

## DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LAS REGIONES DE 8-9 $\mu\text{m}$ Y DE 10,5-12,5 $\mu\text{m}$

V. CASELLES, C. COLL, E. RUBIO, E. VALOR, M.M. ARTIGAO, R. NICLÒS Y L. MARTÍNEZ

Vicente.Caselles@uv.es

*Dept. de Termodinàmica. Universitat de València.  
Cl. Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (València)*

**RESUMEN:** Debido a la importancia de la temperatura de la superficie terrestre como magnitud fundamental en muchos procesos físicos, la ESA está desarrollando la misión SPECTRA con el cual determinar ésta con la máxima precisión. En este trabajo se valida con medidas de campo la determinación de la emisividad y la temperatura de la superficie terrestre con el Método de la Cobertura Vegetal y un algoritmo de split-window optimizado para las futuras bandas a incorporar en SPECTRA. De ello se deduce que los canales más adecuados estarían dentro de la región espectral de 10,5-12,5  $\mu\text{m}$ , tradicionalmente usados en los algoritmos split-window.

**ABSTRACT:** The accurate determination of surface temperatures is one of the aims of the new mission SPECTRA, which is currently under development. In this work, we have validated with ground measurements the determination of the surface emissivity by means of the Vegetation Cover Method and the surface temperature by means of a split-window algorithm optimised for the possible channels of SPECTRA instrument. From this study, we conclude that the most suitable channel configuration should include two channels within the 10,5-12,5  $\mu\text{m}$  window.

**Palabras clave:** temperatura, emisividad, SPECTRA, split-window, Método de la Cobertura Vegetal

### INTRODUCCIÓN

La técnica de split-window fue desarrollada inicialmente para la estimación de la temperatura de la superficie del mar, y se basa en la absorción diferencial que se observa en las medidas de dos canales próximos dentro de una misma ventana atmosférica. En los últimos 15 años se ha extendido esta técnica al cálculo de la temperatura de la superficie terrestre. Aquí, la principal dificultad es el efecto de la variabilidad espacial y espectral de la emisividad de la superficie. Fundamentalmente se ha venido aplicando con las bandas 4 y 5 del sensor AVHRR, entre 10,5 y 12,5  $\mu\text{m}$ . En la literatura podemos encontrar distintos algoritmos propuestos (Prata y Cechet, 1999; Coll y Caselles, 1997), así como su comparación y validación con datos medidos en el suelo. Estos estudios demuestran que, en condiciones óptimas, la técnica de split-window puede usarse con datos AVHRR para obtener la temperatura de la superficie terrestre con precisión (con diferencia media entre temperatura in situ y calculada de 0,1°C y un error de estimación entre 1,1°C y 1,7°C para diferentes tipos de

superficie utilizando el algoritmo de (Coll y Caselles, 1997)).

En el presente estudio, extendemos la validación de algoritmos de split-window para la superficie terrestre a otros tipos de condiciones atmosféricas y superficies. Para ello, utilizamos una base de datos formada por imágenes del sensor aerotransportado Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS) y medidas de suelo recogidas en el proyecto HAPEX-Sahel (Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel). Además, analizamos distintas combinaciones de canales TIMS alternativas a las actualmente utilizadas para la aplicación de la técnica de split-window, identificando así la región espectral más conveniente para los canales térmicos del instrumento de SPECTRA.

### LA BASE DE DATOS

Para dicha validación disponemos de:

—Imágenes del sensor TIMS, con 6 canales entre 8 y 12,5  $\mu\text{m}$ , tomadas sobre la zona de HAPEX-Sahel. Se observan distintos tipos de superficie: suelos desnudos,

cultivos (mijo), vegetación natural (sabana), etc. Las imágenes corresponden a alturas de vuelo de 600 m y 5.000 m (resolución en tierra de 1,5 m y 12 m respectivamente), lo que permite evaluar el impacto de dos espesores atmosféricos diferentes.

—Medidas de campo. Aunque en HAPEX-Sahel no se realizó una campaña específica para la validación del TIMS, existen medidas radiométricas de temperatura coincidentes con los vuelos. Éstas se han corregido del efecto de la emisividad utilizando valores de emisividad espectral medidos en la zona. Las medidas de temperatura se refieren a elementos individuales de la superficie (suelo o vegetación). Dependiendo de la resolución espacial de los datos TIMS, se ha tenido que definir en ocasiones una temperatura efectiva, lo que sólo es posible si se tienen datos sobre la estructura de la zona. Este hecho, además de la necesaria coincidencia espacial y temporal entre datos de tierra y TIMS, ha reducido considerablemente el número de zonas aptas para la validación. La base de datos de HAPEX-Sahel se encuentra recopilada en una serie de CDs (Kerr *et alii.*, 1996) y vía internet en [www.orstom.fr/hapex](http://www.orstom.fr/hapex).

