

EL MÉTODO DE LA EMISIVIDAD NORMALIZADA AJUSTADO (ANEM)

E. Valor, C. Coll, V. Caselles y R. Niçlòs

Enric.Valor@uv.es

*Departamento de Termodinámica. Facultad de Física. Universidad de Valencia.
C/. Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia).*

RESUMEN.- En este trabajo presentamos el Método de la Emisividad Normalizada Ajustado (ANEM) para la separación de temperatura y emisividad en el infrarrojo térmico, que se basa en el Método de la Emisividad Normalizada (NEM, Gillespie 1986) y el Método de la Cobertura Vegetal (VCM, Valor y Caselles 1996). La idea consiste en ajustar el valor inicial de emisividad que usa el NEM mediante una estimación de las emisividades de canal que tenga en cuenta su variación espacial con la proporción de vegetación (VCM). Aplicamos este algoritmo a una serie de imágenes del sensor Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS) en Barrax (Albacete) durante las campañas DAISEX (1998-2000). Las temperaturas y emisividades obtenidas fueron validadas mediante medidas radiométricas tomadas en campo coincidentes con los vuelos DAIS. Los resultados muestran que el método proporciona la temperatura con un error alrededor de $\pm 0,8$ °C y la emisividad con un error de $\pm 0,010$, sin errores sistemáticos apreciables.

ABSTRACT.- In this work the Adjusted Normalized Emissivity Method (ANEM) for the temperature-emissivity separation in thermal infrared data is proposed, based on the combination of the Normalized Emissivity Method (NEM, Gillespie 1986) and the Vegetation Cover Method (VCM, Valor and Caselles 1996). The concept is to adjust the emissivity first guess used in NEM by estimating channel emissivities accounting for the spatial variation of emissivity with vegetation cover (VCM). The algorithm was applied to a series of scenes recorded by the Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS) over Barrax (Albacete) during the DAISEX campaigns (1998-2000). A validation of the retrieved temperatures and emissivities was addressed by using ground radiometric measurements collocated to the DAIS flights. The results showed that the method can achieve nearly unbiased temperatures with uncertainties within ± 0.8 °C, and emissivities with errors mostly within ± 0.010 .

PALABRAS CLAVE: emisividad, temperatura, infrarrojo térmico, corrección atmosférica, teledetección

INTRODUCCIÓN

La temperatura y la emisividad de la superficie terrestre son variables fundamentales en la estimación del balance radiativo, en modelos climáticos, y en la exploración de recursos naturales, entre otras muchas aplicaciones. Uno de los principales problemas que presenta su medida mediante teledetección es que ambas se encuentran acopladas en la medida radiométrica. Se han desarrollado en los últimos veinte años diferentes métodos basados en diversas hipótesis (Dash *et alii.*, 2002). En el presente trabajo aplicamos y validamos el Método de la Emisividad Normalizada Ajustado (ANEM), desarrollado a partir de los resultados previos obtenidos por Caselles *et alii.* (1999), con datos del sensor Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS) obtenidos durante las campañas DAISEX (Berger *et alii.* 2001).

La obtención de la temperatura y la emisividad requiere previamente la corrección atmosférica de la medida registrada por el instrumento en el canal j (L_j^{sens}) según:

$$L_j^{\text{sup}} = \frac{L_j^{\text{sens}} - L_j^{\text{atm}}}{\tau_j} \quad (1)$$

donde L_j^{atm} es la radiancia emitida por la atmósfera hacia el sensor en la dirección de observación, τ_j es la transmisividad atmosférica y L_j^{sup} es la radiancia corregida atmosféricamente a nivel de superficie, la cual viene dada por:

$$L_j^{\text{sup}} = \epsilon_j B_j(T) + (1 - \epsilon_j) \frac{F_j^{\text{atm}}}{\pi} \quad (2)$$

donde B_j es la función de Planck integrada con la función de respuesta del canal j , ϵ_j es la emisividad

METODOLOGÍA

en dicha banda, y F_j^{atm} es la irradiancia atmosférica que incide sobre la superficie en observación.

