

# Impacto de la corrección atmosférica en la medida de la emisividad

L. Martínez y V. Caselles  
Vicente. Caselles@uv.es

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

## RESUMEN

En este trabajo evaluamos el impacto que supone no corregir atmosféricamente las imágenes empleadas para calcular la emisividad térmica. Esta se determinó mediante el MCV (Método de la Cobertura Vegetal, que requiere información del espectro solar. La corrección atmosférica se realizó mediante la combinación del método DDV (Dark Dense Vegetation) y el código 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum). Éste se aplicó a una imagen Landsat TM de Tomelloso y se comprobó que la emisividad entre 10 y 12  $\mu\text{m}$  únicamente aumenta un 0,4% al emplear reflectividades corregidas atmosféricamente.

**PALABRAS CLAVE:** corrección atmosférica, emisividad, 6S, DDV, Landsat TM.

## ABSTRACT

In this paper, the impact of not correcting atmospherically the images used to calculate the thermal emissivity was evaluated. Emissivity was determined by means of the VCM (Vegetation Cover Method), which uses information from the solar spectrum. The atmospheric correction was performed by combining the DDV (Dark Dense Vegetation) method and the 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) code. It was applied to a Landsat TM image of Tomelloso and the 10-12  $\mu\text{m}$  emissivities only increased a 0,4 % when atmospherically corrected reflectivities were used.

**KEY WORDS:** atmospheric correction, emissivity, 6S, DDV, Landsat TM.

## INTRODUCCIÓN

La obtención de la emisividad de la superficie mediante teledetección térmica pasiva cuenta con el inconveniente de que no es posible calcular simultáneamente temperatura y emisividad, puesto que el número de incógnitas es siempre superior al de medidas. Para resolver esta indeterminación se recurre a aproximaciones cualitativas como, por ejemplo, suponer un valor único para la emisividad, o bien se introduce alguna hipótesis como, por ejemplo, relacionar la emisividad con algún parámetro de la vegetación. Dentro de esta última opción, cabe destacar el MCV (*Método de la Cobertura Vegetal*) desarrollado por Valor y Caselles (1996), que se basa en la idea sugerida por Van de Griend y Owe (1993) de relacionar la emisividad en el infrarrojo térmico con el NDVI (*Índice de Vegetación Normalizado por Diferencia*). Por lo que es de esperar que la determinación de la emisividad esté afectada en cierta medida por la interacción de la atmósfera con la radiación solar.

Los procedimientos para obtener una reflectividad corregida de efectos atmosféricos son diversos: desde suponerlos despreciables (Song et al., 2001) hasta realizar medidas de los parámetros atmosféricos (visibilidad y espesor óptico de aerosoles) en la zona de estudio y a la hora de paso del satélite y utilizar un código de transferencia radiativa (Bolle y Langer, 1991). Uno de los códigos más populares es el 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) descrito por Vermote et al. (1997). No obstante, se pueden adoptar soluciones intermedias, como el uso de un método de normalización atmosférica (Caselles y López, 1989; Holben, 1986) o de valores estándares para los parámetros atmosféricos (Pons y Solé-Sugrañes, 1994).

Como hemos comentado en el párrafo anterior, uno de los parámetros atmosféricos que necesitamos para aplicar un código de transferencia radiativa es el espesor óptico de aerosoles. Si no es posible medirlo, existen dos métodos para determinarlo: la aproximación DDV (*Dark Dense Vegetation*) de Liang et al. (1997), y el método RC (*Reducción del*

*Contraste*) de Tanré et al. (1988). Siendo el primero más fácil de aplicar, ya que el segundo tiene un carácter multitemporal (necesita varias imágenes).

El objetivo de este trabajo es medir el impacto de la corrección atmosférica en la estimación de la emisividad térmica. Para ello, hemos utilizado una combinación de los métodos 6S y DDV, la cual ha resultado ser operativa y precisa, sin necesidad de utilizar campañas de campo ni series multitemporales.

## METODOLOGÍA

El MCV se basa en la ecuación:

$$\varepsilon = \varepsilon_v \cdot P_v + \varepsilon_s \cdot (1 - P_v) + 4 \cdot \langle d \varepsilon \rangle \cdot P_v \cdot (1 - P_v) \quad (1)$$

donde  $\varepsilon_v$  es la emisividad de la vegetación,  $P_v$  es el porcentaje de vegetación,  $\varepsilon_s$  es la emisividad del suelo y  $\langle d \varepsilon \rangle$  es el término de cavidad (Valor y Caselles, 1996). Los valores de emisividad se miden (Rubio et al., 1996) o se obtienen de la literatura (Salisbury y D’Aria, 1992). Para la zona de Tomelloso (Ciudad Real), en el intervalo 10-12  $\mu\text{m}$ , tenemos que  $\varepsilon_s = 0,975$ ,  $\varepsilon_v = 0,987$  y  $\langle d \varepsilon \rangle = 0,011$  (Artigao, 2001).

