

UN MODELO DE REFLECTIVIDAD ÓPTIMO PARA SIMULAR GRANDES ESCENAS Y ANALIZAR EFECTOS ANGULARES EN TELEDETECCIÓN

F. J. GARCÍA-HARO (* y **), F. CAMACHO-DE COCA (*), J. MELIÁ (*) y M. A. GILABERT (*)

javier.garcia@jrc.it

(*) Dept. de Termodinámica. Fac. de Física. Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)

(**) EGEO Unit. Space Applications Institute. Joint Research Center. TP 261. I-21020 Ispra (Va). Italia.

RESUMEN: Presentamos un modelo de reflectividad de cubiertas heterogéneas, que reproduce con gran realismo las firmas espectrales y angulares de las superficies naturales. El modelo caracteriza el BRDF de las superficies por medio de un conjunto de parámetros fundamentales (cobertura vegetal, distribución espacial, LAI, coeficiente de atenuación o propiedades ópticas), teniendo en cuenta los efectos no lineales en el interior de la misma. También parametriza la textura de la cubierta, la rugosidad del suelo, el relieve del terreno, y las condiciones atmosféricas. Los resultados indican que el modelo predice adecuadamente las características fundamentales del BRDF, como concavidad y *hotspot*. Además, su eficiencia computacional y la robustez de los algoritmos posibilitan simular escenas realistas a varias escalas (por ejemplo regional) y datos hiper-espectrales.

ABSTRACT: A model for light interaction has been developed to compute spectral and bidirectional reflectance from discontinuous canopies approximated by an arbitrary configuration of porous (partially-transmitting) plants. The model is influenced by parameters of canopy, such as LAI, coefficient of attenuation and leaves transmittance in order to compensate for errors due to multiple scattering in vegetation canopies that lead to non-linear mixing. Model also accounts for texture in canopy envelopes, and roughness and relief in surface background. The model predicts the basic features of the BRDF, i.e., bowl shape and the hotspot but unlike common models it is well suited to address the spectral and spatial domains, providing a fast and efficient strategy to derive hyperspectral images at appropriate spatial resolutions (eg. regional scale) over a wide range of ecosystems.

Palabras clave: BRDF, modelo de reflectividad, cubierta vegetal, simulación, efectos angulares.

INTRODUCCIÓN

La reflectividad de las superficies naturales depende de la configuración de observación e iluminación. Por ello, la estimación de la BRDF está jugando un papel cada vez más activo en teledetección, con la aparición de sensores multiangulares como MISR o POLDER. Además, el uso combinado de sensores, como los futuros SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible & InfraRed Imager*) a bordo del MSG y AVHRR-3, a bordo de la EPS, nos permitirán aumentar el muestreo angular, y, por tanto, una mejor caracterización de la BRDF. LandSAF es un proyecto de EUMETSAT que pretende determinar las posibilidades reales que la combinación de datos SEVIRI/MSG y AVHRR-3/EPS ofrecerá para el estudio de la superficie terrestre. Previamente a que

estén disponibles estas imágenes, la modelización de escenarios realistas se presenta como una herramienta imprescindible para analizar el problema, permitiendo explotar las posibles ventajas que la información angular proporcionará para el estudio de superficies vegetales. En particular, para cubiertas vegetales hemos desarrollado un modelo híbrido que combina un modelo óptico geométrico (pues los mecanismos que gobiernan la BRDF están principalmente relacionados con el patrón de sombras vistas por el sensor) con una teoría promedio de la transmisión de la radiación, que tiene en cuenta efectos no lineales en el interior de la cubierta. Las plantas son idealizadas como objetos porosos, influenciados por parámetros estructurales como LAI y coeficiente de extinción, o transmisividad de las hojas.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Es una extensión de modelos anteriores con mejoras muy significativas (García-Haro, 1997; Gilabert *et alii*, 2000). El modelo identifica 3 componentes fundamentales: suelo, vegetación y elementos sombreados. Calcula, mediante métodos proyectivos altamente optimizados, una serie de parámetros geométricos. Para cada celdilla (de tamaño 0.5-1m) en que se subdivide la escena, se traza un rayo desde el sensor al centro de la misma y se calcula la longitud de penetración en la cubierta, teniendo en cuenta que puede interceptar más de una planta (especialmente para grandes ángulos), la cuál permite parametrizar la contribución del suelo en la señal. A continuación se proyecta un rayo desde la posición de la primera intercepción en dirección al sol, y se calcula nuevamente la longitud de penetración a lo largo de la trayectoria, con el fin de estimar la iluminación que recibe, y lo mismo se realiza para el centro de la celdilla, para estimar la iluminación del suelo de fondo. Un modelo de transferencia utiliza todos estos parámetros geométricos, así como parámetros estructurales de las plantas individuales (LAI, opacidad) o propiedades ópticas de hojas y suelo, para calcular la signatura espectral de cada píxel, en el intervalo [0.4,2.5] μm , con resolución espectral de 5 nm. Finalmente, se aplica una convolución de las imágenes con las características espaciales (PSF) y filtros espectrales del sensor deseado. Las características de los sensores más comunes están disponibles. El modelo permite especificar las direcciones de observación e iluminación para reproducir la repuesta de sensores multiangulares. describimos brevemente sus características básicas.

