

## METODOLOGÍA PARA DERIVAR PRODUCTOS DE VEGETACIÓN CON DATOS SEVIRI/MSG: I. VMESMA NORMALIZADO DE LA ANISOTROPÍA

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

[Fernando.Camacho@uv.es](mailto:Fernando.Camacho@uv.es)

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

### RESUMEN

En este trabajo presentamos un método robusto y operacional para la estimación de la fracción de cubierta vegetal (FVC) y el índice foliar (LAI) a partir de datos del nuevo sensor SEVIRI a bordo del MSG. El algoritmo, desarrollado en el marco de LSA SAF, utiliza las capacidades BRDF del SEVIRI para normalizar los efectos anisotrópicos utilizando un modelo paramétrico de BRDF. A partir de la reflectividad normalizada a la configuración nadir-cenit ( $k_0$ ), realizamos la inversión de un modelo de mezcla lineal optimizado. Dicho modelo, denominado VMESMA (*Variable and Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis*) permite utilizar como *input* múltiples subconjuntos de endmembers (EMs) que son variables en función de la clasificación del terreno. La inversión del modelo nos proporciona la FVC. El LAI lo estimamos utilizando la relación entre LAI y fIPAR (*Fraction of Intercepted Photosynthetically Active Radiation*) asumiendo que la FVC es aproximadamente igual a la fIPAR cuando el flujo de radiación es vertical (cenit). Para ello, utilizamos como información auxiliar el *clumping index* y asumimos distribución foliar aleatoria. En este trabajo describimos los diferentes pasos de este algoritmo y mostramos algunos ejemplos sobre datos POLDER de avión y datos sintéticos SEVIRI.

### ABSTRACT

In this paper an operational and robust methodology for estimating fractional vegetation cover (FVC) and leaf area index (LAI) from SEVIRI/MSG data is presented. The prototype algorithm relies on a variable and multiple spectral mixture analysis (VMESMA) applied over normalised reflectance data. The normalisation of the surface's anisotropy over the full SEVIRI disk can be done thanks to SEVIRI directional capabilities using a kernel-driven model. The output of the model is the FVC. Then, we estimate the leaf area index (LAI) by using a relationship between the LAI and the fraction of intercepted photosynthetically active radiation (fIPAR) due to the FVC is the fIPAR with vertical irradiance flux. The IGBP land cover classification for the FVC and the clumping index map for the LAI are ancillary information for the prototype. In this paper the main steps of the prototype and its application on both airborne POLDER data and SEVIRI synthetic data are presented.

**Palabras claves:** BRDF, FVC, LAI, VMESMA, SEVIRI, MSG, LSA SAF

### INTRODUCCIÓN

La red de centros SAF (*Satellite Application Facilities*) de EUMETSAT esta encargada del diseño de algoritmos y la obtención de los diferentes productos destinados, principalmente, a las comunidades de climatólogos y meteorólogos, mediante el uso sinérgico de los sistemas EUMETSAT de nueva generación: el MSG (*Meteosat Second Generation*) y el EPS (*European Polar System*). En concreto, LSA (*Land Surface Analysis*) SAF esta centrado en los productos de superficie, como son el albedo, la temperatura, cobertura nevosa, y los parámetros biofísicos de vegetación entre otros. Estos últimos son la fracción de cobertura vegetal (FVC), el índice foliar (LAI), y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR) considerada como producto

interno. La FVC y el LAI son necesarios para describir las interacciones entre la superficie y la atmósfera. De hecho, los modelos atmosféricos de circulación general (AGCMs) y los modelos de área limitada (LAMs) utilizados por climatólogos y meteorólogos incorporan los procesos físicos en superficie mediante los modelos SVAT (*Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer*). Estos modelos necesitan una representación detallada de las características de la superficie. Por tanto, la comunidad científica de predicción numérica (NWP) y de climatología utilizan como entrada en sus modelos los parámetros de vegetación obtenidos sobre una escala global.

La FVC y el LAI se obtendrán utilizando tres canales espectrales (0.6, 0.8, 1.6  $\mu\text{m}$ ) del

SEVIRI, en órbita geoestacionaria a bordo del MSG, y los 3 canales espectrales similares del AVHRR-3, en órbita polar a bordo del EPS. Para cada píxel, SEVIRI proporcionará medidas espectrales de radiancia cada 15 minutos, con un ángulo de iluminación diferente, y un ángulo de observación fijo aproximadamente igual a la latitud del píxel. Mientras que los datos del AVHRR-3, nos permitirán obtener la signatura direccional de las superficies cercana al plano principal para un ángulo de iluminación constante. De este modo, el uso combinado SEVIRI+AVHRR-3 permitirá una buena caracterización de la BRDF de las superficies. Si bien, en un principio nuestro algoritmo solo será aplicado a datos BRDF SEVIRI, en órbita desde el 28 de Agosto de 2002, por lo que diferentes estrategias han sido contempladas.

