

Validación de productos globales de área quemada en la Península Ibérica

Validation of global burned area products in the Iberian Peninsula

M. Padilla y E. Chuvieco
padilla.marc@gmail.com

*Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
Calle Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, España.*

Recibido el 05 de febrero de 2009, aceptado el 10 de marzo de 2009

RESUMEN

El presente trabajo trata de la validación de dos productos globales de área quemada en la Península Ibérica mediante el uso de cartografía de referencia de mayor detalle entre los años 2001 y 2005. Los dos productos globales analizados son el L3JRC (producido por el Joint Research Center) y el GLOBCARBON (producido por la Agencia Espacial Europea). Ambos se han generado a partir de sensores de 1 km de resolución espacial. La cartografía de referencia utilizada en Portugal proviene del análisis digital de imágenes Landsat (30 m de resolución) y la utilizada en España proviene de imágenes MODIS (de 250 m de resolución). El análisis de la validación se realiza independientemente para los dos países y se calculan estadísticos de error de la tabulación cruzada entre el producto global y la considerada cartografía de referencia. Se observa un bajo acuerdo en los productos analizados en España. El mayor acuerdo observado es para el producto L3JRC en Portugal con un error de omisión de 0,51, un error de comisión de 0,38 y un valor de índice kappa de 0,49.

PALABRAS CLAVE: Producto global, validación, área quemada, verdad terreno, tabulación cruzada, teledetección.

ABSTRACT

This paper is focused on the validation of two global products of the burned area mapping. The validation has been carried on using more accurate regional data from the Iberian Peninsula between 2001 and 2005. The two global products are L3JRC (produced by the Joint Research Center) and GLOBCARBON (produced by the European Space Agency) both derived from 1 km resolution sensors. The Portuguese reference data comes from digital analysis of Landsat images (30 meters resolution) and the Spanish reference data comes from digital analysis of MODIS images (250 meters resolution). The analysis of the validation is done independently for the two countries and the statistical indices are calculated from the cross tabulation between the global products and the reference data. We observed a lower agreement in the global products analysed in Spain. The greatest agreement is observed for the L3JRC global product in Portugal with the omission error value of 0.51, commission error of 0.38 and kappa index value of 0.49.

KEYWORDS: Global product, validation, Burned area, reference data, cross tabulation, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década se ha subrayado el interés de contar con cartografía de áreas quemadas a escalas regionales y globales, considerando la importancia que las quemadas de biomasa tienen en el balance global de carbono (Conard *et al.*, 1997). Hasta el momento, hay dos proyectos internacionales que facilitan gratuitamente productos de cartografía de área quemada a escala global, que abarcan los últimos diez años. Se trata de GLOBCARBON (www.globcarbon.info; último acceso: 25 de junio de 2008) de la Agencia Espacial Europea, y del producto L3JRC (<http://www-tem.jrc.it/>; último acceso: 27 de junio de 2008) del *Joint Research Center*. No incluimos el producto de área quemada del sensor MODIS, por encontrarse en versión preliminar al inicio de este trabajo (MOD45A1 (<http://modis-fire.umd.edu/MCD45A1.asp>; último acceso: 25 de junio de 2008)).

Desde la comunidad científica usuaria de esta cartografía ha ido creciendo la necesidad de validar los nuevos productos, de cara a conocer su grado de fiabilidad para distintos ecosistemas. Diversos grupos de trabajo internacionales avanzan en esta línea de validación, que abarca también otros productos, como la cartografía de la cobertura del suelo, productividad o área foliar. Cabe destacar, en este sentido, el trabajo que se realiza en el programa GOF-C-GOLD (Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics), en el marco del GTOS (Global Terrestrial Observing System) de Naciones Unidas. Específicamente, en el marco de este programa trabaja un grupo dedicado a la validación de productos globales de ámbito terrestre, denominado Land Product Validation (LPV) dentro del Committee on Earth Observation Satellites (CEOS: <http://lpvs.gsfc.nasa.gov/>; último acceso: 12 de noviembre de 2008). Debido a la gran extensión espacial de los productos globales, el método más adecuado para validarlos pasa por compararlos con datos de mayor resolución (Boschetti, 2004b), que se consideran como referencia.

El objeto de este trabajo es facilitar una primera evaluación de dos productos de área quemada disponibles para la Península Ibérica, ambos de carácter global y de libre acceso. El periodo temporal analizado comprende de 2001 a 2005, ambos años inclusive. Es bien conocida la gran ocurrencia de incendios forestales en la Península Ibérica, por lo que estimamos resulta un espacio interesante para contrastar la calidad de estos productos globales. Se

pretende realizar una valoración cuantitativa del grado de concordancia de estos productos con la cartografía de área quemada de referencia, estimando los errores de omisión y comisión de los productos globales.

