

## **MODELIZACION DE LA TRANSFERENCIA RADIATIVA EN LA ATMOSFERA. COMPARACION CON DATOS EXPERIMENTALES A NIVEL DE SUELO Y DETERMINACION DE LA REFLECTANCIA DE LA ATMOSFERA**

V.E. Cachorro, P. Durán, A. M. de Frutos, R. Vergaz

*"Grupo de Optica Atmosférica"*  
*ITAGRA, Instituto Tecnológico Agrario y Alimentario.*  
*ETSI Agrarías de Palencia. Universidad de Valladolid.*

**RESUMEN:** Se ha desarrollado un modelo de transferencia radiativa TR en la atmósfera del tipo "dos flujos" para la evaluación de la densidad de flujo espectral a nivel de suelo y de la reflectancia intrínseca de la atmósfera. La inclusión de la absorción selectiva y el albedo del suelo en el modelo permite la determinación de la reflectancia bidireccional en el límite de la atmósfera para su aplicación en la validación de metodologías de teledetección. Con el fin de validar la modelización, esta se compara con datos medidos a nivel de suelo. El modelo de TR conlleva la construcción del modelo de aerosoles acorde con las medidas experimentales.

### **INTRODUCCION**

Los modelos de transferencia radiativa en la atmósfera permiten la evaluación del campo radiativo de la misma, es decir la evaluación de las densidades de flujo ( $W m^{-2} nm^{-1}$ ) y radiancias ( $W m^{-2} sr nm^{-1}$ ) en cualquier punto ó nivel de la misma. Estos modelos contabilizan los procesos de "scattering por moléculas y aerosoles así como la absorción por parte de los componentes atmosféricos. En la rango de corta longitud de onda o solar, los procesos de "scattering" o dispersión son de la mayor importancia, lo cual presupone la necesidad de su evaluación.

Las técnicas espectroradiométricas a nivel de suelo han sido clásicamente un potente medio para el desarrollo y validación de muchas metodologías en el estudio de los fenómenos de absorción y dispersión por parte de los gases y partículas en la atmósfera. En los últimos años la observación de la Tierra desde el espacio mediante la teledetección ha potenciado aún más el uso de las técnicas espectroradiométricas y la necesidad de aplicación de los modelos de transferencia radiativa.

Los actuales proyectos de observación de la Tierra desde el espacio incorporan ya sensores de tipo multispectral y hiperespectral, representados por los

denominados "imaging spectrometers"[1] donde AVIRIS[2], MODIS-EOS[3], MOS-PRIRODA, MERIS en Envisat, etc. etc. son una buena representación de los mismos.

Ello conlleva a su vez medidas experimentales de tipo espectral a nivel de suelo cada vez más rutinarias. Es precisamente la falta de las mismas lo que ha imposibilitado un mayor uso de modelos físicos de corrección atmosférica en las imágenes de teledetección. La ventaja de estos nuevos sensores es que ellos posibilitan ya determinar los propios parámetros atmosféricos que se precisan para llevar a cabo las correcciones atmosféricas.

### **MODELO DE TRANSFERENCIA RADIATIVA**

En este trabajo se ha optado por uno de los muchos métodos existentes de solución de la ecuación de transferencia radiativa ETR en la atmósfera, denominado método de dos flujos, pues en él se integra directamente la ETR a fin de trabajar con la densidad de flujo obteniéndose dos flujos, uno ascendente y otro descendente. En el proceso se realizan diversas aproximaciones. A su vez el modelo calcula la reflectancia intrínseca de la atmósfera, la cual se compara con los resultados dados por el modelo 5S [4-5] introduciendo en ella los valores del modelo de aerosoles construido sobre los datos medidos. La ventaja es que en él realizamos la propia validación del mismo mediante su comparación con los datos experimentales medidos a nivel de suelo de la irradiancia directa y global espectral. La introducción del albedo del suelo, mediante su medida experimental [6] permite analizar su influencia sobre la irradiancia global así como modelizar la reflectancia aparente medida por el satélite. Pretendemos con ello disponer de un modelo consistente con las medidas experimentales que se utilizará para realizar la correspondiente corrección atmosférica para una aplicación dada. Nuestro objetivo en este trabajo ha sido el desarrollo y la validación del modelo mediante las medidas

experimentales realizadas.

