

EVALUACIÓN DEL ALGORITMO LSA SAF DE ESTIMACIÓN DE FAPAR MEDIANTE REFLECTIVIDADES VEGETATION

A. Verger (*), F. Camacho (**), F. J. García-Haro (*) y J. Meliá (*).

(*) *Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, Universitat de València.*

C/ Dr Moliner, 50. 46100 Burjassot, València (Spain). alexandre.verger@uv.es

(**) *EOLAB. Parc Científic Universitat de València P.O. Box 22085, E-46071 València (Spain).*

RESUMEN

La fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR) es un parámetro biofísico básico para caracterizar las cubiertas vegetales. En LSA SAF se utiliza un algoritmo de estimación de fAPAR basado en el método estadístico propuesto por Roujean y Bréon (1995) (RB). Como parte del proceso de validación de la metodología LSA SAF, en este trabajo se aplica el algoritmo RB a reflectividades VEGETATION sobre Europa en el periodo 2000-2003. Sus estimaciones se comparan con los productos CYCLOPES derivados a partir del mismo conjunto de datos y con los productos MODIS. Además, las estimaciones se validan utilizando los mapas VALERI basados en medidas de campo. Los resultados muestran una alta consistencia espacial y temporal entre los productos fAPAR. Las diferencias entre RB y CYCLOPES son menores a 0.1 excepto en bosques de coníferas. Sin embargo, se encuentran importantes discrepancias entre RB y MODIS (entre 0.1 y 0.2, con una subestimación de RB respecto a MODIS en todos los biotipos) debido tanto a la influencia de los algoritmos como a las diferencias en las reflectividades y en las características de los productos. La validación directa muestra que la exactitud de las estimaciones fAPAR es aproximadamente 0.1.

ABSTRACT

This paper evaluates the performance of Roujean and Bréon (1995) fAPAR method (basis of the LSA SAF retrieval algorithm) when prototyped to VEGETATION data over Europe for the 2000-2003 period. Intercomparison reveals high spatial and temporal consistencies between fAPAR estimates and CYCLOPES products derived from the same VEGETATION data set with differences lower than 0.1 fAPAR units. Larger discrepancies between RB and MODIS products are found due in part to differences in BRF input data and radiative transfer formulation used in each retrieval approach (RMSE ranging between 0.1 and 0.2 with a slight, but systematic, underestimation of RB fAPAR compared to MODIS fAPAR for all biome classes). Direct validation indicates that RB statistical algorithms achieve similar performances to equivalent CYCLOPES and MODIS physical approaches for estimating fAPAR (RMSE=0.13 compared to 0.11 and 0.12) over the limited number of available ground measurements.

Palabras clave: fAPAR; LSA SAF, CYCLOPES, MODIS, intercomparación; validación.

INTRODUCCIÓN

La fAPAR es un indicador fundamental del estado de las cubiertas vegetales relacionado con la cantidad y vigor de la vegetación. La creciente preocupación por el estudio de los cambios medioambientales, ha llevado a profundizar en el desarrollo de metodologías robustas y operacionales para la estimación de fAPAR utilizando la información obtenida mediante sensores a bordo de satélites. Las principales agencias espaciales (ESA, NASA, EUMETSAT) están realizando un gran esfuerzo en producir fAPAR a escala regional y global, con las características, continuidad, precisión, consistencia y calidad exigida por la amplia comunidad de usuarios. Sin embargo, estudios recientes muestran diferencias importantes entre los distintos productos disponibles. Martínez *et al.* (2009) encuentran diferencias medias entre 0.2 y

0.4 entre los productos oficiales MERIS/ESA, MODIS/NASA y SEVIRI/EUMETSAT.

La Universidad de Valencia, en colaboración con EOLAB, es responsable del desarrollo, implementación y validación de los algoritmos para la estimación de parámetros biofísicos a partir de las observaciones de los satélites meteorológicos de EUMETSAT en el contexto de la iniciativa LSA SAF (*Satellite Application Facility on Land Surface Analysis*) (García-Haro *et al.* 2009). El algoritmo para la estimación de la fAPAR con datos SEVIRI/MSG está basado en el método estadístico propuesto por Roujean y Bréon (1995). Los productos fAPAR SEVIRI se vienen proporcionando desde el año 2005 y, en este tiempo, se han llevado a cabo diferentes ejercicios de validación de los mismos (e.g. Martínez *et al.* 2009). Parte del proceso de

validación del algoritmo LSA SAF (RB) consiste también en su aplicación a datos de distintos sensores y en demostrar su fiabilidad en relación a otros algoritmos operacionales.

