

METODOLOGÍA PARA DERIVAR PRODUCTOS DE VEGETACIÓN CON DATOS SEVIRI/MSG: II. INVERSIÓN DEL MODELO DISMA

F. J. García-Haro, F. Camacho-de Coca y J. Meliá

J.Garcia.Haro@uv.es

*Departament de Termodinàmica. Universitat de Valencia
C/ Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)*

RESUMEN: En este trabajo presentamos un modelo invertible de BRDF llamado DISMA para estimar parámetros de la cubierta vegetal como FVC y LAI a partir de datos angulares. El algoritmo pretende resolver las inconsistencias de los modelos lineales y de medio turbio, con el fin de mejorar la estimación de los parámetros de la cubierta. Se basa en la inversión de un modelo híbrido, que combina un modelo GO para describir los elementos visibles de la escena con un modelo de transferencia radiativa que describe las interacciones volumétricas en el interior de las plantas. La validez del algoritmo se ha demostrado considerando datos de avión POLDER correspondientes a las campañas DAISEX. Se pretende aplicar dicho algoritmo para obtener productos de la cubierta vegetal de forma regular a partir de datos de los futuros SEVIRI/MSG y AVHRR-3/EPS, de EUTMETSAT. Se muestran aquí resultados preliminares de su aplicación utilizando datos sintéticos SEVIRI.

ABSTRACT: Our main objective is the development of a methodology to retrieve bio-geophysical variables such as fractional vegetation cover (FVC) and leaf area index (LAI) whilst at the same time fully accounting for additional information on directional anisotropy. The method, namely DISMA (Directional Spectral Mixture Analysis) has a physical basis. It combines the geometric optics of large scale canopy structure with principles of radiative transfer for volume scattering within individual crowns. This approach deconvolves the angular reflectance into single landcovers reflectances, solving the inconsistencies of 1-D models and linear mixture approaches. The feasibility of this operational method is demonstrated using extensive imaging spectrometer data from DAISEX campaigns. In the operational phase of the LSA SAF project, this algorithm will be used to derive 10-day and 30-day vegetation products from the synergistic use of the future SEVIRI/MSG and AVHRR-3/EPS. Preliminary results from its application on SEVIRI synthetic data are presented.

Palabras claves: modelo de BRDF, inversión, DISMA, SEVIRI, FVC, LAI

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del proyecto LSA SAF Project (Satellite Application Facility on Land surface analysis), nuestro objetivo es desarrollar algoritmos operativos y robustos para la obtención de productos de la cubierta vegetal a partir de datos de los futuros satélites Meteosat Second Generation (MSG) y European Polar System (EPS). El uso sinérgico de datos SEVIRI/MSG y AVHRR-3/EPS proporcionará un muestreo angular y temporal sin precedentes sobre Europa y Africa, permitiendo caracterizar el BRDF de las superficies en estudios globales (Van-Leeuwen y Roujean, 2002). Los productos que se obtendrán son la fracción de

cobertura vegetal (FVC), el índice foliar (LAI) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR), los cuales estarán corregidos de la anisotropía de la BRDF, es decir, de la influencia en la reflectividad de la geometría de observación e iluminación.

Los modelos lineales de mezcla espectral son la base de modelos simples de BRDF (spectral mixture analysis, modelos óptico-geométricos (GO), kernel-driven, etc.). Sin embargo su validez depende de (Qin y Gerstl, 2000): (1) la presencia de interacción múltiple, (2) las dificultades para determinar las propiedades ópticas de los elementos de la escena, (3) los efectos direccionales, y (4) el tamaño del

píxel. Por ejemplo, a escalas del tamaño de un arbusto, la hipótesis de linealidad no es válida, especialmente en la región del infrarrojo cercano (IRC), mientras que a escalas de satélites de baja resolución (AVHRR, SEVIRI), dicha aproximación puede considerarse apropiada. Otra limitación es que dichos modelos ignoran la transmisión de la radiación a través de las hojas, por lo que son insensibles respecto parámetros estructurales (LAI, distribución espacial, LAD). Ello introduce un sesgo en la inversión. Por contra, la inversión de modelos de BRDF de medio turbio son insensibles a las inhomogeneidades de la superficie, por lo que están limitados cuando hay píxeles mezcla, como ocurre habitualmente con datos de baja resolución.

