.
- GUENTHER, B., XIONG, X., et al. (2002). «On-orbit performance of the Earth Observing System Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; first year of data». *Remote Sensing of Environment* 83(1-2): 16-30.
- HUDSON, W. D. y RAMN, C. W. (1987). «Correct formulation of the kappa coefficient of agreement». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 421-422.
- JUSTICE, C. O., GIGLIO, L., et al. (2002). «The MODIS fire products». *Remote Sensing of Environment* 83(1-2): 244-262.
- MARTÍN, M. P., CECCATO, P., et al. (1999). «Fire detection and fire growth monitoring using satellite data». *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. E. Chuvieco. Berlin, Springer-Verlag: 101-122.
- MARTÍNEZ, S., TOURNÉ, I., et al. (2000). «Programa FUEGO: Detección y seguimiento de incendios desde el espacio». *IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Iguazú*.
- PEREIRA, J. M. C. y GOVAERTS, Y. (2001). «Potential Fire Applications from MSG/SEVIRI Observations». *Darmstadt, Eumetsat*: 41.
- PRINS, E. M. y MENZEL, W. P. (1992). «Geostationary satellite detection of biomass burning in South America». *International Journal of Remote Sensing* 13: 2783-2799.
- SKIDMORE, A. K. (1989). «An expert system classifies eucalypt forest types using Thematic Mapper data and digital terrain model». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55: 1149-1464.