### COMPARACION TEORICO-EXPERIMENTAL DE LAS IRRADIANCIAS SOLARES

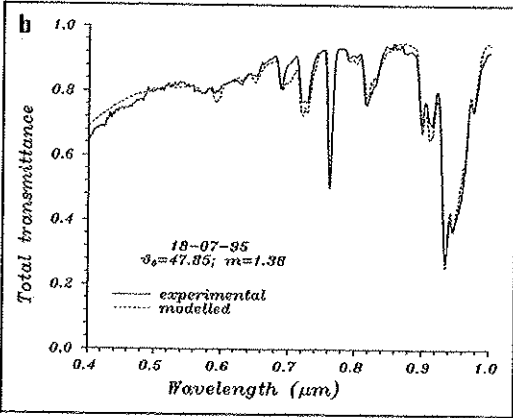
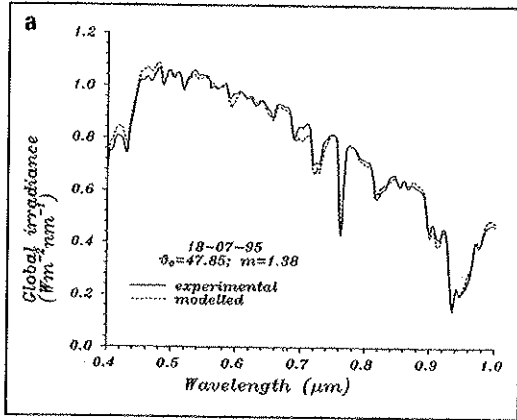


Figura 1. Comparación entre los datos experimentales y los modelizados a) irradiancia global b) transmitancia total.

En la figura 1a) mostramos la comparación para la irradiancia global (componente directa más difusa) entre los datos experimentales medidos a nivel de suelo en la fecha (18-07-95;  $m=1.38$ ) y los modelizados. La figura 1b) muestra la comparación para los datos de la transmitancia total (directa más difusa). Se observa en general, sobre más de 30 casos analizados, una buena concordancia con errores alrededor del 6% (máximos del 10%) los cuales son del orden del error de las medidas experimentales. La zona de 400-500 nm es la región espectral donde se observa una mayor variabilidad en las comparaciones.

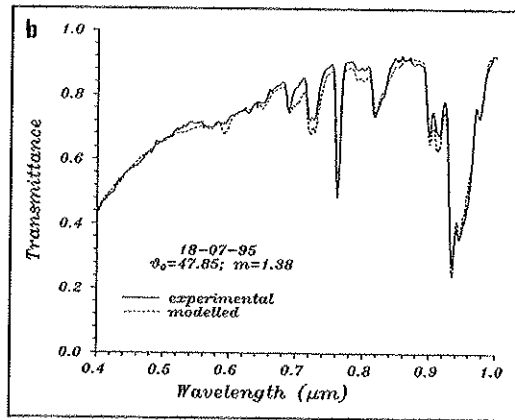
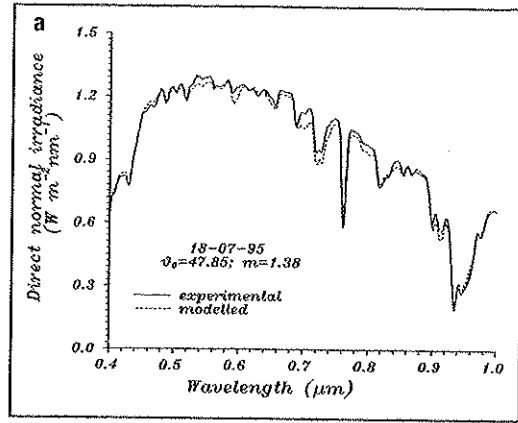


Figura 2. Igual a la figura 1 pero para la componente directa de la radiación solar.

La figura 2 muestra esta misma situación pero para los datos de la irradiancia directa. Como puede observarse el ajuste que da el modelo de aerosoles es muy bueno pero aún debemos realizar ciertas mejoras sobre las absorciones selectivas del vapor de agua.

### SIMULACION DE LA REFLECTANCIA APARENTE EN EL LIMITE DE LA ATMOSFERA

La figura 3 muestra la simulación de la reflectancia espectral aparente en el límite de la atmósfera en el rango de 400-1000 nm (línea punteada), es decir la que mediría el satélite correspondiente a un albedo (suponemos comportamiento lambertiano de la superficie) representativo de un campo de alfalfa

(representada por la línea seguida) durante las condiciones atmosféricas representados por las densidades de flujo de las figuras anteriores. La línea a trazos representa la reflectancia intrínseca de la atmósfera.

Otro caso ilustrado en la figura 4 es el correspondiente al día de medida 26-8-95, donde se ha tomado como ejemplo un albedo de suelo desnudo.

Estas dos simulaciones son válidas para un ángulos de observación del sensor entre 0 (nadir) y 30 grados. El método de dos flujos no es sensible al ángulo cenital de observación, pero hemos comprobado que los resultados difieren en menos de un 8% respecto de los dados por la solución representada en el programa 5S para ángulos menores de 30 grados.