En este trabajo, se aplica el algoritmo RB a datos del sensor VEGETATION (VGT) y las estimaciones fAPAR se comparan con los productos fAPAR CYCLOPES y MODIS. Se consideran estos dos productos operacionales por haber sido anteriormente validados (e.g. Weiss *et al.* 2007; Yang *et al.* 2006) y ser ampliamente aceptados por la comunidad científica. Se realiza, además, un ejercicio de validación directa mediante la comparación de las estimaciones RB con los mapas de referencia que resultan de diferentes campañas de campo.

ESTIMACIÓN DE LA FAPAR

Roujean y Bréon (1995) propusieron una relación estadística lineal entre la fAPAR diaria y el índice de vegetación RDVI (*Renormalized Difference Vegetation Index*) que reduce la influencia del suelo de fondo. El RDVI se define como:

$$(1) \quad RDVI = \frac{IRC - R}{\sqrt{IRC + R}}$$

siendo IRC y R los valores de reflectividad en las bandas espectrales del infrarrojo cercano y rojo, respectivamente. Y, en base a una serie simulaciones con un modelo de reflectividad de las cubiertas vegetales, la relación propuesta fue la siguiente:

$$(2) \quad fAPAR = 1.812 \cdot RDVI_{opt} - 0.210$$

siendo $RDVI_{opt}$ el valor del RDVI en una geometría de adquisición óptima en el plano principal para un ángulo cenital solar $\theta_s=45^\circ$ y de observación $\theta_v=60^\circ$. Para estimar la fAPAR a partir de la relación (2) se requiere conocer $RDVI_{opt}$ o, de manera equivalente y según la relación (1), el valor de las reflectividades en las bandas IRC y R para la geometría ($\theta_s=45^\circ$, $\theta_v=60^\circ$, $\phi=0^\circ$). En este trabajo se consideran las reflectividades del sensor VGT a bordo de la plataforma SPOT5. Éstas se calculan utilizando el modelo de BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) propuesto por Roujean *et al.* (1992). Según este modelo paramétrico, la reflectividad puede expresarse como:

$$(3) \quad R(\theta_s, \theta_v, \phi) = k_0 + k_1 f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) + k_2 f_2(\theta_s, \theta_v, \phi)$$

donde f_1 y f_2 son dos funciones que dependen exclusivamente de los ángulos cenitales de observación e iluminación θ_s , θ_v y del ángulo acimutal relativo ϕ . Los coeficientes k_0 , k_1 y k_2 que definen la BRDF del sensor VGT fueron producidas

siguiendo la metodología descrita en Baret *et al.* (2007) en el marco del proyecto CYCLOPES. Estos productos son accesibles en <http://postel.mediasfrance.org>.

INTERCOMPARACIÓN

El ejercicio de intercomparación de las estimaciones fAPAR del algoritmo RB con los productos CYCLOPES y MODIS se realiza en el área de Europa definida por las coordenadas latitud: $63^\circ N - 34^\circ N$, longitud: $11^\circ W - 30^\circ E$. Se consideran series temporales continuas de cuatro años (2000-2003).

Los productos fAPAR CYCLOPES versión 3 (<http://postel.mediasfrance.org>) resultan de la inversión del modelo de transferencia radiativa PROSPECT+SAIL mediante un procedimiento basado en redes neuronales (Baret *et al.*, 2007). Las variables de entrada de este algoritmo son las reflectividades VGT en el rojo, infrarrojo cercano y en el infrarrojo medio normalizadas a observación nadir y ángulo cenital solar medio.

Los productos fAPAR MODIS/TERRA (MOD15A2) considerados corresponden a la nueva colección 5 disponible en <http://edcdaac.usgs.gov>. El algoritmo de estimación MODIS se basa en la inversión de un modelo estocástico de transferencia radiativa mediante un procedimiento basado en tablas (*Look Up Tables*) (Knyazikhin *et al.* 1999). Las entradas de este algoritmo son las reflectividades en las bandas rojo e IRC, sus incertidumbres, los ángulos de observación-iluminación y el tipo de cubierta vegetal según una clasificación de usos del suelo con ocho clases mayoritarias. Si este algoritmo principal falla se utiliza un método auxiliar basado en relaciones NDVI-fAPAR específicas para cada uno de los biotipo considerados. Siguiendo las recomendaciones de Yang *et al.* (2006), solo consideramos los productos obtenidos con el algoritmo principal que son de mayor calidad y resultan más adecuados para realizar ejercicios de validación.

