

## **Proyecto DEMON: primeros resultados experimentales en el infrarrojo térmico**

*E. Valor, V. Caselles, C. Badenas, C. Coll y E. Rubio*

Departament de Termodinàmica. Facultat de Física  
Universitat de València

### RESUMEN

Durante los meses de marzo y abril de 1993 el Grupo de Teledetección de Valencia llevó a cabo una campaña de medidas en el dominio del infrarrojo térmico (IRT) en la zona de Turís-Alborache, próxima a Valencia, en el marco del Proyecto DEMON (An Integrated Approach To Mediterranean Land Degradation Mapping and Monitoring by Remote Sensing) subvencionado por el Programa Medioambiental de la Comisión de Comunidades Europeas. En el presente trabajo describimos la metodología e instrumentación usada en la campaña, y presentamos los primeros resultados experimentales obtenidos.

### ABSTRACT

The Remote Sensing Group of Valencia carried out a field campaign in the thermal infrared domain, in the area of Turis-Alborache, near Valencia, during the months of March and April 1993. This was the experimental campaign corresponding to DEMON Project (An Integrated Approach To Mediterranean Land Degradation Mapping and Monitoring by Remote Sensing), supported by the Environmental Programme of the Commission of the European Communities. In this paper we describe the methodology and instrumentation used in the measurements, and the first results obtained.

### *Introducción*

En los meses de marzo y abril de 1993, nuestro grupo desarrolló una campaña experimental de medidas en la zona valenciana de Turís-Alborache, correspondiente al Proyecto DEMON subvencionado por el Programa Medioambiental de la Comisión de Comunidades Europeas.

En dicha campaña se determinó experimentalmente la emisividad de las diferentes superficies presentes en la zona de estudio, y se realizaron diversos transectos de temperatura a lo largo de la misma. Además, se efectuaron periódicamente medidas de la radiancia atmosférica descendente para hacer las oportunas correcciones.

Por otra parte se efectuó un estudio de los cambios sufridos en la zona como consecuencia del deterioro ambiental causado por el gran número de incendios fo-

restales ocurridos en la misma. Para ello se calcularon mapas de NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) y de temperatura con imágenes del sensor Thematic Mapper a bordo del satélite Landsat-5 correspondientes a la zona estudiada.

El objetivo del presente trabajo es describir la instrumentación y metodología utilizadas para medir la emisividad, la radiancia atmosférica y la temperatura de las superficies, así como mostrar los primeros resultados experimentales obtenidos en este estudio.

### **Metodología**

En este apartado describimos la instrumentación y la metodología utilizadas para llevar a cabo las diferentes medidas experimentales realizadas en el campo, así como los cálculos realizados sobre las imágenes Landsat-TM.

#### **Instrumentación**

En la presente campaña se efectuaron todas las medidas con dos radiómetros térmicos de banda ancha (un Everest 210 y un AGEMA Thermopoint 80), que miden la radiación procedente de las superficies dentro del intervalo espectral 8 - 14  $\mu\text{m}$ . Dichos instrumentos tienen un campo de visión instantánea (IFOV) de  $2^\circ$  y miden la temperatura con una sensibilidad de  $0,1^\circ\text{C}$ . Su funcionamiento durante la campaña se controlaba periódicamente usando una fuente de calibrado, cuya temperatura se conoce por medio de un termómetro interno.

#### **Medida de la radiancia atmosférica**

Tanto en la determinación de la emisividad de las superficies como en la corrección de los transectos de temperatura, es preciso medir la radiación atmosférica descendente. Para ello utilizamos un sistema goniométrico que nos permitía realizar medidas direccionales de la misma. El sistema consiste de un brazo móvil en uno de cuyos extremos se sitúa el radiómetro; dicho brazo se mueve por el otro extremo permitiendo medir la radiación  $L(\theta, \phi)$  de  $-90^\circ$  a  $+90^\circ$  cada  $5^\circ$  (ver figura 1). A partir de estos datos se puede obtener la radiación hemisférica descendente calculando la siguiente integral:

$$L_3 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} L(\theta, \phi) \sin\theta \cos\theta \, d\theta \, d\phi \quad (1)$$

Esta integración se realiza numéricamente con los datos obtenidos (ver Apéndice).

