

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS MODIS DE REFLECTIVIDAD SUPERFICIAL Y ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES EN EL CONTEXTO DE LA CAMPAÑA CEFLES2

B. Franch, J.A. Sobrino, J.C. Jimenez-Muñoz, V. Hidalgo, G. Soria, Y. Julien, R. Oltra-Carrio, C. Mattar y M. Romaguera.

*Global Change Unit (UCG), Imaging Processing Laboratory (IPL).
Parque Científico, Universitat de Valencia. P. O. Box 22085, E-46071 Valencia (SPAIN).
Belen.Franch@uv.es*

RESUMEN

En este artículo dos productos Modis, reflectividad superficial y espesor óptico de aerosoles son evaluados. En este sentido se ha desarrollado una metodología para obtener la reflectividad superficial, se ha aplicado a datos adquiridos mediante el sensor aerotransportado Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) y se ha comparado la reflectividad superficial obtenida con la estimada por Modis. El estudio se ha desarrollado en el contexto de la campaña CEFLES2 (CarboEurope, FLEX and Sentinel-2), la cual se desarrolló en Les Landes (Francia) durante tres periodos, abril, junio y septiembre de 2007. Con esta metodología se obtiene la reflectividad superficial con un Root Mean Square Error (RMSE) al comparar con datos in situ de 0.02 en el visible y 0.05 en el infrarrojo cercano. En la evaluación del producto Modis de reflectividad superficial (MOD09GQ) los resultados muestran un RMSE de 0.03 en el visible y 0.08 en el infrarrojo cercano. En cambio, la evaluación del producto Modis de aerosoles (MOD04_L2) muestra que en todos los casos considerados el valor de espesor óptico es sobreestimado.

ABSTRACT

In this paper two Modis products, surface reflectivity and aerosol optical thickness, are evaluated. In this way it has been developed a methodology to obtain the surface reflectivity, it has been tested over airborne data by processing high-resolution images acquired with the Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) sensor and have been compared with Modis surface reflectivity images. The study has been performed in the framework of the CEFLES2 (CarboEurope, FLEX and Sentinel-2) campaign, which was developed in Les Landes region (France) during three periods, April, June and September, on 2007. With this methodology the surface reflectivity can be obtained with a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.02 in the visible region and around 0.05 in the near infrared region in comparison with ground measurements. Regarding the evaluation of the Modis surface reflectivity product (MOD09GQ) the results report a RMSE of 0.03 in the visible region and 0.08 in the near infrared region. However, the study of the accuracy of the MODIS aerosol product (MOD04_L2) shows that in every case considered the Aerosol Optical Thickness AOT value is overestimated.

Palabras clave: Modis, reflectividad superficial, espesor óptico de aerosoles, CEFLES2, corrección atmosférica, AHS.

INTRODUCCIÓN

El sensor MODERate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo de los satélites Terra y Aqua permite una observación prácticamente global de la Tierra en una base diaria con una fina resolución espectral y espacial. Recientemente, se ha desarrollado el producto Modis de reflectividad superficial Collection 5 (C5) de manera que se han mejorado los algoritmos de corrección atmosférica en comparación con los algoritmos de los productos Collection 4 (C4). El principal objetivo del presente trabajo es la evaluación de ambos productos en el marco de la campaña de la ESA, CEFLES2.

Con esta finalidad el artículo se estructura en una primera introducción a la teoría y algoritmos utilizados. A continuación se desarrolla una sección de metodología en que se describe el método seguido en la corrección atmosférica. Finalmente se presentan los resultados obtenidos así como la discusión y las conclusiones.

TEORÍA Y ALGORITMOS

En la corrección atmosférica en el Visible e Infrarrojo Cercano (Visible and Near Infrared, VNIR) se deben tener en cuenta las diversas contribuciones de la atmósfera y la superficie a la irradiancia solar. Se han considerado cuatro términos: fotones reflejados por la atmósfera antes

de llegar a la superficie, fotones transmitidos directamente a la superficie y que son reflejados directamente hacia el sensor, fotones dispersados por la atmósfera antes de llegar a la superficie y que son reflejados directamente hacia el sensor y fotones que sufren al menos dos interacciones con la atmósfera y una con la superficie (Verhoef 2003).