La ecuación (2) muestra el acoplamiento de emisividad y temperatura en la medida radiométrica. El Método de la Emisividad Normalizada (NEM, Gillespie 1986) utiliza un valor inicial de emisividad ϵ_{NEM} , generalmente entre 0,97 y 0,98, único para todos los canales y píxeles de la escena. Dicho valor se introduce en la ecuación (2) de la que se despeja un valor de temperatura por cada canal T_j ; se elige el máximo de los valores obtenidos como la temperatura real ($T = \max(T_j)$), con la cual se determinan los valores de emisividad en cada canal (ϵ_j) haciendo uso de nuevo de la ecuación (2). Puesto que ϵ_{NEM} es arbitrario, el espectro de emisividad puede estar sesgado, aunque la variación espectral sea precisa. Por ello, proponemos ajustar ϵ_{NEM} mediante el Método de la Cobertura Vegetal (VCM, Valor y Caselles 1996), dando así lugar al método ANEM (Coll *et alii.* 2001). El VCM permite hacer una estimación de la emisividad en los diferentes canales, teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura vegetal. Posteriormente se elige en cada píxel como ϵ_{NEM} el máximo valor de los obtenidos en las diferentes bandas ($\epsilon_{NEM} = \max(\epsilon_j)$). De este modo se consigue determinar valores ϵ_{NEM} más exactos, lo que repercute en la disminución del error sistemático del NEM. La estimación de la emisividad de canal con el VCM se realiza operativamente con la ecuación (Valor y Caselles 1996):

$$\epsilon_j = \epsilon_{vj}P_v + \epsilon_{sj}(1-P_v) + 4\langle d\epsilon_j \rangle P_v(1-P_v) \quad (3)$$

donde P_v es la fracción de vegetación del píxel, ϵ_{vj} y ϵ_{sj} son las emisividades de vegetación y suelo medidas en el canal j , y $\langle d\epsilon_j \rangle$ es el término de cavidad efectivo. Hemos usado valores generales para dichos coeficientes (Tabla 1), obtenidos a partir de información espectral previa (Salisbury y D'Aria 1992) de modo que el método sea operativo, pues normalmente no se dispone de la información necesaria para adaptarlos a un área en concreto. La estimación de P_v se realiza a partir de las medidas de DAIS en el dominio visible/infrarrojo próximo.

BASE DE DATOS

DAIS es un instrumento con 79 canales que cubren el dominio 0,5-14 μm , de los cuales las bandas 74 a 79 se encuentran en el infrarrojo térmico entre 8-14 μm , observa la superficie con ángulos de visión entre $\pm 26^\circ$ y tiene un ángulo instantáneo de visión de 3.3 mrad, lo que implica

que la resolución espacial en el nadir para una altitud de 3050 m es de 5 m (Müller *et alii.* 2001).

El DAIS sobrevoló la zona de Barrax durante una serie de campañas que tuvieron lugar los años 1998, 1999 y 2000. En cada caso se obtuvieron diversas líneas de vuelo proporcionando una base de datos adecuada para aplicar y validar el ANEM.

Todas las líneas DAIS fueron corregidas geoméricamente y corregistradas. Los canales térmicos fueron calibrados y corregidos atmosféricamente mediante el algoritmo ATCOR4 (Richter 2000). Sin embargo, se llevó a cabo una recalibración a posteriori mediante medidas de campo en suelo sin vegetación y en un depósito de agua, debido a defectos de calibración relacionados con el mecanismo de barrido (tipo Kennedy) del instrumento (Strobl y Zhukov, 1998; Coll *et alii.*, 2001).

Para efectuar la validación se requiere medidas de temperatura y de emisividad obtenidas en campo simultáneamente a las medidas tomadas por DAIS. Para ello se realizaron transectos y se tomaron medidas de emisividad en diferentes tipos de superficies (agua, suelo, maíz, cebada, alfalfa, trigo, etc), mediante un radiómetro CIMEL CE312 (con cuatro bandas en el térmico: canal 1 en 8-13 μm ; canal 2 en 11,5-12,5 μm ; canal 3 en 10,5-11,5 μm y canal 4 en 8,2-9,2 μm) y dos termómetros Everest (modelos 210 y 112.2L), los cuales fueron intercalibrados con una fuente de calibrado Everest 1000. El sensor CE312 mostraba una precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ y los termómetros Everest de $\pm 1^\circ\text{C}$. La emisividad se midió con el CE312 y el método de la caja (Rubio *et alii.* 1997).