METODOLOGÍA

Productos Globales a validar

Los productos seleccionados para validar fueron el L3JRC y el GLOBCARBON, por ser los únicos que, en el momento de iniciar este trabajo, estaban disponibles para una serie temporal larga y coincidente con la de los datos de referencia. A continuación describimos cada uno de ellos.

L3JRC

El producto del Joint Research Center (JRC), referido como L3JRC, es una cartografía global de área quemada a 1 km de resolución espacial. Está disponible para siete años (del 2000 al 2007) y se puede descargar gratuitamente en la web del JRC (<http://www-tem.jrc.it/>). Utiliza un algoritmo simple para clasificar las áreas quemadas a partir de imágenes del sensor *SPOT Vegetation*. El algoritmo ha sido desarrollado por D. Ershov en el marco del proyecto Global Burnt Area (GBA) 2000 del JRC (Tansey *et al.*, 2007).

El pre-procesado inicial de las imágenes parte de la corrección geométrica de los datos brutos, su conversión a reflectividad y la creación de una serie de máscaras diarias para extraer del análisis las zonas cubiertas de nubes, nieve, humo y sombras del relieve. El principal algoritmo de discriminación de área quemada utiliza un índice temporal basado en el infrarrojo cercano (Tansey *et al.*, 2007):

$$I = \frac{SI_{NIR} - IC_{NIR}}{SI_{NIR} + IC_{NIR}}$$

donde

SI_{NIR} = Reflectividad del infrarrojo cercano (IRC) en la imagen diaria

IC_{NIR} = Reflectividad media del infrarrojo cercano para la serie temporal.

Se calcula la media y la desviación estándar del índice en una ventana móvil de 200 por 200 píxeles, ignorando todos los píxeles incluidos en las máscaras

ras. El píxel se asigna a quemado si el índice I tiene un valor menor a la media menos dos veces la desviación típica de la ventana regional (Tansey *et al.*, 2007). La clasificación resultante se procesa para excluir algunas sobreestimaciones. El post proceso se basa en eliminar áreas de agua y no combustibles a partir de la cobertura del suelo del producto Global Land Cover (GLC 2000, www.tem.jrc.it/glc2000/). Se asume que la temporada de incendios empieza el 1 de Abril y para un mismo año no se puede quemar la misma área más de una vez. Para cada año de incendios (p.ej. 2000-01: desde el 1 de Abril del 2000 al 31 de Marzo del 2001) se genera una capa *raster* donde cada píxel se etiqueta con el día del año en que se ha clasificado como quemado por primera vez (Tansey *et al.*, 2007). Puesto que en nuestro trabajo, tomamos como referencia el periodo 2001-2005, seleccionamos del *raster* 2000-01 las áreas quemadas entre el 1 de enero de 2001 y el 31 de marzo, los años completos 2001-02, 2002-03, 2003-04 y 2004-05 y los meses correspondientes a 2005 del archivo correspondiente a 2005-2006.

Globcarbon

El proyecto GLOBCARBON de la Agencia Espacial Europea (ESA) tiene por objetivo generar información de la evolución temporal de la cobertura de vegetación que sirva de fuente de datos del *Dynamic Global Vegetation Model*, dentro del proyecto IGBP-IHDP-WCRP del Global Carbon Cycle Joint Project. Entre estas variables de GLOBCARBON se encuentra la cartografía a escala global de área quemada (Burned Area Estimation, BAE), la fracción de radiación foto-sintéticamente activa (f_{APAR}), el índice de área foliar (LAI) y del ciclo del crecimiento de la vegetación (VGC). Estos productos están disponibles en la web de la ESA (www.globcarbon.info) para los últimos diez años (del 1998 al 2007) a 1 km² (utilizado en el presente estudio), a 10 km, 0.25 y 0.5 grados de resolución espacial de píxel (Plummer *et al.*, 2007).

Las imágenes utilizadas en el proyecto GLOBCARBON provienen de diferentes sensores. Para el producto de área quemada (BAE) se emplean los sensores ATSR-2 (del ERS-2), SPOT-Vegetation y AATSR (Envisat). Se realiza un pre-procesado de la imagen para descartar los píxeles no válidos afectados por nubes, sombras de nubes y nieve. Posteriormente se corrige el efecto atmosférico en la señal detectada por el satélite (Plummer *et al.*, 2007). Tras estas correcciones se aplica un algoritmo desarro-

