

Intercomparación de la BRDF proporcionada por sensores de baja resolución espacial en zonas de bosque de Norte-América

A. Verger⁽¹⁾, J. L. Roujean⁽²⁾, F. Camacho-de Coca⁽¹⁾ y J. Meliá⁽¹⁾

⁽¹⁾Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Universitat de València. C/ Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot, València. alexandre.verger@uv.es

⁽²⁾CNRM, Météo-France, 42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France

Resumen

El desarrollo de nuevos sensores con capacidad de observación multiangular permite una mejor caracterización de la BRDF de las superficies naturales. La BRDF depende de las características de los datos (espaciales, espectrales, direccionales, algoritmo de preprocesado). En la actualidad, existe una multiplicidad de productos de BRDF proporcionados por distintos sensores.

En este trabajo se realiza un estudio comparativo de la BRDF proporcionada por los sensores VEGETATION, AVHRR y MODIS sobre tres áreas homogéneas de bosque de Norte-América que según la clasificación IGBP corresponden a: *evergreen needleleaf*, *deciduous broadleaf* y *evergreen broadleaf forest*. Se analiza la signatura direccional de las distintas cubiertas, la reflectividad normalizada a observación nadir e iluminación cenital (parámetro k_0) y el NDVI en esta geometría. La BRDF presenta una dispersión en sus valores entre un 30% y un 190% según la geometría de observación en el infrarrojo cercano y entre un 80% y un 160% en el rojo debido a la influencia del sensor, del muestreo angular y del modelo paramétrico utilizado.

1. Introducción

Las técnicas tradicionales para la estimación de parámetros de la cubierta vegetal en teledetección, han ignorado, mayoritariamente, el dominio direccional de la reflectividad debido a las limitaciones para muestrear adecuadamente la función de reflectividad bidireccional o BRDF [1].

En la actualidad, las diferencias en las configuraciones orbitales (muestreo angular, frecuencia de observación) y las características complementarias (espectrales, angulares, espaciales, temporales) de las plataformas y sensores de última generación (POLDER, VEGETATION, MODIS, SEVIRI, AVHRR) ofrecen posibilidades para

obtener una caracterización mucho más precisa de la BRDF de la biosfera desde el espacio.

La BRDF es el *input* de los métodos operativos VMESMA y DISMA [2] que, en la Universitat de València, utilizamos para estimar parámetros biofísicos de la cubierta vegetal a partir de datos de diferentes sensores.

El objetivo que nos planteamos en el presente trabajo es evaluar la consistencia de nuestro *input*: los mapas de BRDF proporcionados por distintos sensores de baja resolución espacial. En concreto, se realiza un estudio comparativo de la BRDF proporcionada por los instrumentos AVHRR, VEGETATION y MODIS sobre tres tipos IGBP de bosque. Se analiza la dependencia de la signatura direccional de las cubiertas con los datos. Se cuantifica la dispersión en los valores de reflectividad en distintas configuraciones angulares y se evalúa su influencia en el valor del NDVI normalizado.

2. Metodología

2.1. Datos disponibles

En este estudio, se utilizan datos "level 3" (BRDF corregida atmosféricamente) de los instrumentos AVHRR, VEGETATION y MODIS. Se caracteriza la BRDF a partir de los parámetros k_0 (isótropo), k_1 (geométrico) y k_2 (volumétrico) resultantes de invertir los modelos *kernel-driven*: Roujean [3] con datos proporcionados por los instrumentos AVHRR/NOAA y VEGETATION/SPOT; y, Li-Ross [4] con datos MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA.

Los datos VGT y AVHRR están degradados a 8 km de resolución espacial y fueron adquiridos el 25/08/2003. El sensor VGT tiene cuatro bandas espectrales centradas en 458 nm (banda B0), 657 nm (B2), 830 nm (B3) y 1644 nm (MIR). AVHRR tiene dos bandas centradas en 634 nm y 847 nm.

Los datos MODIS corresponden a una ventana de 16 días entorno al 25/08/2003. Su resolución espacial es de 1 km. Y sus bandas están centradas en 645.5 nm, 856.5 nm, 465.6 nm y 553.6 nm.