#### ALGORITMOS DE SPLIT-WINDOW

La temperatura de la superficie terrestre puede obtenerse a partir de las temperaturas de brillo en dos canales térmicos *i-j* según:

$$T = T_i + A(T_i - T_j) + B(T_i - T_j)^2 + C(1 - \epsilon) + D\Delta\epsilon + E$$

donde  $\epsilon = (\epsilon_i + \epsilon_j)/2$  y  $\Delta\epsilon = \epsilon_i - \epsilon_j$  son la emisividad media y la diferencia espectral entre los canales split-window (Coll y Caselles, 1997). Los coeficientes A-E dependen únicamente de los canales *i-j* y pueden obtenerse mediante una base de datos de simulación, la cual debe incluir gran número de sistemas atmósfera-superficie. En nuestro caso definimos 6.120 casos como combinación de diferentes perfiles atmosféricos, temperaturas de superficie y emisividades. Con ello, los coeficientes de split-window se pueden obtener mediante regresión para cualquier combinación de canales simulada.

En este trabajo hemos simulado los seis canales del TIMS, aunque un análisis de todas las posibles combinaciones demostró que únicamente las combinaciones de canales TIMS 5-6 (similar a los canales clásicos 4-5 de AVHRR) y 2-1 (una nueva alternativa, entre 8 y 9  $\mu\text{m}$ ) son aceptables para la aplicación de dicho algoritmo. En la Tabla 1 se muestran los coeficientes y errores de la regresión en la temperatura obtenidos para estas dos combinaciones, siendo el error mayor para el resto. Este error de regresión o del modelo no es la única fuente de incertidumbre en la estimación de la temperatura de la superficie, ya que hay que incluir también la pro-

pagación del ruido radiométrico del instrumento y del error en la estimación de la emisividad, dato de entrada necesario para la aplicación del método de split-window.

Generalmente, el error en la emisividad es la mayor fuente de error para la temperatura, por lo cual se requiere un buen método para determinar la emisividad. Por otro lado, estudios anteriores (Schmugge *et alii.*, 1998) basados en imágenes TIMS sobre nuestra misma zona de estudio, han mostrado que en los canales 1 y 2 la variabilidad de la emisividad es grande, con valores tan bajos como 0,80 para algunos tipos de suelo, mientras que para los canales 5 y 6, la emisividad toma generalmente valores entre 0,95 y 0,98 para todo tipo de superficies. Por esta razón el impacto de la emisividad en la técnica de split-window será mayor para 2-1 que para 5-6.

Combinación canales TIMS <i>i-j</i>	5-6	2-1
A	1,85	1,11
B (K <sup>-1</sup> )	0,286	0,129
C (K)	46,9	45,4
D (K)	-90	-48
E (K)	0,54	1,62
Error de regresión (K)	0,7	1,0

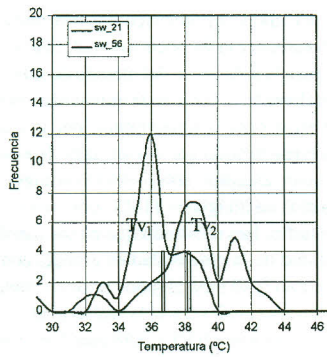
**Tabla 1.** Coeficientes empíricos de split-window para las combinaciones 5-6 y 2-1 del TIMS.

#### RESULTADOS

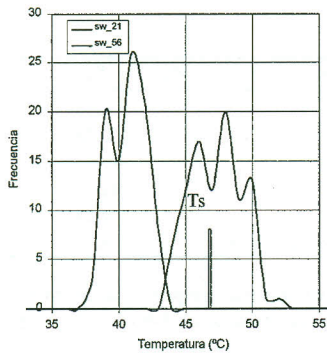
Los algoritmos de split-window se han aplicado en sus dos combinaciones consideradas, 5-6 y 2-1, a las distintas imágenes TIMS en las áreas donde existen medidas in situ de temperatura para su validación.

Los puntos de medida se han localizado dentro de las imágenes usando una imagen SPOT geo-referenciada de la zona y puntos de control. Los inputs de emisividad necesarios se han calculado para cada área a partir de las medidas espectrales disponibles. Dado que la localización de los puntos de medida en las imágenes TIMS implica una imprecisión, la comparación con los datos in situ se ha hecho para ventanas de píxeles de cierto tamaño centradas sobre el punto de medida estimado. Así se obtienen gráficos donde se compara el histograma de valores de temperatura calculados con el algoritmo, para cada área de validación, con las temperaturas in situ, y sus magnitudes efectivas en el caso de superficies heterogéneas, mostradas en forma de barras (Figura 1).

