

INFLUENCIA DE PARÁMETROS ESTRUCTURALES Y ÓPTICOS EN LA SIGNATURA DIRECCIONAL HOT SPOT DE CUBIERTAS VEGETALES SIMULADAS CON DART

F. Camacho-de Coca ⁽¹⁾, F. Gascón ⁽²⁾, J.P. Gastellu-Etchegorry ⁽³⁾ y M. Leroy ⁽⁴⁾

Fernando.Camacho@uv.es

(1) Dpto. de Termodinàmica. Universitat de València
C/ Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)

(2) ESA(European Space Agency)-Earth Science División
Keplerlaan 1, 2200 AG Noordwijk. The Netherlands

(3) CESBIO(Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère)
18, av. Edouard Belin. CNES Bpi 2102. 31401 Toulouse Cedex 4. France

(4) Médias-France
18, av. Edouard Belin. CNES Bpi 2102. 31401 Toulouse Cedex 4. France

RESUMEN

La signatura direccional de las cubiertas vegetales esta directamente relacionada con los parámetros estructurales y propiedades ópticas de la cubierta vegetal, tanto en el dominio del hot spot como fuera de él. En este trabajo presentamos los resultados de una simulación diseñada para evaluar la influencia de estos parámetros a la signatura direccional hot spot. Para ello hemos utilizado el modelo de transferencia radiativa DART (*Discrete Anisotropic Radiative Transfer*), y considerado diferentes escenarios variando el LAI (*Leaf Area Index*), la FVC (*Fractional Vegetation Cover*), la altura de la copa, y las propiedades ópticas de las hojas. Mediante una función apropiada hemos obtenido la semianchura y amplitud del hot spot, y calculado el índice de anisotropía (ANIX) para cuantificar la influencia de los parámetros considerados en la anisotropía de la signatura direccional. Los resultados revelan que la semianchura del hot spot es también sensible a las propiedades ópticas de las hojas, y que la amplitud es dependiente del LAI y la FVC siendo solo posible estimar la reflectividad foliar en cubiertas densas y homogéneas. La anisotropía de la signatura direccional es superior en los casos con cobertura mas baja (30%), siendo en el rojo donde presenta mayor sensibilidad a los parametros estructurales.

ABSTRACT

The hot spot directional signature of vegetation canopies is directly related to structural parameters and optical properties of the canopy. In this paper, we present the results of a simulation designed to evaluate the influence of these parameters in the hot spot directional signature. For doing so, the Discrete Anisotropic Radiative Transfer (DART) model has been used; Several scenarios have been simulated with FVC, LAI, crown height and leaf optical properties varying. The hot spot directional signature has been fitted to an appropriate function of the phase angle, and the amplitude and half width of the hot spot has been retrieved. In addition, the anisotropy index (ANIX) has been obtained over the broad directional signature. This study shows that the hot spot half width is very influenced by the leaf optical properties that hampers the discrimination of vegetation canopies from the half width. The hot spot amplitude is dependent of the vegetation coverage and LAI, and less sensitive to the high of the cover. For retrieval of leaf reflectance from the amplitude a homogeneous and dense canopy is required. The anisotropy of directional signature is higher for the lowest vegetation cover considered in the study. The red spectral region has been shown as more sensitive to structural parameters variations.

Palabras claves: Signatura Direccional, Hot Spot, Anisotropía, DART, Cubiertas Vegetales

INTRODUCCIÓN

Por signatura direccional hot spot entendemos aquella signatura direccional que incluye también el efecto hot spot. Es decir, la variación de la reflectividad con el ángulo de

observación a lo largo del plano principal y con una resolución adecuada ($<0.5^\circ$) en el dominio hot spot que permita reproducir este efecto. Por ello, en este trabajo consideramos dos resoluciones angulares

diferentes de la signatura direccional. A baja resolución direccional el efecto hot spot no se puede apreciar, predominando los efectos de la macroestructura de la cubierta vegetal caracterizada principalmente por tres parámetros: la fracción de cubierta vegetal, FVC, que nos informa de la distribución horizontal de la vegetación, el índice foliar, LAI, de la escena y la altura de copa, que determinan el volumen y la densidad del espacio tridimensional que ocupa la vegetación. Además, hemos considerado una resolución angular fina (0.3°) con la que podemos investigar el efecto hot spot, efecto que nos permite acceder a información relacionada con la microestructura (hoja) de la cubierta vegetal. Así, mientras la semianchura del hot spot se relaciona con la dimensión foliar, el LAI y la altura, su amplitud es proporcional (y permite estimar) a la reflectividad foliar (ver Camacho-de Coca *et alii.*, 2003).

