

# ESTIMACION DE HUMEDAD DEL SUELO CON EL SISTEMA SAC-D/AQUARIUS: COMPARACION ENTRE MODELOS DE EMISIVIDAD

F. Grings<sup>1</sup>; C. Bruscantini<sup>1</sup>; P. Ferrazzoli<sup>2</sup>; P. Perna<sup>1</sup>; H. Karszenbaum<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina,  
[verderis@iafe.uba.ar](mailto:verderis@iafe.uba.ar).

<sup>2</sup> Universidad Tor Vergata, Ingegneria – DISP, Vía del Politecnico 1 00133 Roma, Italia.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una comparación entre la temperatura de brillo de un bosque estimada utilizando un modelo de emisividad simple (transferencia radiativa a primer orden) y uno complejo (transferencia radiativa a orden arbitrario + aproximaciones scattering para componentes de la vegetación). El objetivo es evaluar el error cometido al utilizar un modelo inverso simple con datos generados por un modelo directo complejo, los cuales presentan características más similares a los datos reales. Como es sabido, la emisividad de superficies reales es muy compleja, depende fuertemente de las características y condición de la cobertura vegetal y no puede ser completamente modelada con un esquema simple. Como ejemplo, la comparación fue llevada a cabo para un bosque de biomasa intermedia, donde se esperan mayores discrepancias entre ambos modelos. El análisis de las simulaciones permite testear en qué casos los desacuerdos entre modelos son importantes, y como estos desacuerdos se mapearan en el retrieval de humedad del suelo. En particular, se caracterizó un conjunto de *artifacts* asociados al formalismo mismo de RT-0, los cuales conllevarían una sobre-estimación de la humedad del suelo obtenida a través de sistemas de microondas pasivas utilizando como modelo inverso el formalismo de RT-0. En las conclusiones se propone como una solución posible a este problema, el ajuste de los parámetros auxiliares del modelo inverso.

Palabras clave – Humedad del suelo, modelo inverso, modelo directo

## 1. INTRODUCCION

La estimación de humedad del suelo (SM,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) utilizando datos de microondas pasivas es un problema abierto. Esto se debe a varias razones, pero una de las más importantes es que los esquemas de *retrieval* más populares se basan en modelos inversos simplificados (Crow et. al., 2001). En general, los modelos inversos tienen varios problemas asociados. Primero, para estimar correctamente SM, muchos algoritmos de *retrieval* utilizan información auxiliar sobre la cobertura del terreno (contenido de agua de la vegetación (VWC,  $\text{Kg}/\text{m}^2$ ), rugosidad de suelo, temperatura superficial del suelo, etc.), que usualmente se conocen a mayor resolución que los datos de microondas pasivas, caracterizados por resoluciones espaciales bajas ( $\sim 30$  Km). Esto lleva al problema de agregar datos auxiliares de alta resolución para producir un producto de baja resolución de humedad de suelo. El efecto de cada estrategia de agregación fue estudiado anteriormente para algoritmos de humedad del suelo basados en otros instrumentos y fue evaluado recientemente para el futuro producto humedad del suelo de SAC-D/Aquarius (Bruscantini et. al., 2012).

La segunda fuente de incertidumbre en la humedad del suelo estimada está relacionada directamente a las bases teóricas del algoritmo de *retrieval* de humedad del suelo. El algoritmo más utilizado en una solución a primer orden de la ecuación de transferencia radiativa para la vegetación (RT-0). Este modelo es usualmente elegido debido a que es capaz de relacionar temperaturas de brillo ( $T_b$ ) medidas a valores de SM y VWC con un formalismo simple, que lleva directamente a un algoritmo de *retrieval* accesible. Sin embargo, este esquema simplificado no toma en cuenta el scattering múltiple dentro de la canopia y entre la vegetación y el suelo. Esto tiene fuertes implicancias en la emisividad total de la vegetación. En particular, la relación entre  $T_b$  y VWC es más compleja que la predicha por una aproximación a primer orden y esto tiene implicancias importantes para el *retrieval*.