llado previamente en el marco del proyecto GLOBS-CAR (GBS) y dos del proyecto GBA-2000: los propuestos por el Technical University of Lisbon (UTL) (Silva *et al.* 2002) y por el Russian International Forest Institute (IFI) (Ershov and Novik, 2001). El algoritmo del GLOBSCAR consta a su vez de dos partes: el K1 y el PBA. El PBA (Potential Burned Area) se basa en umbrales de reflectividad en el rojo, infrarrojo cercano (IRC) y térmico (IRT). El K1 se basa en la posición de los píxeles quemados en un gráfico con el IRC y el IRT en los ejes de coordenadas. Las áreas quemadas se caracterizan por la baja reflectividad en el IRC y la alta temperatura de brillo en el IRT. El valor devuelto por K1 es un indicador de la distancia espectral entre quemado y no quemado y se calcula para el píxel central de una ventana móvil (GEOSUCCESS, 2008). El algoritmo UTL se basa en los valores mínimos de IRC de cada mes y posteriormente aplica, según la región, una clasificación en árbol o un análisis discriminante (Tansey *et al.*, 2004). El algoritmo IFI se basa en los valores de la banda del infrarrojo cercano (IRC) y detecta los cambios bruscos en el tiempo. Estos tres algoritmos de área quemada son calculados de forma independiente y forman el producto mensual con información de la localización del incendio, su fecha (aaaammdd) y los algoritmos que lo han detectado (Plummer *et al.*, 2007). Para el periodo analizado, por lo tanto, hemos sumado todos los productos mensuales desde el mes de enero de 2001 hasta diciembre de 2005.

A partir de estos 3 algoritmos hemos generado dos más: COIN3 es el que toma en consideración las áreas quemadas que son coincidentes en los tres algoritmos del GLOBCARBON (GBS, UTL y IFI) y COIN2 es el que toma en consideración las áreas quemadas que son coincidentes al menos en dos de los tres algoritmos.

Como resumen de los productos globales de área quemada que se validarán en el presente trabajo se adjunta la tabla 1. Se validará el producto L3JRC y los cinco algoritmos derivados del producto GLOBCARBON (llamados CBS, UTL, IFI, COIN3 y COIN2 en las tablas 3 y 4).

Cartografía de referencia de área quemada

La cartografía de referencia tomada como verdad terreno proviene de dos fuentes diferentes. Para Portugal (sólo el territorio peninsular) se empleó la cartografía oficial de área quemada producida por la Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF) de

PRODUCTO	ORGANISMO RESPONSABLE	SENSOR	AÑOS
L3JRC	JRC	Vegetation	2001 - 2005
GLOBCARBON: algoritmos UTL IFI GBS COIN3 (coincidencia de 3 algoritmos) COIN2 (coincidencia de 2 algoritmos)	ESA	ATSR, AATSR, Vegetation	2001 - 2005

Tabla 1. Productos globales de área quemada validados

la administración portuguesa. Esta cartografía proviene del tratamiento digital de imágenes Landsat (30 m de resolución espacial) (descargado de <http://www.dgrf.min-agricultura.pt/portal/prevencao-a-incendiosdpci/informacoes/cartografia/areas-queimadas-entre-1990-e-2005-Landsat>; último acceso: 2 de junio de 2008). Las imágenes Landsat son ampliamente utilizadas como verdad terreno para cartografía de áreas quemadas (Plummer *et al.*, 2007; Roy, *et al.*, 2005).

Para el territorio peninsular español hemos utilizado la cartografía facilitada en formato shapefile por el European Forest Fire Information System (EFFIS, <http://effis.jrc.it/>; último acceso: 27 de junio de 2008) del Joint Research Center (JRC). Esta cartografía se obtiene a partir del procesado digital de imágenes MODIS, a 250 metros de resolución y está siendo utilizada para valoración de daños por varios servicios forestales europeos.

Lamentablemente, no existe en España cartografía de áreas quemadas de detalle equivalente a la portu-

guesa para todo el territorio nacional, si bien varias Comunidades autónomas realizan esta evaluación, ya sea con imágenes de satélite o con un levantamiento cartográfico del perímetro del incendio con GPS.

Preferimos no utilizarlas en este trabajo, para darle una mayor homogeneidad a la evaluación, comparando los datos a validar con una sola fuente de referencia que abarcara todo el territorio.

Métodos de Validación

Para la validación de cada producto global se realizó un análisis de la matriz de confusión mediante una tabulación cruzada entre cada producto global y la considerada como cartografía de referencia. Como es bien sabido, mediante la matriz de confusión se obtienen los errores de comisión (*Ec*) y de omisión (*Eo*) para el producto que interesa validar (Chuvieco, 2008). Los *Ec* indican asignaciones por exceso y los *Eo* por defecto.


		Cartografía de referencia			
		Quemado	No quemado	Total	Error de comisión
Producto global	Quemado	Área correctamente clasificada (ACC)	Área de comisión	Total clasificado como quemado (TCQ)	$1 - \frac{ACC}{TQ}$
	No quemado	Área de omisión			(Ejemplo)
	Total	Total quemado (TQ)			
	Error de omisión	$1 - \frac{ACC}{TQ}$			

Tabla 2. Matriz de confusión y definición de error de comisión y error de omisión

Por otro lado se calculó el índice estadístico kappa (k) que mide la diferencia entre el acuerdo observado y el que cabe esperar aleatoriamente. Un valor de k igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar (Chuvieco, 2008).