La correcta comprensión de la influencia de estos parámetros en la distribución angular de la reflectividad espectral o BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) de las cubiertas vegetales es necesaria para el ulterior desarrollo de técnicas que permitan la estimación de parámetros biofísicos de la vegetación mediante teledetección. Para ello, los modelos de transferencia radiativa son una herramienta fundamental. En este trabajo hemos utilizado el modelo de transferencia radiativa DART (*Discrete Anisotropic Radiative Transfer*) (Gastellu-Etcheberry *et alii.*, 1996) en su modo directo. Nuestro objetivo ha sido analizar la influencia de los parámetros estructurales y ópticos sobre la signatura direccional hot spot. Las conclusiones que se derivan estarán supeditadas, obviamente, a las hipótesis del modelo.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

DART combina los principios físicos de transferencia radiativa con los principios de la óptica geométrica, con lo que consigue resolver la propagación de la radiación en cubiertas discontinuas y la simulación de medidas de teledetección. DART simula escenas tridimensionales que divide en células, las cuales determinan la resolución espacial del modelo. Las propiedades ópticas de cada célula se caracterizan con la función de fase. La dispersión de radiación en la célula puede ser de superficie o de volumen. La función de fase correspondiente a la dispersión de superficie se utiliza en aquellos elementos donde la transmisividad de la reflectividad es nula (e.g. tronco suelos). En cambio, las células que representan las hojas o el aire son caracterizadas con una función de fase de volumen. Esta función, que es derivada analíticamente, representa las difusiones simples y

múltiples que se producen en el interior de la célula (Gastellu-Etcheberry *et alii.*, 1996). La BRDF del suelo se puede modelar utilizando diferentes aproximaciones. El efecto hot spot se considera con el modelo estadístico de Kuusk (1985). Previamente al cálculo de transferencia radiativa tendremos que discretizar el espacio direccional, definir las propiedades ópticas de la atmósfera y de la cubierta para calcular las funciones de fase, y determinar precisamente la arquitectura del paisaje mediante la generación de la maqueta. Todo esto se realiza utilizando una versión mejorada de DART (Gascon, 2002). La principal salida del modelo es la BRDF en el techo de la atmósfera y en el techo de la cubierta, esta última es la que nosotros utilizamos.

PROTOCOLO DE SIMULACION

En primer lugar se discretizó el espacio direccional, y se determinó una resolución de 10° en el ángulo cenital. Posteriormente, se introdujo un muestreo adicional en la región del hot spot, con una resolución angular de 0.3° , similar a la que tenemos en POLDER. Esto nos permitió evaluar la influencia de los parámetros de interés sobre dos características de la BRDF, su grado de anisotropía y el hot spot. Posteriormente, se determinaron las propiedades ópticas de la atmósfera y la vegetación. La iluminación atmosférica se escogió isotrópica, con una componente difusa caracterizada por el SKYL (*Sky Light*) o fracción de radiación difusa sobre la radiación total. Las propiedades ópticas de las hojas se hicieron variar tal y como se describe más adelante. Finalmente, se crearon las maquetas. En primer lugar, se caracterizó la BRDF del suelo utilizando el modelo de Hapke (Hapke, 1981). El modelo fue ajustado a una serie de datos de campo adquiridos durante DAISEX'99 (Camacho-de Coca *et alii.*, 2003).

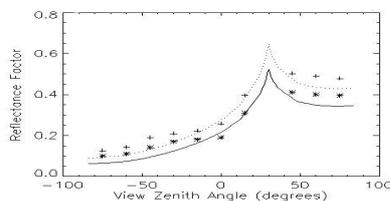


Figura 1.- Signatura direccional hot spot utilizada en la simulación DART (líneas), y datos de campo obtenidos con el FIGOS para un suelo arcilloso.

La figura 1 muestra los datos de campo y la signatura direccional del modelo Hapke, que fue fijada para toda la experiencia. El albedo considerado fue de 0.5 en el rojo y 0.6 en el IRC (InfraRojo Cercano). La información del suelo va a ser especialmente importante ya que vamos a

trabajar con escenarios de cobertura vegetal escasa. La amplitud del hot spot del suelo fue de 0.08 y 0.1 en el rojo e IRC, y su semianchura de 3.8° en ambos casos. El índice de anisotropía del suelo es de 6.8 y 5.8 en el rojo e IRC respectivamente