Con el objetivo de testear un algoritmo de *retrieval* simple basado en el modelo RT-0, en este trabajo se implemento un modelo de emisividad complejo derivado de un modelo de scattering teórico. Este se basa en modelar las propiedades de scattering de los distintos elementos de la vegetación, y modelar su interacción utilizando el formalismo de transferencia radiativa a un orden arbitrario (Della Vecchia et. al., 2010). Las simulaciones de ambos modelos se comparan de manera de estudiar los efectos de una asimetría entre el modelo directo y el inverso en una aplicación de *retrieval* de humedad del suelo real. En particular, estudiaremos el efecto sobre un bosque genérico, debido a que este tipo de coberturas presenta los desafíos más importantes a la hora de determinar si es posible y con qué error puede determinarse la humedad del suelo. En general, los *retrievals* basados en RT-0 funcionan aceptablemente en suelos con poca cobertura vegetal, pero presentan errores importantes en arbustales y bosques con biomasa baja a moderada (Crow et. al., 2005).

## 2. METODOLOGIA

A primer orden, la ecuación de transferencia radiativa modela la emisividad de una canopia como la suma de los términos de radiación emitida por sus distintos componentes (hojas, ramas) (Kerr et. al., 1990). La vegetación se caracteriza con tres parámetros, *single scattering albedo*  $\omega$ , coeficiente de atenuación  $b$  y VWC. El suelo se caracteriza por su constante dieléctrica  $\epsilon$  y un parámetro de rugosidad global  $h$ . Como dijimos, las ventajas principales de este modelo es que es simple y está basado en principios físicos, lo cual permite un *retrieval* robusto.

El modelo teórico subdivide la vegetación en tres regiones: canopia, troncos y suelo. La canopia está compuesta por dispersores que representan hojas y ramas. Diversas aproximaciones se utilizan para modelar las propiedades electromagnéticas de los diferentes elementos de la vegetación. El *Integral Equation Model* (IEM) se utiliza para modelar la emisividad del suelo. Los detalles sobre las aproximaciones electromagnéticas y de implementación del modelo pueden encontrarse en (Della Vecchia et. al., 2010). La ventaja principal de este modelo es que es capaz de capturar las complejidades de la emisividad de un bosque como función de un conjunto comprehensivo de propiedades geométricas y dieléctricas del bosque (Ej. Distribuciones angulares de ramas y hojas, contenidos de humedad de distintos componentes de la canopia). La desventaja principal está asociada al *retrieval*, debido a que el número de variables requerido para una inversión rigurosa del modelo es muy grande. Sin embargo, aunque este modelo no sea ideal para utilizar como base de un modelo inverso, es muy adecuado para estudiar los problemas que surgen del uso de un modelo de *retrieval* simple al que se alimenta con datos reales. En resumen, RT-0 trata de simplificar para lograr un *retrieval* exitoso, lo cual lo hace perder generalidad y no permite modelar completamente la complejidad del medio. El modelo teórico apunta a modelar la complejidad del medio, con la concomitante disminución de la capacidad para realizar un *retrieval* exitoso.

## 3. RESULTADOS

Este estudio está basado en simulaciones de la temperatura de brillo de un bosque genérico de biomasa intermedia. Como dijimos anteriormente, este es una de las coberturas más críticas para evaluar el error en la estimación de la humedad del suelo basada en modelos simples, ya que la dependencia de  $T_b$  con SM es en general compleja. Esto se debe principalmente a que el scattering de bosques de biomasa intermedia es complejo (Grings et. al., 2012). La Tabla 1 muestra los parámetros de entrada a los modelos.