Los productos VGT tienen una resolución temporal de 10 días con un periodo de composición de 30 días. Los productos MODIS corresponden al valor diario de fAPAR máximo en un periodo de composición de 8 días. Para mejorar la consistencia de la comparación se considera la frecuencia temporal más baja correspondiente a los productos VGT, y los productos MODIS se interpolan a la fecha de adquisición de éstos. La resolución espacial de los productos VGT y MODIS es de

aproximadamente 1 km. Sin embargo, para reducir los posibles errores de geolocalización y mejorar la consistencia, el estudio se realiza degradando los productos a una resolución de 3 km x 3 km y considerando aquellas áreas con al menos 5 píxeles de una misma clase según la clasificación de usos del suelo MODIS.

Los resultados de este ejercicio de intercomparación muestran que las estimaciones fAPAR RB presentan un gran acuerdo con los productos CYCLOPES, como se pone de manifiesto en la Figura 1a. Se observa una alta consistencia espacial y temporal entre las estimaciones fAPAR (coeficiente de correlación, $R^2=0.9$), sin apenas desviaciones sistemáticas (*bias* próximo a 0) y con un error cuadrático medio (RMSE) de alrededor 0.1. Un análisis comparativo más detallado entre las estimaciones fAPAR RB y CYCLOPES por clases sobre un conjunto estadístico más representativo revela que sus diferencias, en términos de RMSE, son menores a 0.1 para todas las clases de vegetación mayoritarias en Europa excepto para los bosques de coníferas (RMSE=0.15) (Figura 2).

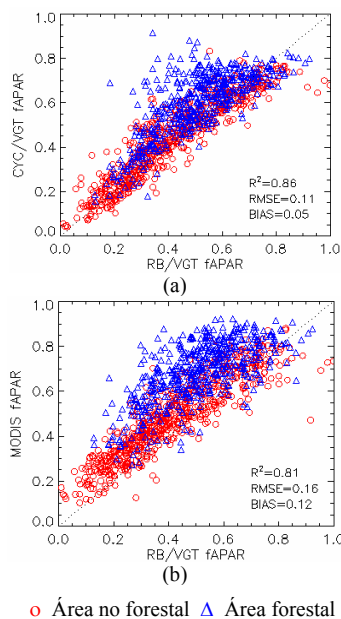


Figura 1.- Comparación entre las estimaciones fAPAR del algoritmo RB aplicado a VGT y los productos CYCLOPES (a) y MODIS (b) sobre las áreas de validación 'MODIS ASCII sites' (<http://daac.ornl.gov/modis>) de Europa a lo largo del año 2003. Número de valores, n=1128.

La comparación de las estimaciones fAPAR RB con los productos MODIS muestra mayores discrepancias (RMSE=0.2) e inconsistencias ($R^2=0.8$) (Figura 1b). Se observan además una desviación sistemática negativa de las estimaciones RB en relación a los productos MODIS. Sin embargo, estudios de validación independientes parecen indicar que los productos fAPAR MODIS sobreestiman en comparación con otros productos existentes: CYCLOPES (Weiss *et al.* 2007), SEVIRI y MERIS (Martínez *et al.* 2009). El estudio del RMSE por clases muestra que mientras que en las clases de arbustos, herbáceas y cultivos existe un relativo buen acuerdo entre las estimaciones RB y MODIS (RMSE menores a 0.1), en las sabanas, bosques de coníferas y bosques de caducifolias existen mayores discrepancias (Figura 2). Las diferentes aproximaciones al problema de transferencia radiativa de las cubiertas vegetales existentes entre los modelos 1D y 3D considerados en los algoritmos RB y MODIS pueden explicar, en parte, las mayores discrepancias observadas en las cubiertas más complejas donde las sombras tienen un papel más importante. Cabe destacar, además, que mientras las diferencias entre las estimaciones fAPAR del algoritmo RB aplicado a datos VGT y los productos CYCLOPES derivados del mismo conjunto de reflectividades VGT se pueden explicar por la influencia, principalmente, del algoritmo de estimación. En este caso, las diferencias entre las estimaciones fAPAR RB y los productos MODIS se deben tanto a las diferencias en los algoritmos de estimación como a las diferencias en las reflectividades y características de los productos VGT y MODIS.

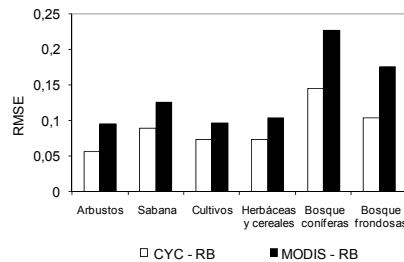


Figura 2.- Error cuadrático medio (RMSE) entre las estimaciones fAPAR del algoritmo RB aplicado a VGT y los productos CYCLOPES y MODIS en seis coberturas mayoritarias en Europa a lo largo del año 2003. Se consideran $2.2 \cdot 10^5$ áreas 3 km x 3 km de la clase de arbustos, $3.7 \cdot 10^5$ de sabana, $1.4 \cdot 10^6$ de cultivos, $1.5 \cdot 10^6$ de herbáceas y cereales, $7.7 \cdot 10^5$ de bosques de coníferas y $6.4 \cdot 10^5$ de frondosas (clasificación MODIS).