Se ha realizado una intersección vectorial debido a que la cartografía de referencia está en este formato y no es deseable convertirla a *raster* por la posible pérdida de precisión. El producto global a validar en formato *raster* se ha convertido a vectorial y posteriormente se ha reproyectado al sistema de coordenadas utilizado en este estudio (Universal Transverse Mercator con el European Datum 1950 y el huso 30 norte).

Estos dos pasos se han realizado en este orden porque se ha considerado más preciso reproyectar información vectorial (se reproyectan todos los vértices de cada polígono) que información *raster* (se reproyecta solamente un punto para cada píxel). Para el desarrollo de este proceso se ha utilizado el programa ArcGIS 9.2 (ESRI, 2007).

Debido a la gran diferencia de resolución espacial entre los productos globales (1000 m) y la verdad terreno (30 m en Portugal y 250 m en España), la interpretación de los errores de omisión y comisión se ha de realizar de forma cautelosa. Parte de esos errores serán causados directamente por la diferencia de resolución entre ambas fuentes de datos (Chuvieco, *et al.*, 2008b y Boschetti, 2004a).

Una alternativa a la tabulación cruzada es el empleo de la función de coste, inicialmente desarrollada en el marco de la teoría económica, que ha sido empleada por varios autores en la validación de productos de área quemada (Smits *et al.*, 1999 y Boschetti *et al.*, 2004a).

En este estudio, el coste expresaría la distancia a la situación ideal, identificada cuando los errores de comisión y omisión fueran iguales a cero. Se asume que el coste es función únicamente del Eo y Ec y sus valores se pueden mostrar en el sistema de coordenadas Eo/Ec mediante las curvas de indiferencia que gradúan el espacio bidimensional según la preferencia del usuario.

En el presente estudio se utiliza la función de coste hiperbólica utilizada en Boschetti (2004a).

$$C(x) = 1 - [(1 - Ec)^{\alpha} (1 - Eo)^{\beta}]$$

en este caso, α y β son iguales a 1, pues le damos la misma importancia a los errores de omisión y de comisión. Esta función de coste asume que (Boschetti, 2004a):

- el coste es función únicamente de Eo y Ec ,
- el coste va creciendo de forma equitativa con el incremento de Eo o Ec .

La figura 1 muestra un ejemplo de aplicar este concepto a la validación de diferentes productos globales. Las líneas continuas representan las isolíneas de coste. El producto A sería más preciso que el B por tener un valor de coste menor ($C(A) < C(B)$), como se puede ver en el gráfico se sitúa más cerca de una isolínea de coste menor.

RESULTADOS

El siguiente apartado se centrará en los resultados obtenidos de la tabulación cruzada entre los distintos productos globales y las dos cartografías de referencia¹ para el conjunto del período temporal estudiado (2001-2005).

En las figuras 2 y 3 se pueden observar los diagramas Eo/Ec para los errores extraídos de las matrices de confusión, el primer gráfico procedente del análisis en Portugal y el segundo de la España peninsular.

El eje de abscisas representa el error de omisión y el eje de ordenadas el de comisión en la discriminación del área quemada.

Cada punto representa el error de omisión y comisión calculado para cada producto global y los puntos más próximos al origen de coordenadas representarán los productos globales más próximos a los datos de referencia. Se incluyen asimismo las líneas de coste comentadas en el apartado anterior para valorar la idoneidad de cada producto.

¹Cabe destacar que por un error en la descarga de datos se ha quedado fuera del área de estudio el extremo sur de la Península (zona del Estrecho de Gibraltar). Debido a que la descarga del producto global GLOBCARBON no es de forma automática (tiempo de entrega 4-5 días) no se ha considerado oportuna su inclusión que por otra parte no influiría mucho en el resultado.

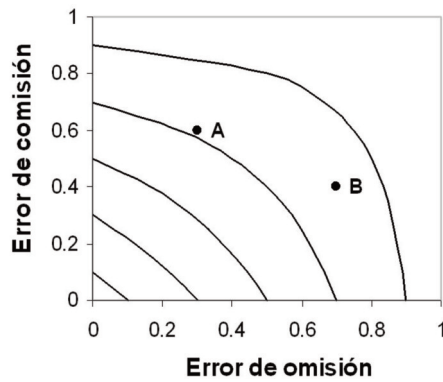


Figura 1. Ejemplo de validación de diferentes productos globales en un diagrama Eo/Ec con isólinas de coste (línea continua).