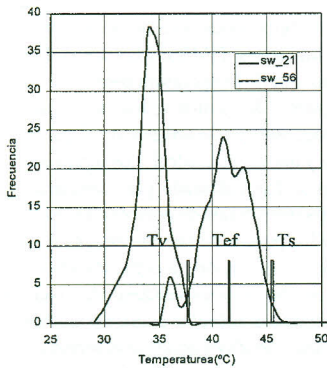




(a)



(b)



(c)

**Figura 1.** Comparación entre la temperatura determinada a partir de TIMS con los dos algoritmos de split-window estudiados, y las medidas de tierra en las zonas A, considerando separadamente vegetación (a) de dos tipos y suelo desnudo (b), y la zona de mezcla D (c). Se representan por barras: vegetación  $T_v$ , suelo  $T_s$  y efectiva  $T_{ef}$ .

En la Tabla 2 mostramos resumidamente los resultados para todas las áreas de validación, con sus correspondientes medidas in situ de temperatura y las temperaturas obtenidas con los algoritmos de split-window.

T in situ (°C)	S-W 2/1(°C)	S-W 5/6(°C)
<i>Area A (mijo)</i>		
$T_v=36,7 - 38,2$	$35,7 \pm 1,8$	$37,6 \pm 3,0$
$T_s=46,8$	$40,1 \pm 1,3$	$46,9 \pm 1,8$
<i>Area B (arabusto y hierba)</i>		
$T_a=29,7/T_h=47,6$	$35,5 \pm 2,5$	$39,4 \pm 1,6$
Efectiva: 46,1		
$T_a=29,7/T_h=47,3$	$35,5 \pm 2,3$	$42,3 \pm 2,4$
Efectiva: 45,8		
$T_a=29,6/T_h=45,0$	$34,8 \pm 1,9$	$41,5 \pm 2,1$
Efectiva: 43,7		
<i>Area C (vegetación y suelo)</i>		
$T_v=32,0/T_s=47,5$	$37,5 \pm 0,9$	$49,0 \pm 0,9$
Efectiva: 46,6		
<i>Area D (mijo)</i>		
$T_v=38,0/T_s=45,9$	$34,0 \pm 1,7$	$39,8 \pm 1,9$
Efectiva: 41,9		
$T_v=37,7/T_s=45,5$	$33,7 \pm 1,4$	$40,7 \pm 2,2$
Efectiva: 41,5		
$T_v=37,1/T_s=44,7$	$32,8 \pm 1,3$	$38,1 \pm 2,1$
Efectiva: 40,9		
<i>Area E (hierba y suelo)</i>		
$T_v=40,7/T_s=45,1$	$36,9 \pm 1,7$	$41,7 \pm 2,3$
Efectiva: 42,9		
$T_v=40,4/T_s=44,7$	$37,7 \pm 1,5$	$41,2 \pm 1,8$
Efectiva: 42,6		
$T_v=39,5/T_s=43,5$	$35,3 \pm 1,8$	$40,0 \pm 1,9$
Efectiva: 41,5		

**Tabla 2.** Comparación entre medidas in situ y temperaturas determinadas a partir de TIMS con los dos algoritmos de split-window estudiados.

## CONCLUSIONES

Se proponían como combinaciones válidas para la determinación de la temperatura de la superficie terrestre con el uso del método split-window, debido a la sensibilidad presentada a las condiciones atmosféricas y superficiales, los pares de canales 2-1 y 5-6.

Los resultados de la validación del método de split-window han confirmado que la combinación de canales clásica (5-6 del TIMS) proporciona temperaturas de la superficie comparables con las medidas del suelo con una precisión de  $\pm 2$  °C, mientras que la combinación alternativa (canales 2-1 del TIMS) generalmente subestima la temperatura entre 1 y 6 °C, dependiendo de los casos. Esto puede ser debido a la mayor dificultad de

obtener valores adecuados de emisividad en estos canales.

#### BIBLIOGRAFÍA

COLL, C. y CASELLES, V. (1997). A split-window algorithm for land surface temperature from advanced very high resolution radiometer data: Validation and algorithm comparison. *J. Geophys. Res.*, 102, 16697-16713.

KERR, Y. H., MEUNIER J. C., GOND V. y VALERO T. (1996). *HAPEX SAHEL Information System*.

PRATA, A. J. y CECHEZ, R. P. (1999). An assessment of the accuracy of land surface temperature

determination from the GMS-5 VISSR. *Remote Sens. Environ.*, 67, 1-14.

SCHMUGGE, T. J., HOOK, S. J. y COLL, C. (1998). Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data. *Remote Sens. Environ.*, 65, 121-131.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a la Agencia Espacial Europea por la financiación proporcionada para el estudio aquí presentado (ESTEC Contrato No. 14236/00/NL/DC).