- Caracteriza el BRF a partir de variables conectadas con parámetros medibles y/o con significado físico (densidad de plantas, LAI, coeficiente de atenuación o propiedades ópticas), facilitando su interpretación e incluso su estimación mediante inversión.

- Permite acomodar diferentes figuras geométricas y tamaños para representar árboles/arbustos, y sus densidades/distribuciones espaciales, teóricas (estadísticas o regulares) o importadas de situaciones reales (usos de suelo o inventarios forestales).

- Utiliza un modelo de reflectividad no-Lambertiano para modelar la topografía del terreno (que se puede incorporar si se dispone del MDT del área de estudio), la rugosidad del suelo y la textura de la cubierta. Para simular éstos últimos el modelo ofrece al analista el uso de diferentes patrones estadísticos.

- Permite simular diferentes suelos de fondo a partir de mezclas de materiales (composición de suelos, rocas, hierba o agua) para reproducir casos reales.

- Parametriza los flujos de radiación incidentes, permitiendo especificar el modelo de atmósfera.

- Proporciona un marco ideal para analizar efectos de escala y reproduce con éxito las relaciones básicas entre reflectividad, cobertura y LAI.

- Su característica fundamental es la eficiencia computacional, que le permiten simular escenarios realistas a varias escalas, incluyendo grandes imágenes (escala regional) y datos hiper-espectrales.

RESULTADOS

El modelo nos ha servido para investigar la influencia de variables fundamentales que afectan al BRF, tales como la cobertura vegetal, el LAI, la distribución espacial y de tamaños de plantas, y las propiedades ópticas de hojas y del suelo de fondo.

Investigación de efectos direccionales

Una adecuada interpretación y explotación de los datos de teledetección implica la correcta caracterización de las propiedades geométricas de la reflectividad, para lo cual se precisa disponer de valores de BRF para un conjunto significativo de configuraciones geométricas. Hemos simulado un gran número de cubiertas, y variando los ángulos de iluminación/observación (ver ejemplos de transectos a lo largo del plano principal solar en la figura 1). Las dos primeras columnas representan áreas arbustivas con una distribución espacial bastante aleatoria y cobertura variable. Las tres siguientes representan áreas forestales con una composición mixta de grandes árboles de hoja caduca y de marrojal. El caso con cobertura del 29% podría representar una Dehesa (del centro y sur de España) con grandes espacios entre especies arbóreas (*Fagus sylvatica*), que coexisten con especies subdominantes de arbusto bajo (*Quercus*). Para -30° no existen sombras y existe un máximo en la reflectividad. El modelo nos ha permitido reproducir los efectos angulares dominantes, como el *hotspot*, la forma cóncava (*bowl-shape*) ligeramente asimétrica, con valores mayores en la dirección de retro-propagación (ángulos negativos), en que la proporción de sombras disminuye. Además, hemos investigado la influencia en el BRF de factores como el ángulo de iluminación, la forma de las plantas (las más alargadas proyectan más sombras), el LAI (cuanto menor es éste, las sombras son más atenuadas) o la distribución espacial, que puede ocasionar ángulos privilegiados en plantaciones regulares.

Imágenes simuladas

La figura 2 muestra varios ejemplos de imágenes simuladas. El ejemplo (a) podría corresponder a un ecosistema pre-alpino, con una topografía acusada, grandes árboles y densidad alta de arbustos; el caso (b) a un clima húmedo, con grandes árboles de hojas anchas; los

casos (c) y (d) a zona forestal Mediterránea, por su estratificación y variedad en usos de suelo. En la figura (c), la parcela central junto al río podría representar una plantación forestal joven, mientras que en la figura (d) representaría un estadio posterior de la mismas, tras un largo periodo de regeneración natural. En la figura (d) se aprecian efectos direccionales, pues hemos reproducido la adquisición desde un sensor situado a una altura baja (250 m). Pueden apreciarse efectos multiangulares,

ya que los extremos izquierdo y derecho de la imagen corresponden a ángulos cenitales de observación de -45° y 45° , respectivamente. Se observa cómo que para ángulos negativos la proporción de sombras es menor (siendo nulas en la dirección del *hotspot*, -30°), y viceversa, y que la proporción de suelo es mayor a lo largo de la línea de vuelo, y disminuye conforme nos alejamos de ésta, al aumentar la oclusión del suelo por plantas.