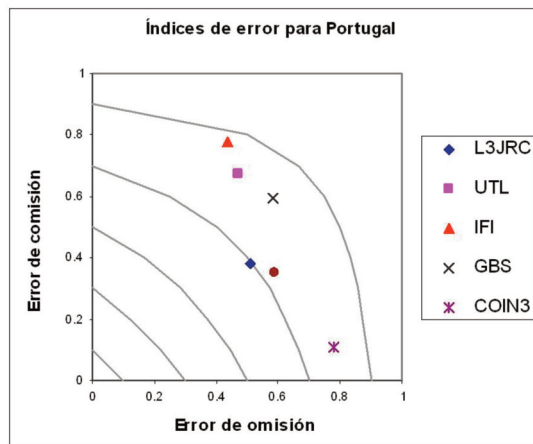


Figura 2. Diagrama las medidas error (E_o/E_c) para los distintos productos globales sobre Portugal. (COIN3 y COIN2 toman en consideración las áreas quemadas que son coincidentes en 3 o 2 algoritmos de GLOBCARBON, respectivamente). Se incluyen también las isólinas de coste (línea continua).

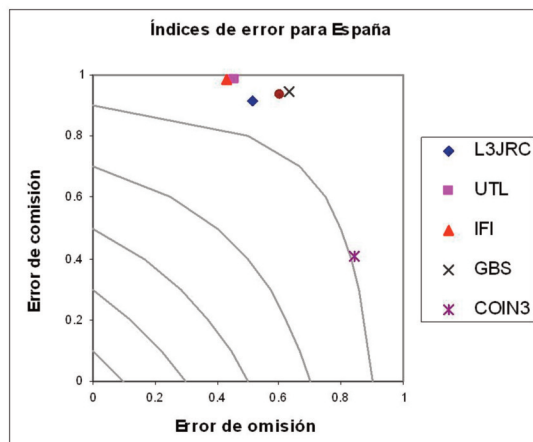


Figura 3. Diagrama las medidas error (E_o/E_c) para los distintos productos globales sobre España. (COIN3 y COIN2 toman en consideración las áreas quemadas que son coincidentes en 3 o 2 algoritmos de GLOBCARBON, respectivamente). Se incluyen también las isólinas de coste (línea continua).

Seguidamente se muestran las tablas 3 y 4 para exponer numéricamente los valores de error de comisión y omisión junto con el resultado del estadístico kappa.

Como se puede apreciar fácilmente los desacuerdos entre los productos globales y los de referencia son distintos en el territorio peninsular de España y Portugal.

Esta diferencia parece deberse a la cartografía de referencia que hemos empleado, siendo más precisa para Portugal (basada en imágenes Landsat de 30 m de resolución) que para España (basada en imágenes MODIS de 250 m de resolución). Esto afecta al tamaño mínimo del incendio que puede detectarse, así como a los errores de omisión de los productos globales. Cuanto más pequeño sea el incendio de la cartografía de referencia, más difícil será que esté incluido en el producto global. No sucede de la misma forma con los errores de comisión, que deberían ser más similares, puesto que se considera que el producto MODIS de 250 m debería identificar, al menos, cualquier incendio real que hubiera

sido detectado por el producto global de 1000 m. Finalmente, también puede ser un factor explicativo de la diferencia entre ambos países el tipo de fuegos, con mayor énfasis en incendios compactos para el caso Portugués, especialmente en la temporada de grandes incendios del 2003 y 2005.

La validación en Portugal muestra que el producto L3JRC es el más preciso porque presenta el menor valor de coste. Como se puede ver en el diagrama de la figura 2, es el que se sitúa en una isolínea de coste menor. Como se ha explicado en el apartado de metodología, el valor de coste va creciendo de forma equitativa con el incremento de E_o y E_c . Así, el producto L3JRC presenta los menores errores (en conjunto) de omisión y comisión con unos valores de 0,51 y 0,38 respectivamente y un índice kappa de 0,49. El mayor valor de coste se encuentra en el algoritmo IFI del GLOBCARBON con unos valores de 0,44 de error de omisión y de 0,78 de comisión y un índice kappa de 0,17. Para poder observar la distribución espacial de dichos errores en estos dos productos se adjunta la figura 4.