Las técnicas tradicionales para la estimación de parámetros de vegetación han utilizado principalmente los dominios espectral y temporal de la BRDF. Sin embargo, el dominio direccional de la BRDF tiene una gran importancia en sensores con gran FOV. En el caso de SEVIRI queremos estimar la FVC para un rango cenital de observación de entre 0° y 70°. Esto, junto con el marcado carácter anisótropo que exhibe la BRDF de las cubiertas vegetales (ver Camacho-de Coca *et alii.*, 2003), exige considerar adecuadamente la anisotropía de la BRDF en el prototipo. La anisotropía debe considerarse desde dos perspectivas diferentes. Cuando el método de estimación no permita incorporar la dimensión angular, esta se convierte en una fuente de variabilidad de la señal no deseada, la cual debemos normalizar adecuadamente (metodología que aquí abordamos). Si, por el contrario, disponemos de un modelo físico que incorpore la información direccional, entonces la anisotropía se convierte en una fuente adicional de información que podremos explotar adecuadamente.

En este trabajo, presentamos una breve descripción de la metodología adoptada para estimar la FVC y el LAI en el caso de contar exclusivamente con datos SEVIRI/MSG, con algunos ejemplos del prototipo sobre datos BRDF POLDER de aviación y datos MSG sintéticos. En un trabajo complementario a este (García-Haro *et alii.*, 2003) presentamos la metodología diseñada para una mejor explotación de los datos direccionales, especialmente cuando dispongamos de datos MSG y EPS.

#### DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El primer método está basado en la inversión de un modelo lineal de mezcla con múltiples conjuntos de EMs variables en función de la clasificación del terreno, denominado VMESMA

(*Variable Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis*) (García-Haro *et alii.*, 2003). El *output* del VMESMA es la FVC a partir de la cual estimaremos el LAI utilizando la relación entre FVC, fIPAR y LAI propuesta en Roujean and Lacaze (2002).

Por tanto, un paso previo necesario para aplicar correctamente dicha metodología a los datos SEVIRI consiste en la normalización de los efectos anisótropos de la BRDF. Los datos SEVIRI corregidos atmosféricamente y geoméricamente se utilizan, con un periodo de síntesis variable, para ajustar e invertir el modelo lineal paramétrico de Roujean *et alii.*, (1992), ampliamente utilizado para normalizar los efectos anisótropos en datos de satélite y que se escribe de forma genérica como:

$$R_{\lambda}(\vartheta_s, \theta_v, \phi) = \sum_{i=1}^n (k_i)_{\lambda} f_{\lambda}(\vartheta_s, \theta_v, \phi) \quad (1)$$

con  $n=3$ , y donde  $k_{i=0,1,2}$  son los coeficientes incógnita asociados con la contribución isotrópica (nadir-cenit), de superficie y volumétrica a la reflectividad. Las funciones ( $f_{\lambda}$ ) o “kernels” modelan la dispersión lambertiana ( $f_0=1$ ), geométrica ( $f_1$ ) y volumétrica ( $f_2$ ). La linealidad del modelo facilita la inversión del mismo y, en particular, la obtención de la reflectividad normalizada a la configuración nadir-cenit ( $k_0$ ). Este coeficiente ( $k_0$ ) obtenido sobre todo el disco MSG será la entrada para el algoritmo VMESMA, cuyas cuatro etapas describimos a continuación:

- (1) Estratificación del área de estudio: La segmentación es necesaria para aplicar una metodología variable, adaptada a las características espectro-direccionales de los diferentes ecosistemas. La clasificación escogida en LSA SAF es la del IGBP que incluye 17 clases. Si bien, cuando este disponible se incorporará la clasificación GLC (*Global Land Cover*) 2000.
- (2) Selección de EMs: El modelo lineal de mezcla asume que la radiancia que recibe el sensor es una suma de la contribución de unos pocos componentes macroscópicos de la escena (endmembers, EMs) pesados por la abundancia (fracción) de cada uno de ellos en la escena. El conjunto de EMs utilizados es variable en función de la clasificación. Para cada una de las clases, un análisis de componentes principales ayuda a seleccionar los mejores candidatos, y construir así los múltiples conjuntos de EMs.
- (3) Inversión: Una vez seleccionados los EMs característicos de cada clase, realizaremos la inversión píxel a píxel, donde cada píxel tiene asociado varios conjuntos de EMs asociados a su clase IGBP. Un sistema experto determina el

número de EMs óptimo teniendo en cuenta tanto los errores de modelado (RMS) como de la FVC. El método para la inversión del modelo lineal de mezcla es el estimador clásico con ligaduras (García-Haro *et alli.*, 1996) basado en minimizar la diferencia al cuadrado entre el espectro observado y el modelado, imponiendo que la suma de las fracciones sea la unidad. Una vez obtenido la FVC podemos directamente estimar el LAI a partir de la siguiente expresión (Roujean and Lacaze, 2002):