VALIDACIÓN DIRECTA

Para determinar la incertidumbre de las estimaciones fAPAR del algoritmo RB aplicado a datos VGT, éstas se comparan con los mapas verdad terreno proporcionados por el proyecto de validación VALERI (www.avignon.inra.fr/valeri). Estos mapas resultan de extender espacialmente las medidas de campo realizadas en el marco de diferentes campañas de validación a áreas de 3 km x 3km, utilizando como información auxiliar imágenes de alta resolución espacial. Los resultados de esta validación directa ponen de manifiesto que las estimaciones fAPAR RB/VGT son fiables (RMSE=0.13) y presentan una alta consistencia con las medidas de campo ($R^2=0.9$) sin desviaciones sistemáticas medias (*bias* próximo a 0) aunque con una aparente subestimación en áreas forestales de coníferas (Figura 3). La exactitud de las estimaciones RB/VGT es similar a la de los productos CYCLOPES (RMSE=0.11) y MODIS (RMSE=0.12) cuando se comparan con este mismo conjunto de medidas de referencia.

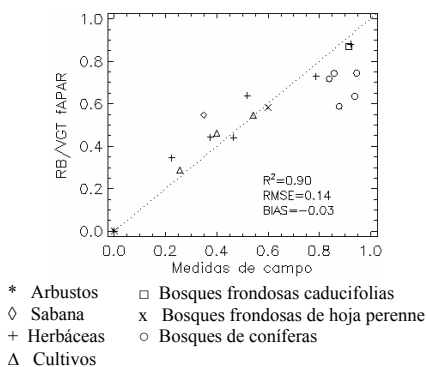


Figura 3.- Comparación de las estimaciones fAPAR RB/VGT con medidas de campo en las áreas de validación VALERI (www.avignon.inra.fr/valeri).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado, mediante datos VGT, las prestaciones y versatilidad del método de estimación de fAPAR propuesto por Roujean y Bréon (1995) y que constituye la base del algoritmo LSA SAF. Las incertidumbres en sus estimaciones se han analizado a partir de las diferencias con los productos consolidados MODIS y CYCLOPES, y a partir de la comparación con mapas verdad terreno. Los resultados muestran una alta consistencia espacial y temporal entre las estimaciones RB/VGT y los productos CYCLOPES con diferencias menores a 0.1, en términos de RMSE, excepto en áreas forestales de coníferas. La

comparación entre las estimaciones RB/VGT y los productos MODIS pone de manifiesto mayores discrepancias debidas tanto a la influencia de los algoritmos de estimación como a las diferencias en las características de los productos y en las reflectividades de los sensores VEGETATION y MODIS.

La validación directa parece indicar que las estimaciones RB/VGT presentan un acuerdo con las medidas de campo de alrededor de 0.1. Esta incertidumbre en las estimaciones fAPAR es similar a la de los productos CYCLOPES y MODIS. Y, considerando los errores intrínsecos en las medidas de campo, se acerca a la exactitud exigida por la mayoría de usuarios de productos fAPAR.

BIBLIOGRAFÍA

- Baret, F. et al. 2007. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION. Part 1: Principles of the algorithm. *Remote Sens. Environ.*, 110:275-286.
- García-Haro et al. 2009. La dinámica de la cubierta vegetal a partir de los productos SEVIRI/MSG.
- Knyazikhin, Y. et al. 1998. Synergetic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data, *J. Geophys. Res.*, 103, 32257-32275.
- Martínez, B. et al. 2009. Evaluación de la incertidumbre de productos operacionales FAPAR derivados a partir de satélites de última generación.
- Roujean, J. L., Leroy, M., and Deschamps, P. Y. 1992. A bidirectional reflectance model of the Earth's surface for the correction of remote sensing data. *J. Geophys. Res.*, 97(D18):20455-20468.
- Roujean, J. L. and Bréon, F. M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.*, 51: 375-384.
- Weiss, M. et al. 2007. LAI and fAPAR CYCLOPES global products derived from VEGETATION. Part 2: Validation and comparison with MODIS Collection 4 products. *Remote Sens. Environ.*, 110:317-331.
- Yang, W. et al. 2006. Analysis of leaf area index and fraction of PAR absorbed by vegetation products from the Terra MODIS sensor: 2000-2005. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44(7):1829-42.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos LSA SAF (EUMETSAT), DULCINEA (CGL2005-04202) y ARTEMIS (CGL2008-00381).