La determinación del porcentaje de vegetación se realiza a partir del NDVI, mediante la siguiente expresión:

$$P_v = \frac{\left(1 - \frac{NDVI}{NDVI_s}\right)}{\left(1 - \frac{NDVI}{NDVI_s}\right) - K} = \left(1 - \frac{NDVI}{NDVI_v}\right) \quad (2)$$

siendo  $NDVI_s$  y  $NDVI_v$  los valores mínimo y máximo respectivamente del NDVI de la imagen, que, si se escoge una zona suficientemente amplia, se corresponderán con áreas desprovistas de vegetación (suelo desnudo) y con una cobertura vegetal completa. Donde,

$$K = \frac{\rho_{4v} - \rho_{3v}}{\rho_{4v} - \rho_{3v}}$$

siendo  $\rho_{4v}$  y  $\rho_{3v}$  las reflectividades en el infrarrojo próximo y en el rojo para la zona con cobertura vegetal completa,  $r_{4s}$  y  $r_{3s}$  las reflectividades en el infrarrojo próximo y en el rojo para la zona desprovista de vegetación (suelo desnudo). El error del MCV oscila entre un 0,5% y un 2%, dependiendo de la información disponible (Valor y Caselles, 1996).

El código 6S necesita como parámetros de entrada los descritos en la Tabla 1. En función de dichos datos simula el efecto de absorción de los gases de la atmósfera, y el de dispersión de gases y aerosoles (Vermote et al., 1997).

<b>Parámetros Geométricos</b>	Geometría de iluminación Geometría de observación
<b>Modelo atmosférico</b>	Temperatura, vapor de agua y ozono (modelos climatológicos, o medidas de campo)
<b>Modelo de aerosoles</b>	Espesor óptico, albedo simple de dispersión y función de fase de dispersión (modelos climatológicos, o medidas de campo)
<b>Condiciones espectrales</b>	Longitudes de onda máxima y mínima, y respuesta espectral del canal.
<b>Modelo reflectividad</b>	Comportamiento Lambertiano Reflectividad Bidireccional

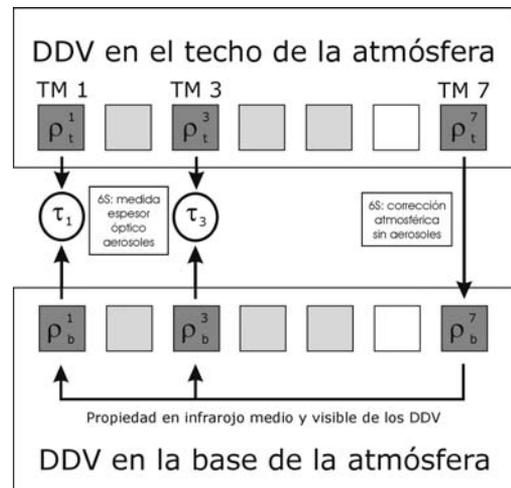
**Tabla 1.** Parámetros de entrada del código de transferencia radiativa 6S.

El método de los DDV se basa en el uso de zonas oscuras densamente vegetadas o DDV, por ello la señal que alcanza al sensor procede en su mayor parte de la atmósfera (Kaufman y Sendra, 1988). Según Ouaidrari y Vermote (1999), para estas zonas e imágenes Landsat TM, la reflectividad en el azul ( $\rho_b^1$ ) se puede calcular a partir del infrarrojo medio ( $\rho_b^7$ ) con la siguiente ecuación:

$$\rho_b^1 = \frac{\rho_b^7}{4,3} \quad (3)$$

Análogamente, la reflectividad en el rojo ( $r_b^3$ ) se puede calcular a partir de la expresión:

$$\rho_b^3 = \frac{\rho_b^7}{2,0} \quad (4)$$



**Figura 1.** Procedimiento para la medida del espesor óptico de aerosoles mediante los métodos 6S y DDV.

La medida del espesor óptico de aerosoles con el método DDV se realizará del modo descrito gráficamente en la Figura 1:

- Se seleccionan las zonas DDV mediante un sencillo umbral de reflectividades en el infrarrojo medio (canal 7 del TM) y sobre éstas se calcula la reflectividad en el techo de la atmósfera,  $\rho^7_t$ .