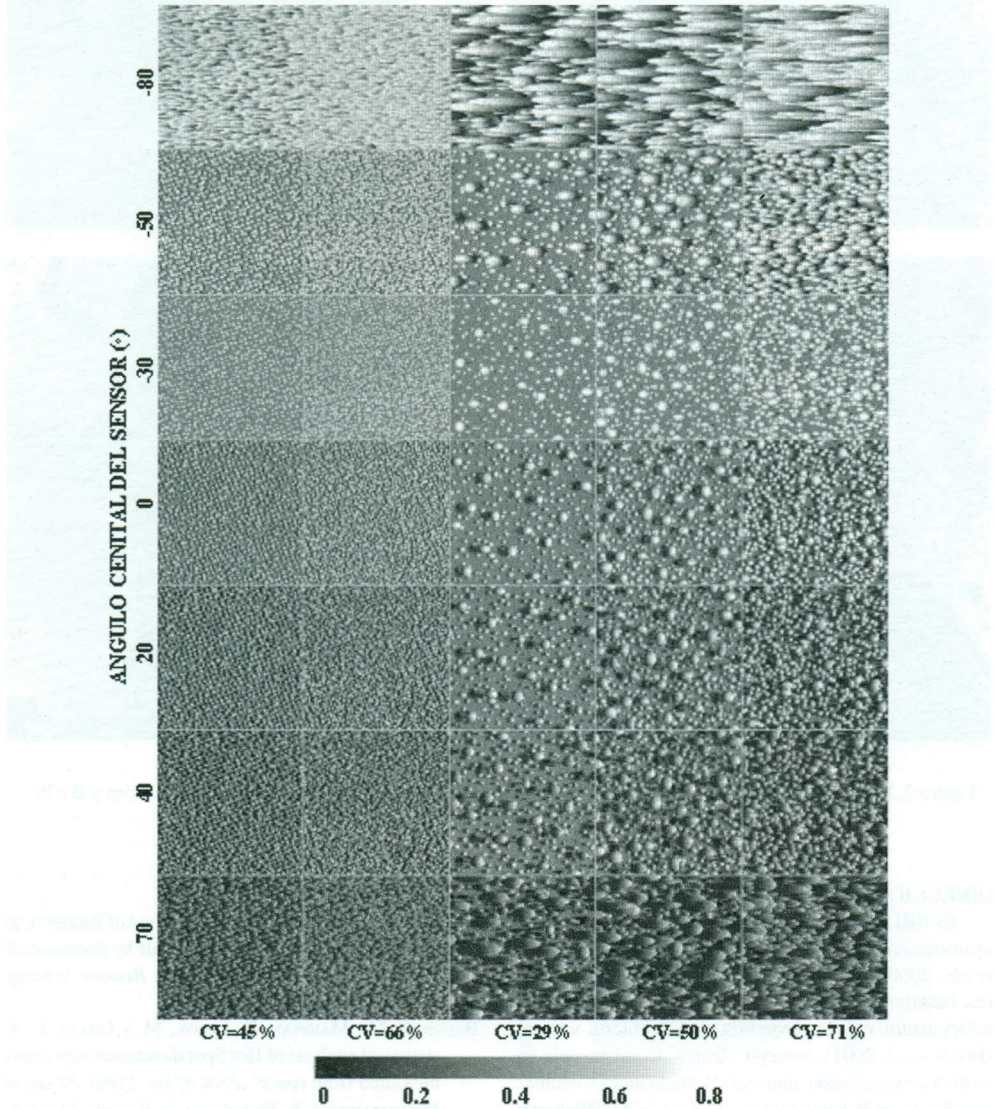


Figura 1. BRF, en TM4, de varias escenas simuladas. El ángulo cenital solar, θ_s , es de 30° .