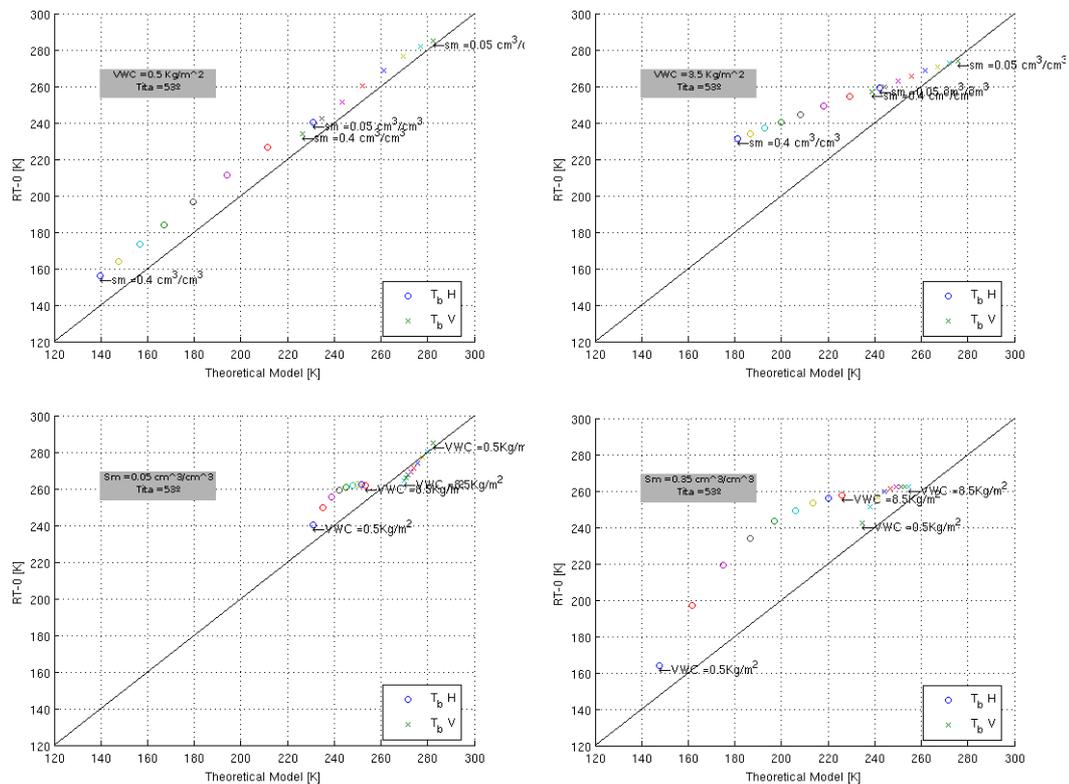
La Figura 1 muestra la comparación entre las temperaturas de brillo simuladas para ambos modelos. Se modeló  $T_b$  como función de SM (arriba) para dos valores de VWC (0.5 Kg/m<sup>2</sup> y 8.5 Kg/m<sup>2</sup>) y como función de VWC (abajo), para dos valores de SM (0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> y 0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). De manera general, cuando más cercanos estén las simulaciones a la recta 1:1, mas similares serán las estimaciones de ambos modelos y mejores resultados se

obtendrán en un retrieval de humedad del suelo basado en RT-0. Por el contrario, si las simulaciones están muy lejos de la recta 1:1, los valores estimados de humedad del suelo presentarán errores.

**Tabla 1.** Parámetros de entrada al modelo de emisividad

Parámetros de entrada al modelo RT-0	Valor
Single scattering albedo $\omega$	0.1
Coefficiente de atenuación $b$	0.12
Parámetro global de rugosidad del suelo $h$	0.1
<b>Parámetros de entrada al modelo teórico</b>	
Especie (define la ecuación alométrica)	Álamo
Extremos de la distribución de diámetros de troncos (min, max)	5 – 70 cm
Contenido de agua de la vegetación (troncos, ramas, hojas)	0.5, 0.6, 0.7 cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup>
Parámetro global de rugosidad del suelo $h$	0.1

Analizando la figura, se observa que para VWC bajos (arriba, izquierda), ambos modelos presentan comportamientos similares para todo el rango dinámico para  $T_b v$  y  $T_b h$ . Esto se debe a que ambos modelos tienen modelos de emisividad para el suelo que estiman valores similares en el rango estudiado.



**Figura 1.** Valores simulados de la temperatura de brillo para un bosque genérico de biomasa intermedia para RT-0 y el modelo teórico; (arriba izquierda)  $T_b$  como función de SM para VWC bajos; (arriba derecha)  $T_b$  como función de SM para VWC altos; (abajo izquierda)  $T_b$  como función de VWC para SM bajos; (abajo derecha)  $T_b$  como función de VWC para SM altos.