El último paso es construir la escena 3D determinando para ello la posición exacta de los árboles, el radio (0.25m) y altura (5m) de los troncos, así como la forma (elipsoidal) y dimensiones de las copas (la altura H fue un parámetro que hicimos variar). El número de árboles considerados y la disposición de los mismos fue idéntica a la utilizada por Esteve (1998), diseñada para minimizar el tiempo de cálculo, utilizando sólo 4 árboles, y sin que se viera afectada la BRDF resultante, es decir, que se conservara el galibo de la BRDF de un bosque. La FVC también fue un parámetro libre, y se modificó variando las dimensiones de la maqueta y manteniendo la posición relativa de los árboles en ella, o dicho de otro modo aumentando la distancia entre árboles. El resto de parámetros fijos fueron el SKYL=0.2, la BRDF del suelo, el ángulo cenital solar (30°), el LAD (esférico), la reflectividad del tronco (0.2 rojo, 0.3 IRC) y la dimensión foliar (D=0.1m). Los parámetros libres que se hicieron variar fueron el LAI (2,4), la FVC (0.3, 0.6, 0.9), la altura de la copa (2, 8, 20 m). Respecto a las propiedades ópticas de las hojas se consideró la transmisividad igual a la reflectividad, que tomo tres valores en el rojo (0.4, 0.6, 0.8) y tres en el IRC (0.35, 0.40, 0.45), lo que hace un total de 108 casos.

La signatura direccional hot spot del modelo se ajusta a la siguiente función del ángulo de fase (ξ) para obtener la amplitud (a) y la semianchura (ξ_0):

$$R = a \exp(-\xi / \xi_0) + b\xi + c \quad (1)$$

La anisotropía se cuantifica utilizando el índice de anisotropía, ANIX, definido como la razón entre el valor máximo y mínimo de reflectividad en un plano de observación determinado, en este caso el plano principal. Para obtener información relativa a signatura direccional a baja resolución angular (sin considerar el efecto hot spot), el máximo ha sido obtenido como el valor promedio de los puntos comprendidos entre $\pm 3^\circ$ del hot spot.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra el efecto de variar la altura sobre la signatura direccional de un escena con FVC=0.3 y LAI=4, en el rojo y en el IRC. Podemos apreciar que, en el IRC, los mayores efectos se producen en la dispersión hacia adelante, con un desplazamiento sensible del mínimo. Este

aumento de la reflectividad en la dispersión hacia adelante se conoce como *gap effect*, y tiene que ver con el aumento de la proporción de vegetación observada con ángulos oblicuos. Este aumento será mas pronunciado cuanto más alta sea la cubierta. Sin embargo, en el rojo las mayores variaciones ocurren en la retrodispersión.

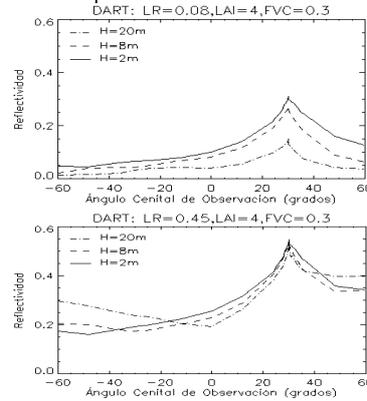


Figura 2.- Influencia de la altura (H) en la signatura direccional hot spot para 2 intervalos espectrales rojo (arriba) e IRC (abajo). LR es reflectividad foliar.

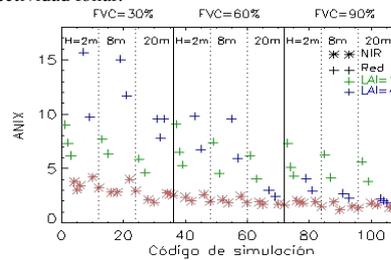


Figura 3.- Índice de Anisotropía (ANIX) de la Signatura Direccional para el conjunto de escenarios simulados.

El ANIX para todos los casos se muestra en la figura 3 de la que destacamos lo siguiente: (i) La anisotropía de la BRDF es mayor en las escenas con cobertura vegetal menor (tendencia que en el rojo debe truncarse para valores inferiores al 30% ya que el ANIX del suelo desnudo es inferior a 7). (ii) La anisotropía es menor cuanto mayor es el albedo foliar, presentando una clara dependencia espectral. En el rojo, donde domina la dispersión simple, la signatura direccional es mas sensible a los diferentes parámetros estructurales. Siendo esta, por tanto, la región más adecuada para establecer relaciones entre los índices direccionales y los parámetros estructurales. (iii) En el rojo la anisotropía disminuye cuando aumenta la altura de la cubierta

vegetal (*gap effect*). (iv) La influencia del LAI en la signatura direccional en el rojo depende del nivel de cobertura vegetal. Para FVC del 30% la BRDF es más anisótropa cuando el LAI aumenta, ya que al aumentar el LAI disminuye la transmisividad de la radiación a través de la copa, con lo que disminuye la reflectividad observada en la dispersión hacia delante (*backshadow effect*). Cuando la FVC es alta, un LAI inferior permite una mayor transmisividad y por tanto que los efectos anisótropos del suelo tengan una mayor importancia.