El algoritmo aquí propuesto pretende resolver las inconsistencias de los modelos lineales y de medio turbio, con el fin de mejorar la estimación de los parámetros de la cubierta. Se basa en la inversión de un modelo híbrido, que combina un modelo GO para describir los elementos visibles de la escena (es decir, como cambia la visibilidad e iluminación de las plantas y del suelo en función de la geometría de adquisición), con un modelo de transferencia radiativa que describe las interacciones volumétricas en el interior de las plantas. Dado que FVC y LAI son parámetros del modelo, éstos pueden estimarse mediante la inversión del mismo. Además, el modelo incluye otras variables bio-geofísicas, tales como BRDF, albedo y absortividad (incluyendo fAPAR), que pueden obtenerse como sub-productos del proceso de inversión.

En un trabajo complementario a éste (Camacho de-Coca *et alli.*, 2003) presentamos una metodología para abordar el problema cuando los datos son insuficientes para caracterizar la BRDF o cuando dicha información se considera como una fuente de ruido a normalizar. Sin embargo, en este trabajo presentamos un método de inversión para estimar parámetros utilizando toda la información angular contenida en la anisotropía de la BRDF. En primer lugar, se describe brevemente el modelo y su inversión. Seguidamente se muestran dos ejemplos de la aplicación de dicha metodología, utilizando datos de avión POLDER y datos sintéticos SEVIRI.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DISMA

La escena se representa mediante una distribución de plantas sobre un suelo plano. Cada planta constituye un medio turbio caracterizado por unos parámetros (LAI, LAD, etc.). La reflectividad del píxel se compone de una forma aditiva a partir de las contribuciones de suelo R_s y vegetación R_v :

$$R = R_v + R_s$$

La reflectividad de la vegetación se expresa como la suma de las contribuciones de scattering simple (ss) y múltiple (ms) (Hapke, 1981; Lacaze y Roujean, 2001):

$$R_v = \frac{\omega}{4 \mu_s \mu_v} \cdot \{P(\xi) I_{ss} + [H(\mu_s)H(\mu_v) - 1] I_{ms}\}$$

siendo ω el albedo de la hoja, $\mu_{s,v} = \cos\theta_{s,v}$,

$H(\mu_{s,v})$ es la función de Chandrasekhar; $P(\xi)$ es la función de fase de un medio turbio; los factores I_{ss} y I_{ms} modelan la proporción de flujo radiante que interacciona una/varias veces, respectivamente, a lo largo del camino óptico dentro de la cubierta. La interacción múltiple se parametriza así utilizando una solución analítica aproximada a la ecuación de transferencia radiativa.

El modelo considera que los flujos interceptados por las componentes geométricas y volumétricas pueden desacoplarse:

$$I_{ss} = I_{ss,vol} \cdot I_{ss,geo} \quad I_{ms} = I_{ms,vol} \cdot I_{ms,geo}$$

donde formulación de la contribución de volumen es similar al modelo GHOST (Lacaze y Roujean, 2002), que se basa en el acoplamiento entre una expresión simple de hot spot y la función G (Ross, 1981), que representa la proyección monodireccional de las hojas.

La proporción de elementos visibles (v) e iluminados (i) de la escena se parametriza en términos de FVC y de una variable geométrica (η) asociada con la forma de las plantas. Considerando una distribución de Poisson de plantas en la escena, la probabilidad de observar suelo en la dirección θ se aproxima a:

$$P_0(\theta) = (1 - g_c)^{(\eta+1)}$$

$$P_{vc} = 1 - P_0(\theta_v) \quad P_{ic} = 1 - P_0(\theta_s)$$

donde g_c es la FVC, y η representa el cociente entre el área de planta sombreada y el área de la planta, que está tabulado para las geometrías más comunes (Jasinski y Eagleson, 1990). En un trabajo previo hemos contrastado dicha relación utilizando datos simulados (García-Haro *et alli.*, 2002). No obstante, esta relación no tiene en cuenta la correlación entre la probabilidad de tener elementos iluminados y visibles es una función del ángulo de fase ξ . Dicha correlación vale la unidad en la dirección de hot spot y tiende a cero a medida que las direcciones del sensor y del sol se alejan. Este efecto se ha modulado utilizando una función kernel de hotspot $F_c(\xi)$ (Qin y Goel, 1995).