PORTUGAL	L3JRC	UTL	IFI	GBS	COIN3	COIN2
E_c	0.38	0.67	0.78	0.59	0.11	0.35
E_o	0.51	0.47	0.44	0.58	0.78	0.59
Índice kappa	0.49	0.3	0.17	0.33	0.32	0.45

Tabla 3. Medidas de error de la matriz de confusión para Portugal

ESPAÑA	L3JRC	UTL	IFI	GBS	COIN3	COIN2
E_c	0.92	0.98	0.99	0.94	0.41	0.94
E_o	0.52	0.46	0.43	0.63	0.85	0.6
Índice kappa	0.13	0.02	0.01	0.09	0.24	0.1

Tabla 4. Medidas de error de la matriz de confusión para España

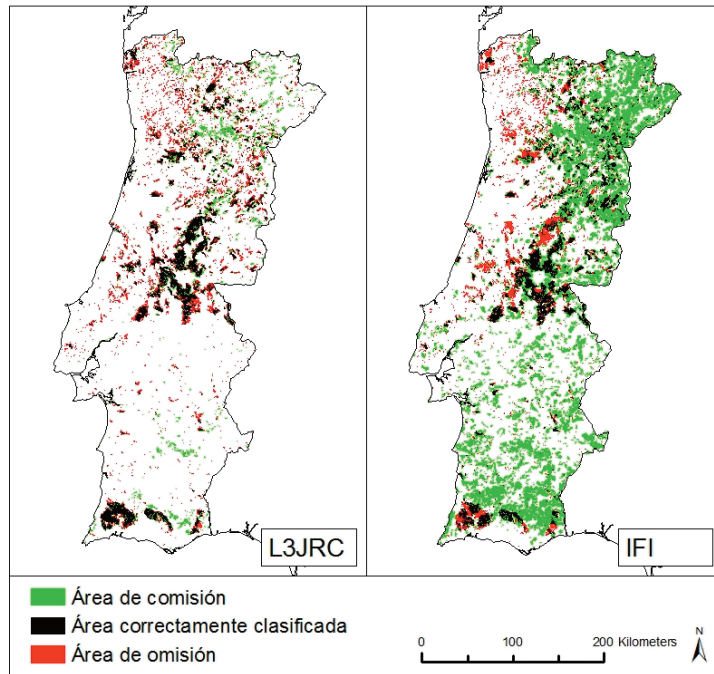


Figura 4. Tabulación cruzada para Portugal (período 2001-2005) del producto con menos errores (L3JRC, izquierda) y con más errores (IFI, derecha).

La validación en España muestra que el algoritmo COIN3 del GLOBCARBON es el producto con menor valor de coste, con errores de omisión y comisión de 0,85 y de 0,41 respectivamente y un índice kappa de 0,24. Como se ha mencionado anteriormente, COIN3 se refiere a la coincidencia de mínimo de 3 algoritmos del GLOBCARBON: IFI, UTL y GBS.

El algoritmo GBS del GLOBCARBON presenta el mayor valor de coste con unos valores de 0,63 de error de omisión y de 0,94 de comisión y un índice kappa de 0,09. En la figura 6 también se muestra la tabulación cruzada para España del producto L3JRC con fuertes errores de comisión, si bien en Portugal ofrece –como hemos comentado antes- buenos resultados.

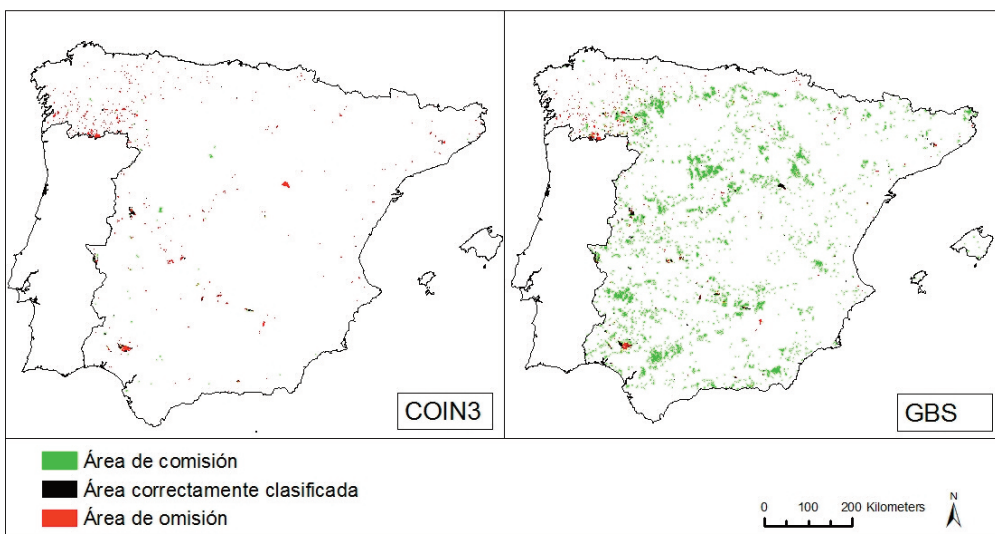


Figura 5. Tabulación cruzada para España (período 2001-2005) del producto con menos errores (COIN3, izquierda) y con más errores (GBS, derecha).