- El valor de  $\rho^7_t$  se corrige atmosféricamente con el método 6S empleando la hipótesis de atmósfera limpia, es decir, sin aerosoles, con lo que se obtiene una buena estimación de la reflectividad de los DDV en la base de la atmósfera para el infrarrojo medio,  $\rho^7_b$ .

- A partir del valor de  $\rho^7_b$  es posible realizar una estimación de la reflectividad de los DDV en la base de la atmósfera para los canales azul ( $\rho^1_b$ ) y rojo ( $\rho^3_b$ ) mediante las ecuaciones (3) y (4).

- Empleando la estimación de reflectividad para los canales azul ( $\rho^1_b$ ) y rojo ( $\rho^3_b$ ), y mediante el código 6S, es posible simular las reflectividades en el techo de la atmósfera, para una serie de valores del espesor óptico de aerosoles a  $\lambda=550$  nm.

- Con estas simulaciones se construye una tabla para cada canal (azul y rojo), que contenga la reflectividad en el techo de la atmósfera para las zonas DDV, con el correspondiente espesor óptico de aerosoles a  $\lambda=550$  nm. En dichas tablas se interpolará la reflectividad en el techo de la atmósfera de los DDV en azul ( $\rho^1_t$ ) y rojo ( $\rho^3_t$ ), estimando así con cada canal el espesor óptico de aerosoles a  $\lambda=550$  nm. Denotaremos como  $\tau_1$  al espesor óptico de aerosoles a  $\lambda=550$  nm obtenido con el canal azul, y como  $\tau_3$  al obtenido con el canal rojo.

La precisión del método DDV para la medida del espesor óptico de aerosoles se estima en  $\pm 0,06$  m<sup>-1</sup>, según Kaufman et al. (1997).

La metodología propuesta para la realización de la corrección atmosférica mediante la combinación de los métodos 6S y DDV es:

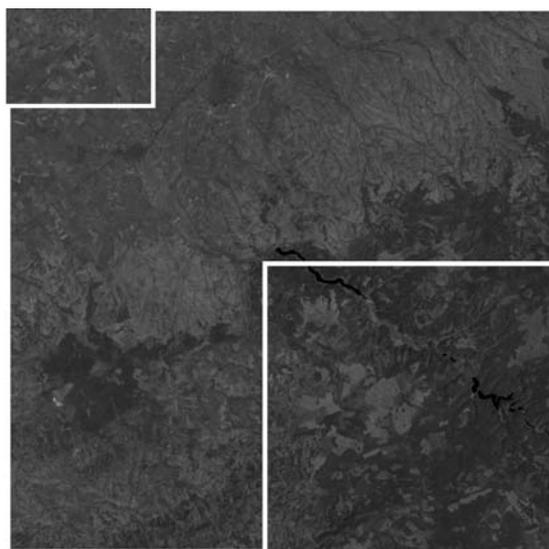
- Determinar el espesor óptico de aerosoles para  $\lambda=550$  nm mediante el método DDV.

- Realizar la corrección atmosférica mediante el método 6S, empleando para ello el valor del espesor óptico de aerosoles calculado.

El error absoluto en la reflectividad calculada con la combinación de 6S y DDV se estima en  $\pm 0,015$  en los canales visibles y de  $\pm 0,08$  en el infrarrojo próximo, según Ouaidrari y Vermote (1999).

## RESULTADOS

La zona de Tomelloso se localiza en el extremo nororiental de la provincia de Ciudad Real (España), en lo que puede considerarse el centro de la comarca natural de La Mancha. Es una extensión bastante uniforme, elevada unos 670 m sobre el nivel del mar, sin grandes desniveles pero recorrida por barrancos, de Norte a Sur, de hasta un 8% de pendiente. El terreno es árido, con escaso arbolado y definido fundamentalmente por las plantaciones de viñedo. El clima es mediterráneo con rasgos de continentalidad; la temperatura media oscila entre los 5 °C del mes más frío y los 26 °C del mes más cálido, siendo la precipitación media anual de 350 mm (Artigao, 2001).



\*Figura 2. Imagen Landsat TM de la zona experimental utilizada. (Subescena A: esquina superior izquierda; Subescena B: esquina inferior derecha).