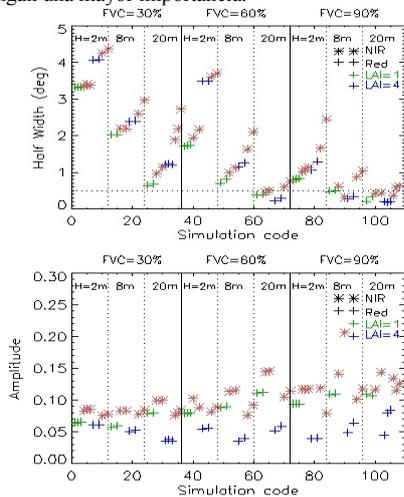


Figura 4.- Semianchura (arriba) y amplitud (abajo) del hot spot para el conjunto de escenarios simulados.

La figura 4 muestra la semianchura y la amplitud del hot spot para todos los casos. La semianchura es, siempre, mayor en el IRC que en el rojo. Es decir esta es mayor cuando el albedo de la hoja aumenta, y la dispersión múltiple, aumentan. Hecho que no recoge la teoría del hot spot basada en la ocultación de sombras. Si bien, la semianchura se muestra claramente dependiente de parámetros como la H, el LAI o la FVC, la dependencia con la reflectividad espectral origina gran variabilidad en cubiertas con parámetros estructurales similares. Se observa que la semianchura disminuye a medida que aumenta la cubierta vegetal. Esto es así, en parte, debido a que se ha considerado una semianchura para el suelo desnudo de 4° que, sin embargo, es mayor de la obtenida con datos experimentales (aprox. 1°), con lo que en la realidad no esperamos tener esta tendencia tan marcada del hot spot con la FVC.

La amplitud del hot spot muestra, como era de esperar, una tendencia con las propiedades ópticas de las hojas. Aquí lo que nos interesa es ver si esta amplitud está afectada por los parámetros

estructurales. Podemos apreciar que la amplitud es principalmente sensible al LAI, y bastante independiente de la altura de la cubierta. Cuando el LAI de la escena es 1, la amplitud recoge la contribución del hot spot del suelo, y presenta unos valores similares a los del NIR con independencia de la cobertura vegetal. Cuando el LAI es 4, los valores de la amplitud obtenida en el rojo e IRC divergen a medida que aumenta la cobertura vegetal, lo que es un buen indicativo de que, para cubiertas completas y densas, la amplitud del hot spot está directamente relacionada con la reflectividad foliar (ver Camacho-de Coca *et alii.*, 2003)

CONCLUSIONES

Este estudio revela que la anisotropía de la signatura direccional es más sensible a los parámetros estructurales en la banda roja. También que la dependencia de la semianchura del hot spot a las propiedades ópticas enmascara la influencia de los parámetros estructurales haciendo difícil la explotación de esta información para discriminar cubiertas vegetales. Por último, la amplitud presenta una importante variabilidad con el nivel de cobertura vegetal y el LAI, confirmando que esta información solo permitirá estimar la reflectividad foliar en cubiertas densas y homogéneas.

REFERENCIAS

- Camacho-de Coca, F. Leroy, M., García-Haro, F.J., Gilabert, M.A. y Meliá, J. (2003). Estimación de la reflectividad foliar a partir de medidas de la signatura direccional hot spot. Publicado en este volumen.
- Esteve, P., (1998). Inversion du Modele de Transfert Radiatif DART. These Université Paul Sabatier, 145 pp. (Toulouse, Francia).
- Gascon, F., (2002). Modélisation Physique d'Images de Télédétection Optique. These Université Paul Sabatier, 165 pp.(Toulouse, Francia).
- Gastellu-Etchegorry, J.P., V. Demarez, V. Pinel and F. Zagolski, (1996). Modeling Radiative Transfer in Heterogeneous 3-D Vegetation Canopies. *Remote Sensing of Environment*, 58: 131-156.
- Hapke, B. and Welles, E. (1981). Bidirectional Reflectance Spectroscopy:2. Experiments and Observations. *Journal of Geophysical Research*, D86, 3055-3060.
- Kuusk, A. (1985). The hot spot effect of uniform vegetative cover. *Soviet Journal of Remote Sensing*, 3: 645-658.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a una ayuda para estancias breves en el extranjero de la Generalitat Valenciana del año 2001 que se realizó en CESBIO (Toulouse)