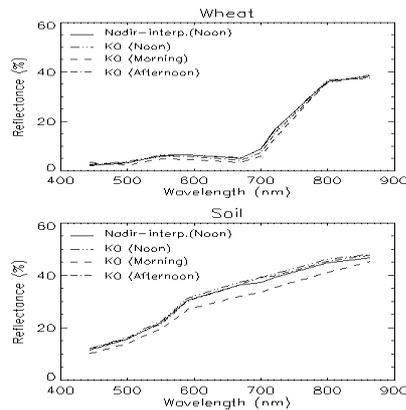
$$FVC = 1 - \exp\left\{-b\left[G(\theta_s)/\cos\theta_s\right]_{\theta=0}\Omega LAI\right\} \quad (2)$$

donde se ha hecho la hipótesis de que la FVC = fIPAR (cenit),  $\Omega$  es el *clumping index* que calcularemos tal y como se describe en Roujean and Lacaze (2002), la función G de Ross se tomará igual a 0.5 (orientación uniforme), y el parámetro b, relacionado con el albedo foliar, se toma igual a 0.945 tal y como sugieren diferentes autores.

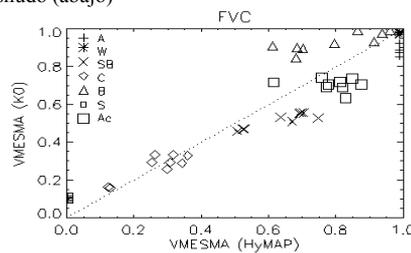
(4) Evaluación del error: La última parte consiste en evaluar la incertidumbre en los resultados. En una primera fase el RMS del modelo nos permite identificar las zonas más problemáticas. En una segunda fase, la validación del producto se realizará utilizando datos de campo e intercomparación con productos derivados con otros sensores, tal y como se describe en Martínez *et alli.*, (2003).

#### APLICACIÓN A DATOS POLDER

La validez del algoritmo ha sido, en primer lugar, demostrada utilizando datos POLDER obtenidos durante la campaña DAISEX (ver Camacho-de Coca *et alli.*, 2003). La figura 1 muestra los resultados de la normalización efectuada sobre diferentes conjuntos de datos POLDER adquiridos bajo 3 ángulos de iluminación diferentes: 17°, 35° y 55°. La signatura espectral nadir-cenit ( $k_0$ ) estimada en cada caso se compara con la reflectividad interpolada al nadir (ángulo cenital solar de 17°). Los resultados muestran la validez del modelo de Roujean *et alli.*, (1992). Si bien, como puede apreciarse, el modelo funciona peor cuando el ángulo cenital de iluminación es elevado (55°) y no reproduce tan bien los importantes efectos anisótropos de la superficie. El RMS con el ángulo solar inferior a 35° es de 1.3%, y aumenta hasta 2.4% para un ángulo solar de 55°.



**Figura 1.-** Reflectividad normalizada ( $k_0$ ) a partir de datos BRDF POLDER de avión obtenidos con diferentes ángulos de iluminación (aprox. 17° en 'noon', 35° en 'Afternoon' y 55° en 'Morning') para una cubierta densa de trigo (arriba) y un suelo desnudo (abajo)



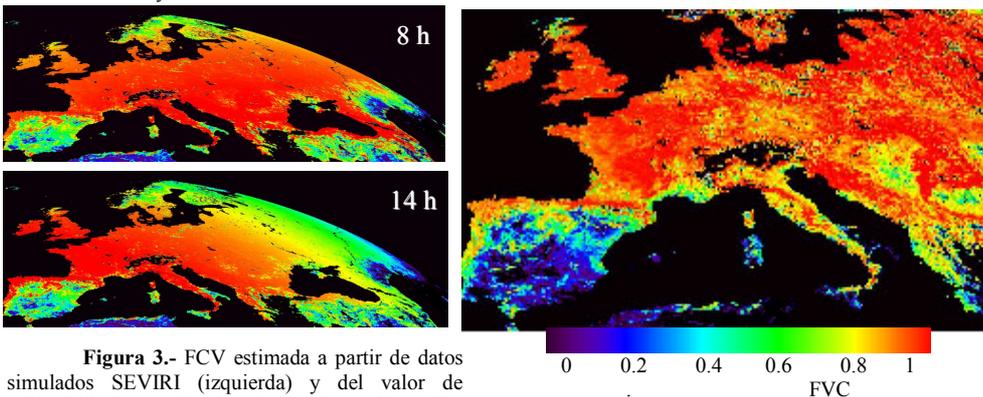
**Figura 2.-** FVC obtenida con VMESMA sobre un área agrícola utilizando como *input* la reflectividad normalizada ( $k_0$ ) POLDER (9 canales espectrales) frente a la estimada con datos hiperspectrales (60 canales) HyMAP obtenidos en el plano ortogonal.