Aplicamos el método de corrección atmosférica propuesto a un fragmento de imagen Landsat 5 TM (1124 x 1124 píxeles) del día 23 de agosto de 1994, capturado a las 10 h 5 min UTC y centrado en las coordenadas 2,9195 O y 39,1256 N, que se muestra en la Figura 2. En primer lugar, se seleccionaron las

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

regiones DDV en la imagen mediante un umbral de reflectividad de 0,1 en el infrarrojo medio. El promedio de la reflectividad para los DDV en el infrarrojo fue de  $0,088 \pm 0,006$ , para el azul de  $0,122 \pm 0,004$  y para el rojo de  $0,082 \pm 0,005$ .

La reflectividad para el infrarrojo medio fue corregida atmosféricamente con el código 6S considerando una atmósfera sin aerosoles, obteniendo que  $\rho_b^7 = 0,100 \pm 0,006$ . A continuación, mediante las ecuaciones 3 y 4 se determinó que  $\rho_b^1 = 0,0233 \pm 0,0014$  y que  $\rho_b^3 = 0,050 \pm 0,003$ .

Espesor óptico de aerosoles ( $m^{-1}$ )	Reflectividad azul $\rho_t^1$	Reflectividad rojo $\rho_t^3$
0,0400	0,1276	0,0854
0,0336	0,1248	0,0838
0,0286	0,1225	0,0826
0,0247	0,1206	0,0815
0,0216	0,1189	0,0806
0,0190	0,1175	0,0798

**Tabla 2.** Tabla para la estimación del espesor óptico de aerosoles.

Después se procedió a obtener el espesor óptico de aerosoles. A tal fin, elaboramos con el código 6S la Tabla 2. Por interpolación en la tabla se obtuvo  $t_1 = 0,0269 \pm 0,0010$  y  $\tau_3 = 0,0277 \pm 0,0018$ . La escasa dispersión entre ambos valores demuestra que los modelos de aerosoles y de atmósfera seleccionados eran los adecuados.

Seguidamente, se realizó la corrección atmosférica mediante el código 6S a los canales rojo e infrarrojo próximo. Para ello se implementó un procedimiento de búsqueda en tabla y posterior interpolación para cada píxel de la imagen.

Para analizar el efecto de la corrección atmosférica sobre los valores de la emisividad térmica, empleamos las subescenas A y B de la Figura 1. Éstas no contienen zonas urbanizadas o vías de comunicación, y el agua presente se ha mascarado convenientemente. Para cada una de las subescenas se ha localizado, mediante los valores del histograma del NDVI, el píxel que se identifica como suelo y el píxel de vegetación, tanto en techo como en base de la atmósfera. Sobre los píxeles de suelo y vegetación se ha medido la reflectividad en el rojo e infrarrojo próximo, así como el correspondiente NDVI. Después, procedimos a calcular la proporción de vegetación y la emisividad térmica mediante las ecuaciones (2) y (1) respectivamente. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Subescena A					
	Reflectividad rojo	Reflectividad infrarrojo próximo	NDVI	Cobertura vegetal	Emisividad térmica
Techo atmósfera	0,21 $\pm$ 0,05	0,44 $\pm$ 0,07	0,35 $\pm$ 0,11	0,15 $\pm$ 0,16	0,978 $\pm$ 0,006
Base atmósfera	0,23 $\pm$ 0,06	0,52 $\pm$ 0,08	0,39 $\pm$ 0,12	0,24 $\pm$ 0,19	0,981 $\pm$ 0,005
Subescena B					
	Reflectividad rojo	Reflectividad infrarrojo próximo	NDVI	Cobertura vegetal	Emisividad térmica
Techo atmósfera	0,17 $\pm$ 0,05	0,33 $\pm$ 0,08	0,33 $\pm$ 0,05	0,20 $\pm$ 0,07	0,981 $\pm$ 0,003
Base atmósfera	0,18 $\pm$ 0,07	0,39 $\pm$ 0,09	0,39 $\pm$ 0,08	0,31 $\pm$ 0,11	0,985 $\pm$ 0,004

**Tabla 3.** Valor promedio para las subescenas A y B de las reflectividades en el rojo e infrarrojo próximo, índice de vegetación, cobertura vegetal y emisividad térmica en el techo y en la base de la atmósfera.

Se puede observar que aunque las reflectividades en el rojo e infrarrojo próximo, el índice de vegetación y la proporción de vegetación aumentan en un 8%, 18%, 15% y 58%, respectivamente, la emisividad térmica sólo experimenta un aumento del 0,4 %. Sin embargo, este aumento provoca un error sistemático de 0,2 K en el valor de la temperatura.