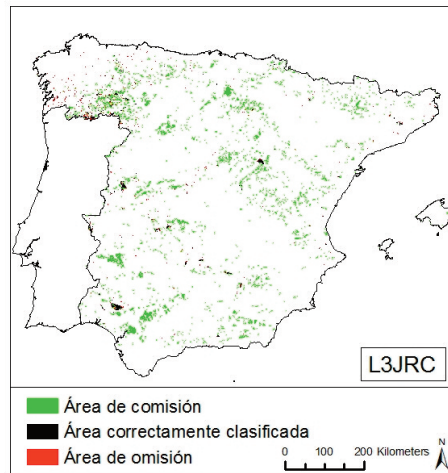


Figura 6. Tabulación cruzada para España (período 2001-2005) del producto L3JRC.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comparación de los resultados del presente estudio con los antecedentes permite afirmar que la precisión espacial de los productos globales de área quemada analizados aquí es menor que la cartografía analizada en otros estudios.

La tabla 5 muestra los valores de error de omisión y comisión encontrados en trabajos de creación de cartografía de área quemada a escala continental usando sensores de baja resolución espacial. En todos los casos se ha realizado la validación, como en el presente estudio, utilizando imágenes Landsat como verdad terreno en las zonas de muestreo.

El índice kappa (k) más alto de entre los productos analizados corresponde al L3JRC en Portugal con un valor de 0,49. Esto indica que la clasificación de área quemada del producto es un 49 % mejor de lo esperable al azar

Los valores más bajos del índice kappa encontrados corresponden a los productos IFI ($k = 0,01$) y UTL ($k = 0,02$) en España. Estos valores cercanos a 0 indicarían que el acuerdo entre el producto global y la cartografía de referencia son poco significativos.

La diferencia que presentan los errores cometidos por cada producto según se hayan calculado en España o en Portugal puede ser debida al uso de una

cartografía de referencia de distinta calidad, junto a la diferente ocurrencia de incendios de los dos países.

Las dimensiones más reducidas de los incendios en España para la serie temporal utilizada (2001 – 2005) dificultan su discriminación mediante sensores de baja resolución espacial.

Por otro lado, los elevados errores de comisión se podrían explicar por la presencia de ciertas coberturas del suelo que inducen a una sobreestimación del área quemada.

Un futuro estudio podría consistir en encontrar cuáles son estas coberturas del suelo conflictivas y descubrir dónde ha fallado el algoritmo.

Si nos centramos en los resultados del área de estudio de Portugal por ser más fiables podemos afirmar que el L3JRC es el producto más preciso por tener un valor de coste menor, es decir, los errores de omisión y comisión, en conjunto, más bajos.

El siguiente producto más preciso, que le sigue muy de cerca, es el COIN2 del producto GLOBCARBON. Cabe señalar la mayor precisión, aunque ligera, del algoritmo GBS frente del IFI encontrada en este estudio que contradice los resultados del estudio de validación del GLOBCARBON de Tansey y Leigh (2007b) donde se encuentran los mejores resultados con el algoritmo IFI en el continente europeo y también para un escenario global.

Estudios de cartografía de área quemada a escala continental	Validación			Referencia
	Cartografía de referencia	Error de omisión	Error de comisión	
MODIS en Latino América	Análisis visual de imágenes Landsat	0,47	0,63	Chuvieco, 2008b
NOAA-AVHRR en Canadá	Perímetros del Servicio Forestal	0,47 – 0,65	0,06 – 0,19	Chuvieco, 2008a
NOAA-AVHRR en Norte América	Perímetros del Servicio Forestal	0,40 – 0,75	0,18 – 0,32	Pu <i>et al.</i> , 2007

Tabla 5. Resultados de la validación de estudios de cartografía de área quemada a escala continental.