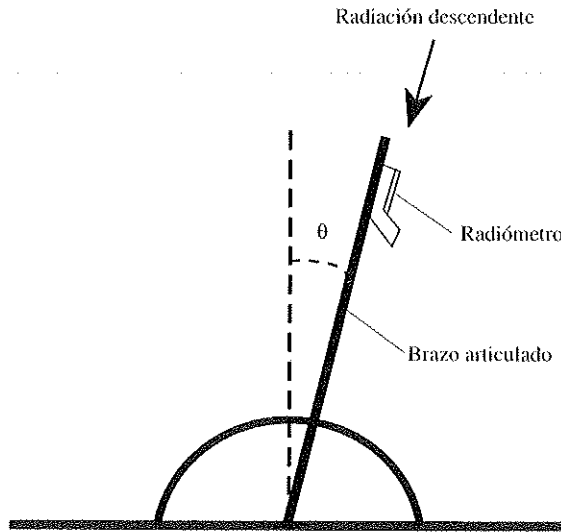


FIGURA 1  
Sistema goniométrico

### **Medida de la emisividad**

Para obtener la temperatura de las diferentes superficies es preciso corregir los datos primarios del efecto de la emisividad. Por ello necesitamos conocer este parámetro térmico en cada una de ellas. Además, también lo podemos usar para caracterizarlas según sus propiedades (como por ejemplo su estado de degradación).

La medida de la emisividad se efectuó mediante el método de la caja modificado (Casselles et al., 1993a). En dicho método se usa una caja de aluminio pulido (de emisividad próxima a cero) de dimensiones 40 cm largo x 40 cm ancho x 80 cm alto, abierta por debajo para situar la muestra y tapada por arriba con una tapadera de aluminio con un orificio en donde se sitúa el radiómetro. Se realizan tres medidas distintas (ver figura 2):

- a) Primero situamos la caja sobre la muestra y el radiómetro en el techo de la caja. Cuando se alcanza el equilibrio térmico se mide la temperatura  $T_1$ , que corresponde a la radiancia que emitiría la muestra si ésta fuera un cuerpo negro,  $L_1$ .
- b) Se quita la caja y, para que la temperatura de la muestra no se modifique, se realiza rápidamente la medida de la temperatura aparente de la muestra, de la que se obtiene la correspondiente radiancia,  $L_2$ .

c) Se mide la radiancia descendente de la atmósfera,  $L_3$ , mediante el sistema goniométrico descrito anteriormente.

Con estas tres medidas se obtiene la emisividad ( $\epsilon$ ) usando la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_3}{L_2 - L_3} + \Delta\epsilon \quad (1)$$

donde  $\Delta$  es un factor corrector que depende de la geometría de la caja, la emisividad de la muestra, la emisividad de la caja, etc., y que puede ser obtenido para una caja dada utilizando dos superficies estándar y siempre que las condiciones de medida sean las mismas (Caselles et al., 1993b).