$$I_{ss,geo} = P_{ic}P_{vc} + [P_{ic} - P_{ic}P_{vc}]F_c(\xi)$$

La reflectividad del suelo R_s es el producto de la BRDF del suelo, γ_s , y la transmisividad de la vegetación, T :

$$R_s = T \gamma_s$$

T se expresa como la suma de la probabilidad que la un rayo solar alcance el suelo sin interceptar ninguna planta T_{geo} mas la probabilidad que intercepte una planta y sin interceptar ninguna hoja en la misma $(1 - T_{geo})T_{vol}$:

$$T = T_{geo} + (1 - T_{geo})T_{vol}$$

La contribución de volumen sigue una ley de Beer modificada teniendo en cuenta el *clumping* de las hojas Ω_E :

$$T_{vol} = \exp(-\Delta LAI \Omega_E \gamma/g_c)$$

siendo Δ el coeficiente de extinción bidireccional. La componente geométrica viene dada por:

$$T_{geo} = P_{ig}P_{vg} + [P_{ig} - P_{ig}P_{vg}]F_G(\xi)$$

3. INVERSIÓN DEL MODELO

Las inversión se realiza simultáneamente en todas las bandas, es decir, acoplando toda la información espectral y angular. Dado un conjunto pre-establecido de posibles soluciones (g_c , LAI), el dominio de las soluciones viene determinado por la condición:

$$(\mathbf{r} - \mathbf{y})^T \mathbf{W}^{-1} (\mathbf{r} - \mathbf{y}) \leq N$$

donde r_i ($i=1, \dots, N$) son las observaciones de la BRDF en las distintas bandas, y_i ($i=1, \dots, N$) son los correspondientes valores modelados, y \mathbf{W} es la matriz de covariancia de las medidas. La distribución de estas soluciones contiene la solución "verdadera" sino que además nos proporciona una estimación de su incertidumbre.

El modelo requiere como inputs las propiedades ópticas del suelo de fondo γ_s y de las hojas ω . γ_s se obtiene mediante un ajuste de una muestra representativa de pixels de suelo desnudo a un modelo teórico de BRDF (Rahman *et alli.*, 1993; Bicheron y Leroy, 1999). Ello permite extrapolar el BRDF a partir de medidas de BRF en un número reducido de ángulos. El albedo de la hoja ω se estima ajustando el modelo DISMA en superficies con vegetación muy densa, de manera que la contribución del suelo se considera despreciable. Hemos utilizado un proceso jerárquizado basado en

una clasificación de la zona, con el fin de adaptar γ_s y ω a las características de cada superficie.

4. RESULTADOS

El modelo DISMA se ha aplicado a imágenes de avión POLDER (POLarization and Directionality of Earth Reflectances), correspondientes a una zona piloto del proyecto DAISEX de la ESA. Los resultados indican que el modelo es capaz de ajustar simultáneamente datos espectrales y direccionales, lo que garantiza que los productos no están afectados por efectos angulares. Además, pese a que el DISMA es menos apropiado para cubiertas homogéneas, como cultivos de cereal, ha producido unos ajustes similares a modelos de BRDF precisos, tales como NADIM (New Advanced Discrete Model) (Gobron *et alli.*, 1997). La figura 1 muestra los resultados de la inversión correspondientes a FVC y LAI. Dichos mapas presentan una coincidencia adecuada con medidas de campo simultáneas realizadas. Además, han resultado ser poco sensibles respecto a la muestra de BRF considerada, al ángulo de iluminación y al subconjunto espectral utilizado, lo cual confirma la robustez del método.