REFERENCIAS

- BOSCHETTI, L., FLASSE, F. y BRIVIO, P. A., 2004a. Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution thematic products: the Pareto Boundary. *Remote Sensing of Environment*, 91 (3- 4), pp. 280-292.
- BOSCHETTI, L., EVA, H., BRIVIO, P. A. y GALLEGO, J., 2004b. The validation protocol of GBA2000 global burned area maps. Paper presented at Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '04), Int. Electr. and Electr. Eng., Anchorage, Alaska.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J., OLSHEN, R., y STONE, C., 1984. Classification and Regression Trees. Wadsworth & Brooks, California.
- CHUVIECO, E., ENGLEFIELD, P., TRISHCHENKO, A. P. y LUO, Y., 2008a. Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA–AVHRR composite data. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2381 – 2396.
- CHUVIECO, E., OPAZO, S., SIONE, W., del VALLE, H., ANAYA, J. DI BELLA, C., CRUZ, I., MANZO, L., LÓPEZ, G., MARI, N., GONZÁLEZ-ALONSO, F., MORELLI, F., SETZER, A., CSISZAR, I., KANPANDEGI, J. A., BASTARRIKA, A. y LIBONATI, R., 2008b. Global Burned-land estimation in Latin America using MODIS composite data. *Ecological Applications*, 18, 1, 64-79.
- CHUVIECO, E., 2008. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Ariel. Barcelona, 3ª edición. ISBN 978-84-344-8072-8
- CONARD, S. G. y IVANOVA, G. A., 1997. Wildfire in Russian Boreal Forests – Potential Impacts of Fire Regime Characteristics on Emissions and Global Carbon Balance Estimates. *Environmental Pollution*, 98, 3, 305-313.
- DGRF (DIRECÇÃO GERAL DOS RECURSOS FLORESTAIS), 2008. Áreas quemadas entre 1990 e 2005 (Landsat). <http://www.dgrf.min-agricultura.pt/portal/prevencao-a-incendiosdpci/informacoes/cartografia/areas-queimadas-entre-1990-e-2005-Landsat>. (Último acceso a 2 de junio de 2008)
- ERSHOV, D.V. y NOVIK, V.P., 2001. Features of burnt area mapping in forest of Siberia using SPOT S1-VGT data. In Proceedings of the GFC Fire Satellite Product Validation Workshop, Lisbon, July 9-11 2001
- ESRI, INC., 2007. ArcGIS. Version 9.2.2. Earth Systems Research Institute, Inc., Redlands, California, USA.
- GEOSUCCESS (GLOBAL EARTH OBSERVATION IN SUPPORT OF CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL SECURITY STUDIES), 2008. GlobCarbon, Burned Area Products. European Spatial Agency. <http://geofront.vgt.vito.be> (último acceso a 24 de junio de 2008)
- JOHNSON, R. A. Y WICHERN, D.W., 1988. Applied Multivariate Statistical Analysis (Second Edition). Prentice Hall, New Jersey.
- PLUMMER, S., ARINO, O., RANERA, F., TANSEY, K., CHEN, J., DEDIEU, G., EVA, H., PICCOLINI, I, LEIGH, R., BORSTLAP, G., BEUSEN, B., FIERENS, F., HEYNS, W., BENEDETTI, R., LACAZE, R., GARRIGUES, S., QUAIFFE, T., DE KAUWE, M., QUEGAN, S., RAUPACH, M., BRIGGS, P., POULTER,

- B., BONDEAU, A., RAYNER, P., SCHULTZ, M. y MCCALLUM, I., 2007. An Update on the GlobCarbon Initiative: Multi-Sensor Estimation of Global Biophysical Products for Global Terrestrial Carbon Studies. ENVISAT Symposium Proceedings, Montreux, Switzerland, 23-27 April 2007.
- PU, R. L., LI, Z., GONG, P., CSISZAR, I., FRASER, R., HAO, W. M., KONDRAGUNTA, S. y WENG, F., 2007. Development and analysis of a 12-year daily 1-km forest fire dataset across North America from NOAA/AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 108, 198-208.
- 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., MHWANDAGARA, K., ZACARIAS, A., TACHEBA, B., DUBE, O. P., PEREIRA, J. M. C., MUSHOVE, P., MORISETTE, J. T., SANTHANA VANNAN, S. K. Y DAVIES, D., 2005. The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned area product validation protocol. *International Journal of Remote Sensing* 26:4265-4292.
- SILVA, J. M. N., PEREIRA, J. M. C., CABRAL, A. I., SÁ, A. C. L., VASCONCELOS, M. J. P., MOTA, B. y GRÉGOIRE, J.-M., 2002. The area burned in southern Africa during the 2000 dry season. *Journal of Geophysical Research*, 108(D13), 8498, doi:10.1029/2002JD002320.
- TANSEY, K., GRÉGOIRE, J.-M., PEREIRA, J. M. C., DEFOURNY, P., LEIGH, R., PEKEL, J.-F., BARROS, A., SILVA, J., VAN BOGAERT, E., BARTHOLOMÉ, E. y BONTEMPS, S., 2007. L3JRC - A global, multi-year (2000-2007) burnt area product (1 km resolution and daily time steps). Remote Sensing and Photogrammetry Society Annual Conference 2007. Newcastle upon Tyne, UK, 11-14 September.
- TANSEY, K. y LEIGH, R., 2007?b. GlobCarbon V2. Validation of the BAE products. ESA. 2nd User Symposium for GLOBCARBON Products Assessment (University of Leicester). (<http://dup.esrin.esa.it/projects/summary43.asp> a 24 de junio del 2008).
- TANSEY, K., GRÉGOIRE, J.-M., STROPPIANA, D., SOUSA, A., SILVA, J., PEREIRA, J. M. C., BOSCHETTI, L., MAGGI, M., BRIVIO, P. A., FRASER, R., FLASSE, S., ERSHOV, D., BINAGH, E., GRAETZ, D., y PEDUZZI, P., 2004. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *Journal of Geophysical Research*, 109, D14S03, doi:10.1029/2003JD003598.