2.2. Transformación espectral

Para comparar los parámetros k_0 , k_1 y k_2 resultantes de la inversión de los modelos *kernel-driven* con datos de distintos sensores es necesario, como paso previo, referir estos coeficientes a unas mismas bandas espectrales. Esto requiere adaptar los coeficientes (k_i) de las j bandas características de cada sensor (λ_j) a unas longitudes de onda comunes de referencia (λ_{ref}). Para ello se aplica la transformación lineal:

$$k_{i,ref} = \sum_j c_j k_{ij} \quad (1)$$

donde c_j se determinan conociendo la respuesta espectral de cada instrumento y aplicando el modelo de transferencia radiativa SAIL para simular la reflectividad bidireccional de las superficies [5].

Las bandas del rojo y del infrarrojo son las únicas que existen para los tres instrumentos considerados. Por ello centramos nuestra discusión en dos longitudes de onda de referencia: 665 nm y 855 nm.

2.3. Modelos *kernel-driven*

Los modelos de Roujean [3] y Li-Ross [4] describen la BRDF como una combinación lineal de tres términos.

$$R(\theta_i, \theta_v, \phi) = k_0 + k_1 f_1(\theta_i, \theta_v, \phi) + k_2 f_2(\theta_i, \theta_v, \phi) \quad (2)$$

θ_i , θ_v y ϕ son, respectivamente, el ángulo cenital de iluminación, el ángulo de observación y el ángulo acimutal relativo. f_1 y f_2 son los *kernels* geométricos y de volumen, y k_i son los parámetros del modelo.

Tanto el modelo de Roujean como el Li-Ross consideran, como *kernel* de volumen, el *kernel* Ross-Thick [3]. Pero el *kernel* geométrico es, en un caso, el de Roujean [3] y, en el otro, el Li-Sparse en la forma recíproca [4].

En los modelos lineales *kernel-driven*, por un convenio introducido por [3], $f_1(0, 0, \lambda) = f_2(0, 0, \lambda)$. Y, por tanto, $R(0, 0, \phi, \lambda) = k_0(\lambda)$. Es decir, k_0 se define como la reflectividad de la superficie cuando ésta es observada desde el nadir con el sol sobre el cenit.

El método de inversión de estos modelos se basa en minimizar la función:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N (R_i - \hat{R}_i)^2 \quad (3)$$

donde $i=1, 2, \dots, N$ son las observaciones \hat{R}_i disponibles, y R_i las reflectividades modeladas.

2.4. Zona de estudio

Para comparar la BRDF proporcionada por los distintos sensores se seleccionan tres áreas homogéneas de bosques de distinta naturaleza, situados en la costa atlántica de Norte-América. En la tabla 1 se especifica el nombre de cada bosque, su clasificación IGBP y las coordenadas en LAT, LON.

La corrección geométrica y el co-registrado de las distintas imágenes es una cuestión clave en nuestro estudio, pues se quiere tener la certeza que se esta comparando una misma zona mediante distintos sensores. Para minimizar los efectos del error residual de la corrección geométrica y aumentar la representatividad de las superficies, la BRDF de cada cubierta boscosa se determina a partir de la media del valor de los coeficientes k_0 , k_1 y k_2 sobre una ventana de 3 por 3 píxeles en las imágenes VGT y AVHRR (24 por 24 píxeles MODIS).

Tabla 1. Cubiertas de bosque analizadas en nuestro estudio (nombre del bosque, coordenadas latitud/longitud y clasificación IGBP).

Bosque	LAT	LON	Clase IGBP
Howland Forest	45.19	-68.72	Evergreen Needleleaf Forest
Harvard Forest	42.54	-72.18	Deciduous Broadleaf Forest
Morgan Forest	39.30	-86.40	Evergreen Broadleaf Forest

3. Resultados y discusión

En la figura 1 se representa la signatura direccional de las distintas cubiertas de bosque (tabla 1) en el plano principal y en el plano ortogonal para un ángulo de iluminación de 30° y con datos de los diferentes sensores considerados. Las diferencias que, para una misma superficie, se observan entre las distintas curvas representadas son debidas a la influencia de:

- El muestreo angular de los distintos sensores. Esto se pone de manifiesto comparando la signatura direccional obtenida con datos del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA con la resultante de considerar tanto TERRA como AQUA. En principio, la signatura direccional proporcionada por TERRA+AQUA es más fiable por disponer de más medidas.

- Las características (espaciales, angulares, espectrales) de cada instrumento. Esto permite explicar, en parte, las diferencias observadas en la signatura direccional proporcionada por AVHRR y por VGT para una misma superficie.