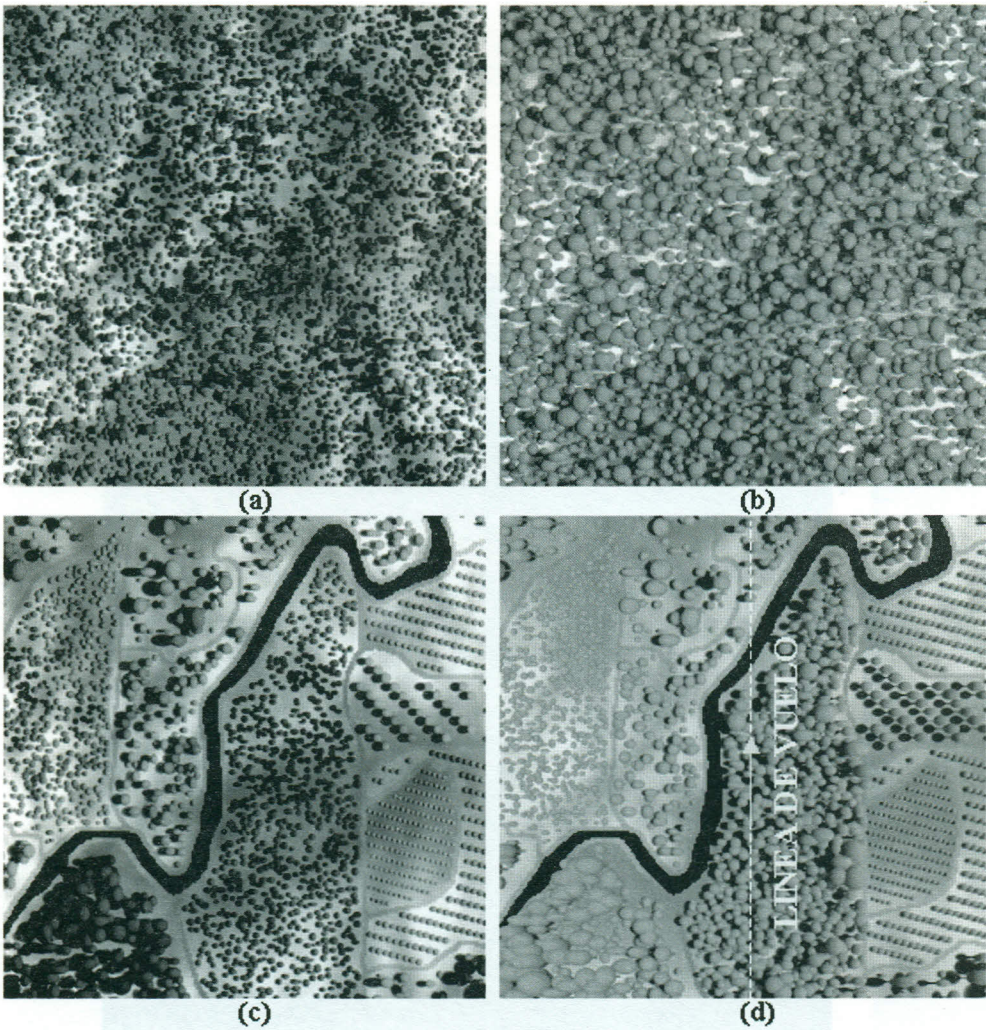


Figura 2. Falso color (TM3-4-5) de imágenes simuladas, con tamaño 500×500m, resolución de 0.5m y $\theta_s=30^\circ$.

DIRECCIONES FUTURAS

El BRDF de la cubierta vegetal proporcionará una información adicional a la del nadir (Camacho-de Coca *et alii*, 2000) que nos permitirá definir índices angulares, basados en la signatura del *hotspot*, directamente relacionados con la estructura de la cubierta vegetal (Breon *et al*, 2001), corregir efectos de anisotropía en índices de vegetación, mejorar clasificaciones o estimar parámetros biofísicos como el LAI o la FAPAR (Bicheron y Leroy, 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- BICHERON, P. y LEROY, M., 1999, A Method of Biophysical Parameter Retrieval at Global Scale by Inversion of a Vegetation Reflectance Model. *Remote Sensing of Environment*, 67: 251-266.
- BREON, F. M., MAIGNAN, F., LEROY, M. y GRANT, I., A statistical analysis of Hot Spot directional signatures measured from space", *Proc. 8th Int. Symp. Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing. Aussoi (Francia)*, 8-12 Enero 2001

CAMACHO-DE COCA, F., MARTINEZ, B., GILABERT, M.A. y MELIÁ, J., Reflectance Anisotropy Analysis of Homogeneous Canopies Using Laboratory and HyMAP Airborne Data. *Proc.EOS/SPIE Symposium on Remote Sensing*. Barcelona, Septiembre 2000.

GARCÍA-HARO, F.J., 1997, Modelización y estimación de parámetros relacionados con la cubierta vegetal en teledetección, Tesis doctoral, Univ. de Valencia.

GILABERT, M.A., GARCÍA-HARO, F.J. & MELIÁ, J., 2000, A mixture modeling approach for estimate vegetation parameters in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 72(3):328-345.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado mediante una beca post-doctoral del JRC (Ispra), de la Unión Europea.