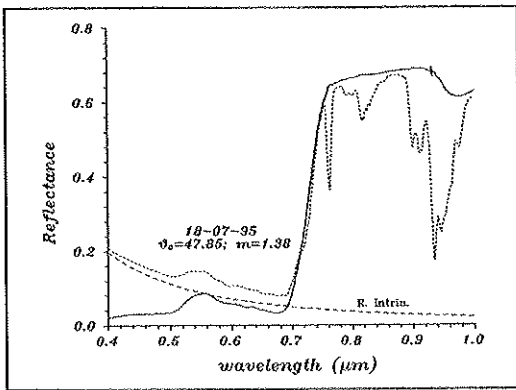


Figura 5. Simulación de la reflectancia aparente del satélite.

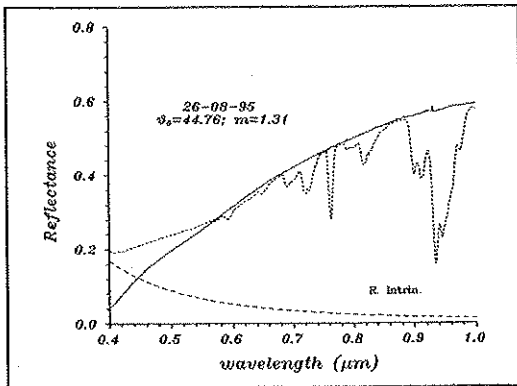


Figura 4. Idem a la figura 3.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado y validado un modelo de transferencia radiativa en el rango de corta longitud de onda, donde se ha llevado a cabo un estudio detallado de la influencia de todos los parámetros que intervienen en la modelización. Su ventaja frente a otros modelos preprogramados, como el 5S ó 6S, para ser aplicado en las correcciones atmosféricas que precisan las imágenes de teledetección es que el modelo construye su propio modelo de aerosoles, realista frente a la medida experimental realizada (obsérvese que el modelo 6S aunque se introduzca un valor realista del espesor óptico de aerosoles a  $0.55 \mu\text{m}$ , toma un modelo de aerosoles ya predefinido que en general esta lejos del modelo real [7-8]).

Su limitación es que dicha corrección precisa una medida puntual de las condiciones atmosféricas y no puede por tanto aplicarse sobre zonas muy extensas. Sin embargo es de aplicación en casi todos los casos de sensores de alta resolución espacial, donde la zona de estudio suele ser inferior a  $200 \times 200 \text{ km}^2$ . Debemos mencionar sin embargo, que dado que las medidas experimentales se han realizado sobre la zona central de la región de Castilla y León (durante casi un año, 1995) y dadas las características climáticas y orográficas de las misma, los datos son aplicables prácticamente a toda la Región.

## REFERENCES

- [1] Tebo. A. 1997. Imaging spectrometer for the mission to planet Earth. *OE Report No. 157*.
- [2] Green O.R., C.M. Sarture, C.J. Chivit, J.A.Faust, P. Hajek & H.I. Novak 1995. AVIRIS: A new approach to earth remote sensing. *Optics and Photonics News* 6 No. 1:30.
- [3] King M.D., Y.J. Kaufman, W.P. Menzel & D. Tanré 1992. Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS). *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing* 30:2-27.
- [4] Tanré D., C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J.J. Morcrette, J. Perbos & P.Y. Deshamps 1986. Simulation of the cautelado signal in the solar spectrum. Laboratoire d'optique atmosferique. Université Lille1. Villeneuve d'Ascq. France.
- [5] Tanré D., B.N. Holben and Y.J. Kaufman 1992. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing* 30:231-248.
- [6] Cachorro, V.E., P. Durán, J. Bilbao, A. de Miguel, 1986. Medida de espectro de alta

resolución espectral de la reflectancia de la vegetación con fines agronomicos y mediambientales, 1995. XXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. 1995. Ed. R. Bravo Quintas y J. Salgado Carballo. A3-29, pag. 65-67.

[7] Cachorro V.E., A.M. De Frutos, P. Utrillas, & J.A. Martinez-Lozano, 1994. Measurements and modelled data of solar spectral global, direct and diffuse radiation at Valencia (Spain), in Passive Infrared Remote Sensing of Cloud and the Atmosphere I. D.K. Linch Ed., SPIE Vol 2309, 306-317.

[8] Cachorro V.E., P. Utrillas, J.A. Martinez-Lozano & A.M. De Frutos, 1997. A preliminary assessment between a detailed two stream shortwave narrow-band model and spectral radiation measurements. (Solar Energy, aceptado)