Tabla 2. Valores de reflectividad del *Evergreen Needleleaf Forest* (véase tabla 1) obtenidos con datos VEGETATION/SPOT, AVHRR/NOAA, MODIS/TERRA y MODIS/TERRA+AQUA, en las longitudes de onda de referencia situadas en 665 nm y 855nm, para cuatro configuraciones angulares diferentes del plano principal: iluminación cenital y observación *nadir* (parámetro k_0), iluminación $\theta_i = +30^\circ$ y observación *nadir* ($\theta_v = 0^\circ$), geometría del *hot spot* ($\theta_v = \theta_i = +30^\circ$) y geometría del *dark spot* ($\theta_v = -40^\circ$, $\theta_i = +30^\circ$). El NDVI normalizado (NDVI₀) se calcula a partir de k_0 . La dispersión relativa en tanto por cien de los valores de reflectividad y de NDVI₀ cuantifica las diferencias máximas entre los distintos sensores.

Sensor	665 nm				855 nm				NDVI ₀
	k_0	$\theta_v = -40^\circ$	$\theta_v = 0^\circ$	$\theta_v = +30^\circ$	k_0	$\theta_v = -40^\circ$	$\theta_v = 0^\circ$	$\theta_v = +30^\circ$	
VGT	0.030	0.005	0.020	0.030	0.27	0.20	0.25	0.30	0.80±0.01
AVHRR	0.017	0.004	0.013	0.020	0.29	0.23	0.27	0.32	0.89±0.03
MODIS/T	0.040	0.009	0.025	0.044	0.34	0.03	0.19	0.38	0.79±0.04
MODIS/T+AQ	0.043	0.019	0.032	0.047	0.35	0.01	0.19	0.40	0.78±0.04
Dispersión (%)	80	162	84	77	26	187	36	29	13

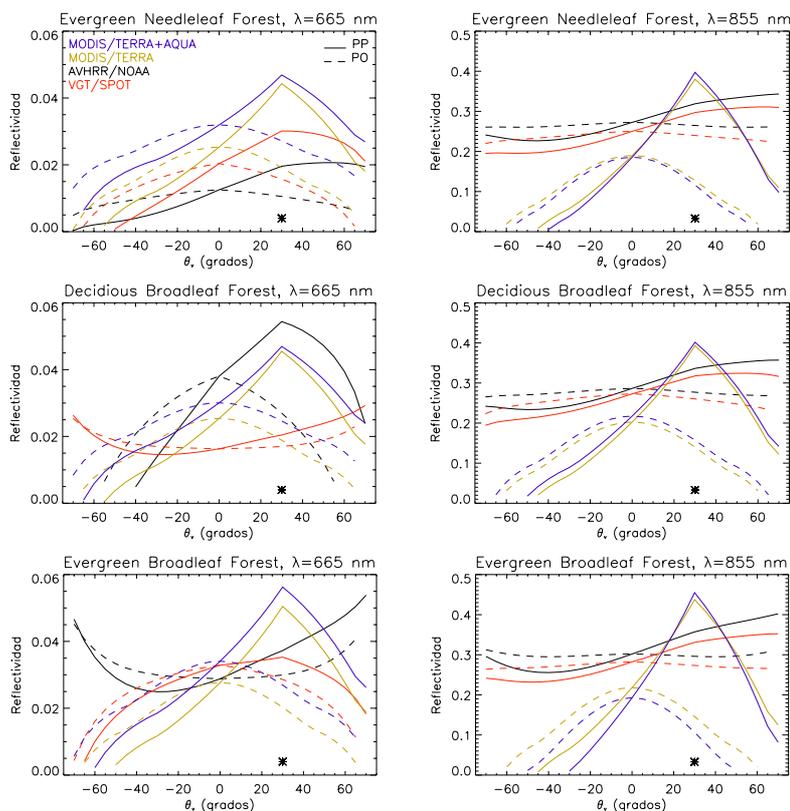


Figura 1. Signatura direccional en el plano principal y en el plano ortogonal de los distintos tipos IGBP de bosque de la tabla 1, obtenida con datos VEGETATION/SPOT, AVHRR/NOAA, MODIS/TERRA y MODIS/TERRA+AQUA en las bandas espectrales 665 nm y 855 nm, y con un ángulo de iluminación $\theta_i = +30^\circ$.