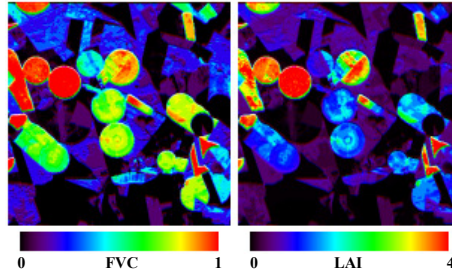


Figura 1.- Productos obtenidos a partir de imágenes POLDER en Barrax (campana DAISEX 99)

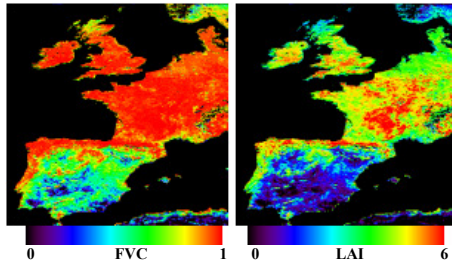


Figura 2.- Productos obtenidos a partir de imágenes sintéticas SEVIRI

El algoritmo se ha aplicado a imágenes SEVIRI sintéticas generadas por Météo-France utilizando el modelo SAIL para la BRDF de la vegetación y el modelo de Walthall para la BRDF del suelo. Hemos utilizado una serie de 13 imágenes a lo largo del día con una frecuencia horaria. Los resultados han indicado un buen ajuste entre el modelo DISMA y los datos sintéticos de partida. La figura 2 muestra un ejemplo de los productos de FVC y LAI. Dichos productos son coherentes con los mapas utilizados para generar las imágenes sintéticas, lo que confirma la validez del método.

REFERENCIAS

Bicheron, P., and M. Leroy, 1999, A method of biophysical parameter retrieval at global scale by inversion of a vegetation reflectance model, *Remote Sens. Environ.*, 67: 251-266.

Camacho-de Coca, F., García-Haro, F.J. y Meliá, J. (2003). Metodología para derivar productos de vegetación con datos SEVIRI/MSG: I. VMESMA normalizado de la anisotropía. En esta publicación.

García-Haro, F.J., Camacho-de Coca, F. and Gilabert, M.A., 2002, Simulation of BRDF data to support biophysical parameters retrieval in the LSA SAF context, *Proceedings of the LSA SAF Training Workshop*, (Ed. EUMETSAT: Darmstadt), Lisbon, 8-10 July, in press.

Gobron, N., B. Pinty, M. M. Verstraete, and Y. Govaerts, 1997, A semidiscrete model for the scattering of light by vegetation. *J. Geophys. Res.* 102(D8): 9431-9446.

Hapke, B., 1981, Bidirectional reflectance spectroscopy: 1. Theory. *J. Geophys. Res.* 86: 3039-3054.

Jasinski, M.F. and Eagleson, P.S., 1990, Estimation of subpixel vegetation cover using red-infrared

scattergrams. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28: 253-267.

Lacaze, R. and Roujean, J.L., 2001, G-function and Hot Spot (GHOST) reflectance model. Application to multi-scale airborne POLDER measurements. *Remote Sens. Environ.*, 76:67-80.

Qin, W. and N.S. Goel, 1995, An evaluation hotspot models for vegetation canopies, *Remote Sensing Reviews*, 13:121-159.

Qin, W. and Gerstl, S.A.W., 2000, 3-D scene modeling of semidesert vegetation cover and its radiation regime, *Remote Sens. Environ.*, 71: 197-206.

Rahman, H., Verstraete M. M. and Pinty B., 1993, Coupled Surface-Atmosphere Reflectance (CSAR) Model. Part 1: Model Description and Inversion on Synthetic Data, *J. Geophys. Res.*, 98, 20,779-20,789.

Ross, J.K., 1981, The radiation regime and architecture of plants stands. Norwell, MA: Dr. W. Junk, 391 pp.

Van-Leeuwen, W.J.D. and Roujean, J.L., 2002, Land surface albedo from the synergistic use of polar (EPS) and geo-stationary (MSG) observing systems. An assessment of physical uncertainties, *Remote Sens. Environ.*, 81: 273-289.

Walthall, C.L., J.M. Norman, J.M. Welles, G. Campbell, and B.L. Blad, 1985, Simple equation to approximate the bidirectional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces, *Applied Optics*, 24: 383-387.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos LSA SAF, IDEAS y DAISEX. J. García-Haro disfruta de un contrato investigador (Programa Ramón y Cajal).