Incluyendo estas contribuciones en la ecuación de transferencia radiativa y considerando una superficie uniforme y Lambertiana se puede obtener la reflectividad superficial como (1):

$$\rho_{surf} = \frac{\rho_{TOA} - \rho_{so}}{(\tau_{do} + \tau_{oo})(\tau_{ss} + \tau_{sd}) + \rho_{dd}(\rho_{TOA} - \rho_{so})} \quad (1)$$

Donde ρ_{TOA} es la imagen medida por el sensor, ρ_{so} es la reflectividad bidireccional de la capa atmosférica, τ_{ss} es la transmisividad directa descendente, τ_{sd} es la transmisividad difusa en la dirección del sol, τ_{do} es la transmisividad difusa en la dirección de observación, ρ_{dd} es el albedo esférico de la atmósfera y τ_{oo} es la transmisividad directa ascendente.

METODOLOGÍA

Campaña de medidas CEFLES2

La campaña CEFLES2 (CarboEurope, FLEX and Sentinel-2) realizada en coordinación con CERES (CarboEurope Regional Experiment Strategy) se desarrolló en la región francesa de Les Landes en abril, junio y septiembre de 2007 en el marco de las misiones FLEX y Sentinel-2 de la ESA. Las medidas aéreas hiperespectrales cubrieron las regiones espectrales del visible, próximo infrarrojo, infrarrojo de onda corta y térmico.

El área de estudio considerada en este trabajo es un área agrícola llana al pie del Garona y cerca de la población de Marmande, en donde se cultiva principalmente trigo de invierno y maíz.

Datos aéreos: AHS

Los datos utilizados en este trabajo fueron adquiridos por el sensor Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) (Sobrino et al., 2008), el cual es un radiómetro aerotransportado de 80 bandas desarrollado y creado por SensyTech Inc. y administrado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Nuestro estudio se centrará en las primeras 20 bandas del AHS cuya cobertura espectral cubre desde unos 400 nm a 1000 nm.

Los datos utilizados en este trabajo se adquirieron a dos diferentes alturas 2865 m y 1097 m de 6 m y 2 m de resolución espacial respectivamente y durante tres fechas diferentes, 24 de abril, 30 de junio y 15 de septiembre de 2007.

Medidas in situ de reflectividad

Al objeto de evaluar la corrección atmosférica de las imágenes AHS se han considerado las medidas in situ realizadas utilizando dos espectrorradiómetros ASD FieldSpec Pro de las Universidades alemanas de Humboldt y Jülich, que han permitido obtener espectros representativos de distintos tipos de superficie de la zona de medidas.

En las tres fechas de medidas se midió reflectividad in situ en suelos desnudos. Las medidas en abril de vegetación se centraron en trigo de invierno, en cambio en junio y septiembre se midió en maíz y girasoles. Además en septiembre se midió en un campo de judías.

Estimación de aerosoles y reflectividad superficial

Con el objetivo de obtener imágenes de reflectividad superficial se ha aplicado la corrección atmosférica a las imágenes AHS considerando la ecuación (1). Los parámetros atmosféricos de los que depende esta ecuación han sido obtenidos utilizando el código de transferencia radiativa MODTRAN4.3 con radiosondeos atmosféricos de la zona Bordeaux/Merignac incluidos en la base de datos RAOB (<http://raob.fsl.noaa.gov>).

La obtención del espesor óptico de aerosoles (AOT) y la evaluación del correspondiente producto Modis, se ha llevado a cabo estimando los aerosoles a partir de las imágenes AHS aplicando el método propuesto por Guanter et al. (2008). Este se basa en la comparación en la región espectral desde 412 nm a 681 nm entre el espectro de una superficie oscura (*dark spectrum*) y la radiancia total dispersada resultante de considerar diferentes valores de AOT.

La superficie oscura considerada es el espectro resultante de la búsqueda del valor mínimo de radiancia en cada banda espectral de la imagen.

El valor final de AOT es aquel que implica la mayor proximidad entre el espectro de la superficie oscura y la radiancia total dispersada.