- El modelo paramétrico utilizado para reproducir la BRDF a partir de las medidas de reflectividad disponibles: modelo de Roujean para AVHRR y VGT, y Li-Ross para MODIS. Así, se observa que, en el plano principal (líneas continuas), la signatura direccional de las distintas cubiertas representadas presenta un máximo más pronunciado en la geometría del *hot spot* para datos MODIS debido a que el modelo Li-Ross utilizado en el procesamiento de estos datos reproduce un *hot spot* más marcado que el modelo de Roujean.

Las diferencias en la magnitud de la reflectividad obtenida con datos de distintos sensores se cuantifican, para la cubierta *Evergreen Needleleaf Forest* (véase tabla 1), en la tabla 2 donde se extraen los valores de reflectividad modelada con datos de los diferentes sensores, en distintas configuraciones angulares de observación del plano principal. La BRDF presenta una dispersión relativa en sus valores muy importante que varía, según la geometría de observación, entre el 80% y el 160% en el rojo y entre el 30% y el 190% en el infrarrojo cercano. Las diferencias de hasta el 80% en k_0 se atenúan en el NDVI normalizado ($NDVI_0$) pero continúan produciendo errores importantes en el índice que, para este caso en concreto, llegan a ser de un 13% de su valor según se consideren datos MODIS/TERRA+AQUA o AVHRR/NOAA.

Las diferencias en la signatura direccional proporcionada por los distintos sensores son muy importantes tanto en el plano principal como en el ortogonal, afectan tanto a la banda del rojo como a la del infrarrojo, tienen lugar en las tres cubiertas IGBP analizadas y en todo el rango angular considerado.

Interpretar con más detalle las curvas mostradas en la figura 1 resulta difícil por el enorme número de factores que pueden influir y determinar las diferencias observadas. Además de los errores de registrado geométrico de las imágenes, existen otras fuentes de error en los datos que pueden afectar a los resultados: ruido instrumental, errores de proyección geométrica, errores en la corrección atmosférica, variaciones en la reflectividad de la superficie durante el periodo de composición de los productos, etc.

4. Conclusiones

En este trabajo se realiza un estudio comparativo de la BRDF obtenida con datos VEGETATION, AVHRR y MODIS sobre tres tipos IGBP de bosque de Norte-América. Los resultados muestran que las signaturas direccionales son sensibles a las características instrumentales del sensor (espaciales, espectrales, direccionales), al muestreo angular y al modelo paramétrico utilizado

para reproducir la BRDF. Las diferencias observadas son muy importantes: 80% de dispersión relativa en el valor de la reflectividad en el rojo y de hasta un 40% en el infrarrojo para una observación nadir (tabla 2). Por lo que puede concluirse que los productos BRDF de VGT, AVHRR y MODIS no son consistentes para el caso concreto de estudio y en las cubiertas vegetales consideradas.

La dependencia de la BRDF con la naturaleza de los datos permite explicar, en parte, las desviaciones observadas en los productos de vegetación estimados para los distintos sensores [6].

Las conclusiones aportadas en el presente trabajo quedan restringidas para el caso de los tres tipos IGBP de bosque considerados. En el futuro se pretende ampliar las condiciones de estudio y desarrollar trabajos de validación e intercomparación de los productos y datos actuales a escala global para una mayor variedad de cubiertas vegetales.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado, en parte, por los proyectos IDEAS (REN2002-01495), TEDECVA (GV04B-191), y LSA SAF (EMETSAT). Los datos utilizados han sido facilitados por CNRM/MeteoFrance.

6. Referencias

- [1] Nicodemus, F. E., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., and Limperis, F. 1977. Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance. *National Bureau of Standards. NBS. Monograph 160.*
- [2] Camacho-de Coca, F. 2004. La anisotropía de la BRDF en la estimación de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal mediante teledetección. PhD Thesis. Universitat de Valencia. 404 pp.
- [3] 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. *Journal of Geophysical Research*, 97(D18):20455–20468.
- [4] Lucht, W., Schaaf, C. B., and Strahler, A. H. 2000. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38:977–998.
- [5] Samain, O. 2004. Comunicación personal.
- [6] Camacho-de Coca, F., Martínez B. y García-Haro, J. 2005. Validación directa de productos de vegetación de baja resolución en la zona agrícola de Barrax. (En esta publicación)