canal	ϵ_{vj}	ϵ_{sj}	$\langle d\epsilon_j \rangle$
74	0,985 \pm 0,010	0,90 \pm 0,06	0,04 \pm 0,03
75	0,985 \pm 0,010	0,91 \pm 0,04	0,04 \pm 0,03
76	0,985 \pm 0,010	0,940 \pm 0,022	0,026 \pm 0,017
77	0,985 \pm 0,010	0,955 \pm 0,016	0,019 \pm 0,013
78	0,985 \pm 0,010	0,965 \pm 0,010	0,015 \pm 0,010

Tabla 1.- Coeficientes de emisividad para aplicar la ecuación (3) en los diferentes canales DAIS, junto con sus desviaciones estándar.

Las medidas radiométricas de temperatura se corrigieron del efecto de la emisividad y la reflexión atmosférica. Todas las medidas fueron

georreferenciadas mediante un GPS, para asegurar su correcta localización en las imágenes DAIS.

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra las diferencias entre las temperaturas obtenidas con ANEM y las medidas realizadas *in situ*. En general se observa buena concordancia, de modo que la precisión del método propuesto es de $-0,1 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Las mayores diferencias se obtuvieron en campos muy heterogéneos, como por ejemplo los de cebada de secano. La Figura 1 muestra los espectros de emisividad para algunas de las superficies presentes en la zona de estudio junto con las medidas obtenidas en el campo con el método de la caja. En general se obtuvieron buenos resultados con discrepancias en emisividad menores de $\pm 0,010$.

Fecha	Campo	Tipo	Línea 1	Línea 2
			$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
11/8/98	W1	agua	-0,8	-0,3
	S3	suelo	-0,2	-0,2
	C5	maíz	0,2	-0,1
	A4	alfalfa	-0,6	-0,8
	S1	suelo	0,2	1,9
3/6/99	W1	agua	0,0	-0,2
	S10	suelo	-0,1	-0,2
	V27	cebada	0,4	-1,7
	S10bis	suelo	-0,1	-0,1
4/6/99 (a.m.)	W1	agua	-0,7	-0,4
	S10	suelo	0,0	0,0
	V27	cebada	0,8	0,2
	V25	cebada	1,1	-0,7
4/6/99 (p.m.)	W1	agua	-0,9	0,0
	S10	suelo	0,0	-0,1
	V27	cebada	-0,3	1,6
	S10bis	suelo	-2,3	-0,6
29/6/00	W1	agua	-0,2	-0,8
	S6	suelo	0,5	1,0
	S5	suelo	-1,4	0,4
	V20	hierba	-0,3	-0,5

Tabla 2.- Diferencias entre las temperaturas obtenidas con ANEM aplicado a los datos DAIS y las medidas en el campo correspondientes a diferentes líneas de vuelo, fechas y tipos de superficie.

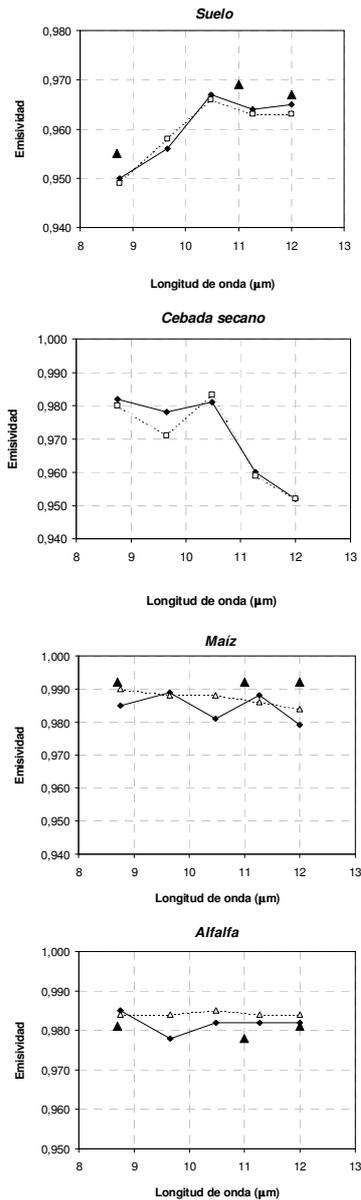


Figura 1.- Espectros de emisividad calculados con ANEM sobre suelo, cebada de secano, maíz y alfalfa. Los triángulos muestran las medidas de emisividad obtenidas en campo con el método de la caja.