RESULTADOS

Evaluación del producto Modis de aerosoles

La evaluación del producto Modis de AOT C5 se realiza en comparación con la estimación de AOT a partir de las imágenes AHS. La Tabla 1 presenta los valores de AOT estimados a partir del análisis de todas las imágenes AHS de la campaña siguiendo la metodología presentada en la anterior sección. En esta tabla, el error se refiere a la variación temporal de este valor.

Tabla 1. AOT estimados por Modis y con AHS.

Fecha	AOT (Modis)	AOT (imagen)
24 abril	0.23	0.08 ± 0.00
30 junio	0.43	0.09 ± 0.01
15 septiembre	0.13	0.09 ± 0.01

De la misma se observa como en todos los casos el producto Modis sobreestima un 0.15 en promedio el valor real de AOT. Esta diferencia es mayor para el 30 de junio debido a la presencia de nubes altas y neblina que afectarían a la imagen MODIS debido a su resolución espacial menor que AHS. Por otro lado la sobreestimación del producto Modis de aerosoles también se ha detectado en anteriores estudios que validan este producto con datos medidos in situ principalmente de AERONET (Levy 2005, Papadimas 2008). Estos estudios concluyen que tanto los productos Modis C4 y C5 sobreestiman los valores de bajo AOT y subestiman los valores altos de AOT, si bien los productos de tipo C5 se ajustan significativamente mejor a los datos de AERONET que los C4 (Papadimas 2008).

Evaluación del producto Modis de reflectividad superficial

La evaluación del producto Modis de reflectividad superficial, C5 se ha realizado comparando la estimación de reflectividad superficial con las imágenes AHS siguiendo la metodología escrita.

Hemos centrado el análisis en la banda 9 (centrada en 687 nm) y la banda 12 (centrada en 773 nm) utilizadas en la obtención del NDVI. La Tabla 2 resume el valor de RMSE obtenido.

Los mayores errores se obtienen para la banda 12 y para vegetación y abril es el mes con menores errores. Esto puede ser debido a que en esta fecha se consideran medidas sobre suelos desnudos muy similares y para la misma clase de vegetación (trigo) que en estas fechas era muy homogéneo. Sin

embargo, en junio y septiembre las medidas in situ se centraron sobre diferentes tipos de vegetación y suelos desnudos algo distintos. Finalmente, el RMSE medio considerando todas las fechas y tipos de cultivos resultó de 0.02 en la banda 9 y 0.05 en la banda 12.

Tabla 2. Valores RMSE al comparar la reflectividad superficial estimada por AHS y los datos in situ.

		Banda 9	Banda 12
24/4/07	Suelo	0.01	0.03
	Vegetación	0.00	0.04
30/6/07	Suelo	0.02	0.01
	Vegetación	0.01	0.09
15/9/07	Suelo	0.03	0.06
	Vegetación	0.01	0.09
RMSE medio		0.02	0.05

Una vez obtenida la reflectividad con AHS se ha realizado la evaluación del producto Modis de reflectividad superficial (Vermote et al., 1999). Este último (MOD09GQ) consta de dos bandas espectrales, la primera cubre la región desde 620 nm a 670 nm y la segunda desde 841 nm a 876 nm. En la comparación se los diferentes sensores hemos considerado la equivalencia entre la banda 1 y 2 de Modis con la banda 8 (centrada en 658 nm) y 15 de AHS (centrada en 862 nm) respectivamente.

Por otra parte para poder comparar los productos de MODIS y AHS se ha degradado la resolución de AHS a 250 m. En la Figura 1 se observa un ejemplo de la diferencia entre las imágenes de reflectividad de AHS y Modis para el día 15 de septiembre.

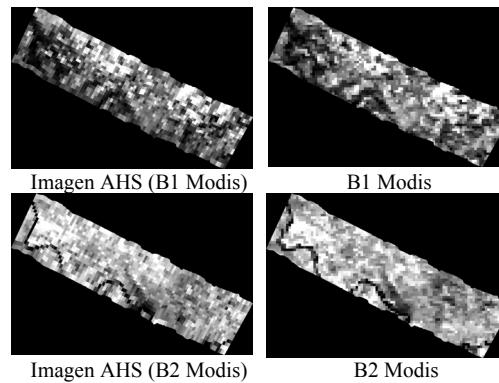


Figura 1. Reflectividad superficial con AHS y el producto Modis el 15 de septiembre.