Cuando VWC aumenta (arriba, derecha), el rango de  $T_b$ 's de ambos modelos disminuye como predice la teoría. Pero RT-0 presenta un rango de  $T_b$  menor que el modelo teórico. Esto está fuertemente relacionado con la aproximación utilizada para la estimación de la opacidad de la vegetación en los distintos modelos (ver [5] en (Crow et. al., 2005)), en particular el valor de  $b$  seleccionado para este tipo de bosques (ver Tabla 1). Es también interesante estudiar la tendencia en función de VWC para distintos SMs (Figura 1, abajo). Para valores de SM bajos (abajo, izquierda), las  $T_b$ s son grandes y el rango dinámico es pequeño, como predice la teoría. Pero cuando SM aumenta (abajo, derecha),  $T_b$  presenta

un comportamiento complejo como función de VWC. En particular, los modelos están en desacuerdo para valores intermedios de VWC, pero producen valores similares en los extremos. Por supuesto, estos resultados dependen críticamente de los valores de  $\omega$  y  $b$  y del conjunto de ecuaciones alométricas utilizado.

Sin embargo, estas discrepancias tienen implicancias importantes para el *retrieval* de humedad del suelo a partir de datos pasivos utilizando el modelo RT-0. Cuando VWC es pequeño, las aproximaciones de RT-0 son adecuadas para modelar la emisividad de la superficie y los errores asociados al *retrieval* son bajos. Pero cuando VWC aumenta, las simulaciones predicen un *bias* sistemático para valores altos de SM, los cuales implicarán un *bias* en el SM estimado. Este efecto es fuertemente dependiente del valor de VWC, pero la dependencia es compleja (ver Figura 2, abajo derecha).

#### 4. CONCLUSION

Una comparación entre un modelo de emisividad simple y uno complejo se presentó como medio de evaluar el error en la utilización de un modelo simple de *retrieval*. La comparación fue llevada a cabo para un bosque de biomasa intermedia. El análisis de las simulaciones del modelo presenta la oportunidad de testear en qué casos el modelo de transferencia radiativa a primer orden es capaz de modelar exitosamente la emisividad de la superficie. En los casos donde los desacuerdos entre modelos son importantes, los efectos en el *retrieval* fueron discutidos. En particular, se observó una sobreestimación sistemática de la temperatura de brillo estimada por RT-0. En este contexto, se discutió como esta sobreestimación produciría una sobreestimación de la humedad del suelo. Es importante recalcar que estas conclusiones no implican que sea imposible realizar un *retrieval* robusto con el modelo RT-0. Por el contrario, los resultados son fuertemente dependientes de los valores de  $\omega$  y  $b$  seleccionados. En este sentido, este trabajo aporta evidencia con respecto a los efectos de una selección errónea de estos parámetros.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado mediante el proyecto AO SAOCOM n°17 y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) a través del Proyecto Jóvenes PICT 2010-2060.

#### 6. REFERENCIAS

- Bruscantini, C.A.; Grings, F.M.; Perna, P.; Karszenbaum, H.; Crow, W.T.; Jacobo, J.C.A.; , "An Observing System Simulation Experiment (OSSE) for the Aquarius/SAC-D soil moisture product," Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad), 2012 12th Specialist Meeting on , vol., no., pp.1-4, 5-9 March 2012
- Crow, W. T. et al., "An observing system simulation experiment for hydros radiometer-only soil moisture products," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 43, no. 6, pp. 1289- 1303, Jun. 2005.
- Crow, W. T. et al., "An observation system simulation experiment for the impact of land surface heterogeneity on AMSR-E soil moisture retrieval," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 39, no. 8, pp. 1622-1631, Aug. 2001
- Della Vecchia A., P. Ferrazzoli, L. Guerriero, R. Rahmoune, S. Paloscia, S. Pettinato, E. Santi, "Modeling the multi-frequency emission of broadleaf forests and their components", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, pp. 260-272, 2010.
- Grings F., et al., "C-Band Radiometric Response to Rainfall Events in the Subtropical Chaco Forest", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2012.
- Kerr Y. H., and E. G. Njoku, "A semiempirical model for interpreting microwave emission from semiarid land surfaces as seen from space," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, no. 3, pp. 384-393, May 1990