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos combinado los métodos 6S y DDV para implementar un procedimiento de corrección atmosférica operativo a los efectos del cálculo de emisividades. El método se ha aplicado a una subescena Landsat TM de la zona de Tomelloso (Ciudad Real). El índice de vegetación y la proporción de vegetación mostraron un sustancial incremento en su valor promedio al emplear reflectividades corregidas atmosféricamente. Sin embargo, en la emisividad sólo se detectó un 0,4 % de incremento. Sin embargo, este aumento produce un error de tipo sistemático en la medida de la temperatura que es del orden de dos décimas de grado.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestra gratitud a la Dra. Eva María Rubio y la Dra. María del Mar Artigao de la Universidad de Castilla La Mancha, por la información proporcionada sobre la imagen de Tomelloso. Al Dr. Eric F. Vermote de la Universidad de Maryland, por sus aclaraciones respecto a

la corrección atmosférica. También agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto REN 2001-3116) y a la Unión Europea (Fondos FEDER) la financiación concedida.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARTIGAO, M.M. 2001. Desarrollo de un modelo para la estimación de la evapotranspiración en cultivos de cobertura incompleta: aplicación al viñedo. Tesis Doctoral. Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Universitat de València.
- BOLLE, H. J. y LANGER, I. 1991. Echival Field Experiment in a Desertification-Threatened Area (EFEDA). Field Experiment Plan. Meteorological Institute, Free University of Berlin, Germany.
- CASELLES, V. y LÓPEZ, M.J. 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *Int. J. Remote Sens.* 10: 1127-1134.
- HOLBEN, B.N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.* 7: 1417-1434.
- KAUFMAN, Y.J. y SENDRA, C. 1988. Algorithm for automatic corrections to visible and near-infrared satellite imagery, *Int. J. Remote Sens.* 9: 1357-1381.
- KAUFMAN, Y.J., WALD, A.E., REMER, L.A., GAO, B.C., LI, R.R., y FLYNN, L. 1997. The MODIS 2.1 mm channel – Correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 35: 675-686.
- LIANG S., FALLAH-ADL H., KALLURI S., JAJA J., KAUFMAN Y. y TOWNSHEND J. 1997. An operational atmospheric correction algorithm for Landsat Thematic Mapper imagery over land, *J. Geophys. Res.* 102: 173-186.
- OUAIDRARI, H. y VERMOTE, E. 1999. Operational atmospheric correction of Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.* 70: 4-15.
- PONS, X. y SOLÉ-SUGRAÑES, L. 1994. A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data, *Remote Sens. Environ.* 48: 191-204.
- RUBIO, E., CASELLES, V. y BADENAS, C., 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 mm waveband: Analysis of two field methods. *Remote Sens. Environ.* 59: 490-521.
- SALISBURY, J. W. y D'ARIA, D.M. 1992. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14  $\mu$ m atmospheric window, *Remote Sens. Environ.* 42: 83-106.
- SONG C., WOODCOCK C.E., SETO K.C., LENNEY M.P. y MACOMBER, S.A. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?, *Remote Sens. Environ.* 75: 230-244.
- TANRE, D., DESCHAMPS, P.Y., DEVAUX, C. y HERMAN, M. 1988. Estimation of Saharian aerosol optical thickness from blurring effects in Thematic Mapper data, *J. Geophys. Res.* 15:955-15.964
- VALOR, E y CASELLES, V. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: applications to European, African, and South American areas. *Remote Sens. Environ.* 57: 167-184.
- VAN DE GRIEND, A.A. y OWE, M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces, *Int. J. Remote Sens.* 14: 1119-1131.
- VERMOTE, E., TANRÉ, D., DEUZÉ, J.L., HERMAN, M. y MORCRETTE, J. J. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 35: 675-686.

# NOTICIAS

## **Socios numerarios y correspondientes estudiantes**

El artículo 15º de los estatutos de la Asociación Española de Teledetección (A.E.T.) contempla la posibilidad de que los socios numerarios (residentes en territorio español) y correspondientes (no residentes en territorio español), estudiantes de Facultades, Escuelas Técnicas y Universitarias, gocen de un 50% de bonificación en sus cuotas.

Animamos a todos los estudiantes, con interés en conocer las investigaciones y técnicas de teledetección, para que se integren como socios de la Asociación Española de Teledetección (A.E.T.) por una cuota anual de 18 euros.