En la Tabla 3 se muestra el valor del RMSE así como el Bias obtenidos al comparar el producto

de reflectividad superficial de Modis con la estimación de la misma de las imágenes AHS e Hyper.

Tabla 3. RMSE y Bias al comparar la reflectividad superficial con AHS y Modis.

	Banda 1		Banda 2	
	RMSE	Bias	RMSE	Bias
ABR	0.03	0.02	0.06	0.04
JUN	0.03	0.02	0.08	0.06
SEP	0.03	0.02	0.09	0.08

A partir de esta tabla se puede afirmar que la diferencia entre el producto Modis de reflectividad y AHS es menor en la banda 1 que en la banda 2. Esto puede ser debido a que la señal en esta última banda es mayor. También se observa que la principal contribución al RMSE es el Bias y en todos los casos este tiene un valor positivo. Esto indica que este producto de Modis es, en la mayoría de los casos, mayor que la estimación con AHS y principalmente debido a un valor constante.

A partir de estos resultados podemos concluir que en el contexto de la campaña CEFLES2 el producto Modis de reflectividad superficial en la banda 1 y 2 proporciona valores muy similares a la reflectividad superficial estimada a partir de sensores aerotransportados.

CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio consistía en evaluar los productos Modis de reflectividad superficial y espesor óptico de aerosoles en el contexto de la campaña CEFLES2. En la evaluación del producto Modis de aerosoles se ha comprobado que en todas las fechas este producto sobreestima el valor de AOT lo que corrobora los resultados presentados en la bibliografía. En cuanto al producto Modis de reflectividad se ha obtenido un RMSE de 0.03 en el visible y 0.08 en el infrarrojo cercano lo que prueba la precisión de este producto Modis. En este último caso los resultados obtenidos a partir de imágenes AHS muestran precisiones ligeramente superiores de 0.02 en el visible y 0.05 en el infrarrojo cercano.

Una vez evaluado los productos Modis en una zona agrícola, se está realizando un estudio similar en pero aplicado a una zona urbana en el marco de la campaña DESIREX 2008 (Dual-use

European Security IR Experiment) realizada en julio de 2008 en la ciudad de Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

Guanter L., Gómez-Chova L. and Moreno J.: 2008. Coupled retrieval of aerosol optical thickness, columnar water vapour and surface reflectance maps from ENVISAT/MERIS data over land. *Remote Sensing of Environment* 112, 2898-2913.

Levy R.C., Remer L.A., Martins J.V. and Kaufman Y.J., 2005: Evaluation of the MODIS aerosol retrievals over Ocean and Land during CLAMS. *Journal of the atmospheric sciences* 62, 974-992.

Papadimas C.D., N. Mihalopoulos, M. Kanakidou, B. D. Katsoulis and I. Vardavas, 2008: Assessment of the MODIS Collections C005 and C004 aerosol optical depth products over the Mediterranean basin. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, Vol. 8, pp 16891-16916.

Sobrino, J.A; Jiménez Muñoz, J.C.; Soria, G.; Gómez, M; Barella-Ortiz, A, et al., 2008: Thermal Remote Sensing in the Framework of the SEN2FLEX Project: Field Measurements, Airborne Data and Applications. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, 4961-4991.

Verhoef, W. and Bach H., 2003: Simulation of hyperspectral and directional radiance images using coupled biophysical and atmospheric radiative transfer models, *Remote Sensing of Environment*, vol. 87, 23-41.

Vermote, E.F. and Vermeulen A., 1999: Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). *Algorithm technical Background Document (MODIS)*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo en este trabajo a la Agencia Espacial Europea (CEFLES2, proyecto 20801/07/I-LG), al Ministerio de Ciencia y Tecnología (TERMASAT, proyecto ESP2005-07724-C05-04; EODIS, proyecto AYA2008-0595-C04-01) y a la Unión Europea (WATCH, proyecto 036946).