La figura 2 pone de manifiesto que la FVC derivada con VMESMA muestra resultados similares cuando la dimensión espectral se reduce notablemente, en este caso utilizamos 60 de los 128 canales HyMAP, frente a los 9 de POLDER. La imagen HyMAP fue adquirida en el Plano Ortogonal (con lo que se minimizan los efectos anisótropos) y simultáneamente a la del POLDER (ver Camacho-de Coca *et alli.*, 2003). El beneficio de utilizar EM variables en función de la clasificación quedó también demostrado; Cuando utilizamos un solo EM para modelar la vegetación verde obtuvimos un RMS del 4.4% que se redujo a un 3.4% cuando consideramos 2 EMs diferentes para vegetación verde. El sistema experto utilizó 2 EMs en un 89% de los casos y de 3 EMs en el resto.

### APLICACIÓN A DATOS SINTÉTICOS SEVIRI

El prototipo se ha aplicado con éxito a imágenes SEVIRI sintéticas generadas por Météo-France. Las imágenes han sido simuladas utilizando el modelo SAIL para la BRDF de la vegetación y el modelo de Walthall para la BRDF del suelo. La figura 3 (izquierda) muestra la FVC obtenida aplicando VMESMA a dos imágenes SEVIRI correspondiente a las 8h y 14h UT. En ellas podemos apreciar los efectos que la anisotropía de la BRDF, siendo los efectos apreciables en la imagen principalmente debidos a la variación en el ángulo de iluminación. Por otro lado, el ángulo de observación produce una sobreestimación de la cubierta vegetal tanto mayor cuanto mayor sea la latitud del píxel observado. Esto demuestra la necesidad de aplicar una corrección de la anisotropía. La figura 3 (derecha) muestra la FVC obtenida con VMESMA a partir de los datos normalizados ( $k_0$ ). En este caso hemos utilizado el ciclo diurno de datos SEVIRI para ajustar el modelo paramétrico y obtener un único mapa de reflectividad en la configuración nadir-cenit para todo el disco SEVIRI. A partir de dicho mapa se ha aplicado la ecuación 2 para producir el mapa de LAI. Los resultados obtenidos presentaron muy buena coincidencia con el mapa de LAI derivado con datos POLDER y utilizado para generar las imágenes sintéticas.

En la fase operativa del proyecto la FVC y el LAI corregidos de anisotropía se producirán con una frecuencia de 10 días y mensual a partir de la imagen de  $k_0$  producida por Météo-France con una frecuencia diaria y 10 días.



**Figura 3.-** FVC estimada a partir de datos simulados SEVIRI (izquierda) y del valor de reflectividad normalizada a la configuración nadir-cenit ( $k_0$ ) (derecha).

### REFERENCIAS

- Camacho-de Coca, F., Leroy, M., García-Haro, F. J., Gilabert, M.A. and J. Meliá (2003). Estimación de la reflectividad foliar a partir de medidas de la signatura direccional hot spot. En esta publicación.
- García-Haro, F.J., Gilabert, M.A. y J. Meliá (1996). Linear spectral mixture modelling to estimate amount of vegetation from optical spectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3373-3400.
- García-Haro, F.J., S. Sommer y T. Kemper (2003). Variable multiple endmember spectral mixture analysis (VMESMA), *International Journal of Remote Sensing* (enviado).
- García-Haro, F.J., Camacho-de Coca, F. y Meliá, J. (2003). Metodología para derivar productos de vegetación con datos SEVIRI/MSG: II. Inversión del modelo DISMA. En esta publicación.
- Martínez, B., García-Haro, F.J., Camacho-de Coca, F. y J. Meliá (2003). Validación de productos de vegetación derivados del sensor SEVIRI/MSG. En esta publicación.
- 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: 20.455-20.468.7
- Roujean, J.L., and Lacaze, R. (2003). Global mapping of vegetation parameters from POLDER multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation. *Journal of Geophysical Research* (en prensa).

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a una beca de investigación del proyecto LSA SAF (EUMETSAT). Los datos POLDER han sido facilitados por el proyecto DAISEX. Los datos sintéticos SEVIRI han sido producidos por MétéoFrance en el marco de LSA SAF.