El suelo muestra una banda de absorción en 8-9 μm como característica más relevante. En el caso de la cebada de secano, se aprecia una caída en emisividad a longitudes de onda crecientes, cosa que suele ocurrir en vegetación seca y senescente. Por su parte, el maíz y la alfalfa presentan espectros de emisividad casi planos con valores elevados, en consonancia con medidas espectrales previas (Salisbury y D'Aria 1992; Rubio *et alii.* 1997).

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos propuesto un método de separación emisividad-temperatura, el Método de la Emisividad Normalizada Ajustado (ANEM), que es combinación de los algoritmos NEM (Gillespie, 1986) y VCM (Valor y Caselles, 1996). La principal contribución del VCM al NEM es que permite considerar la variación espectral y espacial de la emisividad en el cálculo del valor inicial de emisividad, ϵ_{NEM} .

La metodología ha sido validada mediante una base de datos obtenida en el curso de las campañas DAISEX, que contiene imágenes del instrumento DAIS y medidas radiométricas simultáneas de temperatura y emisividad tomadas en diversos tipos de superficies. Los resultados muestran que el método proporciona la temperatura de la superficie terrestre sin errores sistemáticos apreciables con una incertidumbre de $\pm 0,8$ $^{\circ}\text{C}$, y su emisividad en diferentes bandas espectrales con errores alrededor de $\pm 0,010$.

BIBLIOGRAFÍA

Berger, M., Rast, M., Wursteisen, P., Attema, E., Moreno, J., Müller, A., Beisl, U., Richter, R., Stoll, M.-P., Nerry, F., y Leroy, M. 2001. The DAISEX campaigns in support of a future land-surface-processes mission. ESA Bulletin, 105, February 2001: 101-111.

Caselles, V., Coll, C., Rubio, E., Valor, E. y Sospedra, F. 1999. Medida de la temperatura y la emisividad con datos multiespectrales del sensor DAIS. *Revista de Teledetección* 12: 93-97.

Coll, C., Caselles, V., Rubio, E., Sospedra, F. y Valor, E. 2001. Temperature and emissivity separation from calibrated data of the Digital Airborne Imaging Spectrometer. *Remote Sensing of Environment* 76: 250-259.

Dash, P., Göttsche, F.M., Olesen, F.S. y Fischer, H.

2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice –current trends. *International Journal of Remote Sensing* 23 (13): 2563-2594.

Gillespie, A.R. 1986. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. *The TIMS Data Users' Workshop*, JPL Publication 86-38: 29-44.

Müller, A., Gege, P. y Cocks, T., 2001. The airborne imaging spectrometers used in DAISEX. *Proceedings of the Final Results Workshop on DAISEX (Digital Airborne Spectrometer Experiment)*, ESA SP-499: 3-6.

Richter, R. 2000. Atmospheric/topographic correction for wide FOV airborne imagery: model ATCOR4. *DLR report DLR-IB 564-04/00*, Wessling, Germany.

Rubio, E., Caselles, V. y Badenas, C. 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μm waveband: Analysis of two field methods. *Remote Sensing of Environment* 59: 490-521.

Salisbury, J.W. y D'Aria, D.M. 1992. Emissivities of terrestrial materials in the 8-14 μm atmospheric window. *Remote Sensing of Environment* 42: 83-106.

Strobl, P. y Zhukov, B. 1998. Recent developments in the 3-12 μm radiometric calibration of the DAIS 7915. *Proceedings 1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Zurich, Switzerland, 6-8 October: 69-79.

Valor, E. y Caselles, V. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African and South American areas. *Remote Sensing of Environment* 57: 167-184.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Espacial Europea (contratos ESTEC 13053/98/NL/GD, 13390/99/NL/GD y 15343/01/NL/MM), el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto SENSOClima, REN2001-3116/CLI), la Generalitat Valenciana (programa de ayudas a la contratación de doctores) y los fondos FEDER. También agradecemos al Ministerio de Educación, Cultura y Deportes la beca de FPU de Raquel Nicolòs (ref. AP2000-0360).