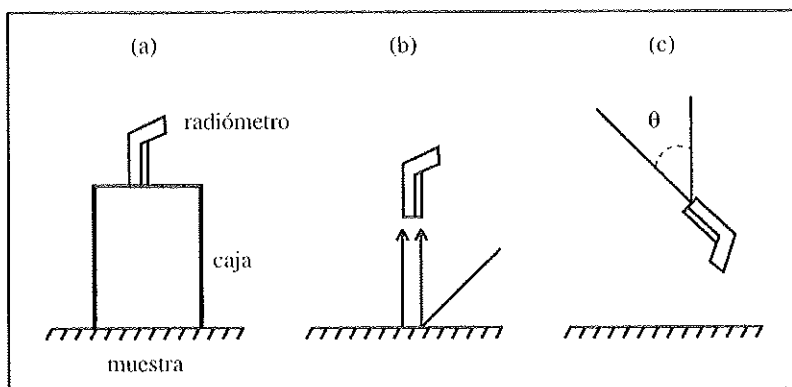


FIGURA 2  
Medida de la emisividad de una superficie

### Transectos de temperatura

Las medidas se realizaron con uno de los radiómetros de infrarrojos. Se efectuaban varias medidas sobre cada una de las superficies estudiadas. Estas primeras medidas hay que corregirlas del efecto de la emisividad de un lado, así como de la radiación atmosférica descendente que es reflejada por la superficie, de otro. De este modo, la radiancia de la superficie,  $L_s$ , se obtiene a partir de la medida por el radiómetro,  $L^*$ , mediante la ecuación:

$$L_s = \frac{1}{\epsilon} [L^* - (1-\epsilon) L_3]$$

donde  $L_3$  es la radiancia atmosférica descendente medida con el sistema goniométrico. Para transformar radiancias en temperaturas y viceversa se desarrolló una relación  $L=L(T)$ , partiendo de la función de Planck y teniendo en cuenta la función de filtro correspondiente a cada uno de los radiómetros usados en la experiencia.

### ***Imágenes Landsat-TM***

En este estudio se procesaron imágenes Landsat-TM fechadas el 26 de junio de 1987 y el 7 de abril de 1993, con fines comparativos. Las reflectividades ( $\rho$ ) usadas en el cálculo del NDVI se obtuvieron con la ecuación (López y Caselles, 1991):

$$\rho = \frac{k \pi L}{E \cos z}$$

donde  $k$  es el factor corrector para la variación de la distancia Tierra-Sol,  $L$  es la radiancia que llega al satélite ( $W m^{-2} sr^{-1}$ ),  $E$  es la irradiancia solar en el techo de la atmósfera ( $W m^{-2}$ ) y  $z$  es el ángulo cenital solar. El efecto de la atmósfera se corrigió usando el método propuesto por Caselles y López (1989) para estudios multitemporales. Se basa en la idea de que dicho efecto en dos o más fechas se puede determinar de una manera relativa, usando la reflectividad aparente de superficies cuya reflectividad real puede considerarse invariable con el tiempo. En nuestro caso se usó el pantano de Forata y una cantera cercana a Buñol.

Para obtener las temperaturas a partir de los datos de la banda 6 del sensor TM empleamos la aproximación propuesta por Singh (1988):

$$\rho = \frac{k \pi L}{E \cos z}$$

donde  $T$  es la temperatura,  $L$  es la radiancia que llega al satélite, y  $a$  y  $b$  son los coeficientes que dependen del intervalo de temperaturas.

### ***Primeros resultados experimentales***

A continuación describimos los primeros resultados obtenidos de nuestra investigación en el presente proyecto.

#### ***Medidas de emisividad***

Se hicieron medidas de la emisividad de las distintas superficies presentes en el área de estudio, correspondientes a diferentes tipos de cultivos así como a distintos estados de degradación. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 1. Se aprecia una variación de los valores entre 0,952 y 0,990.

#### ***Transectos de temperatura***

Se realizaron diversos transectos sobre el área de estudio, para observar las diferencias térmicas existentes entre las distintas superficies estudiadas. En la figura 3 se muestran las diferencias térmicas entre dichas superficies, tomando como referencia la muestra 1, en un transecto correspondiente al área de estudio de Montroi (ver Caselles et al. 1993a para más

Muestras	Emisividad	Error
1.- Habas	0.984	0.005
2.- Matorral (cubierta completa)	0.990	0.003
3.- Olivos	0.973	0.006
4.- Viña (suelo marrón)	0.956	0.011
5.- Viña degradada (suelo verde)	0.966	0.008
6.- Viña (suelo verde)	0.952	0.023
7.- Viña (suelo rojo)	0.960	0.011

TABLA I  
Medidas de emisividad en la zona de estudio

información). Como se puede apreciar, las diferencias de temperatura son suficientemente elevadas como para distinguir las distintas superficies entre sí.

### Imágenes de NDVI

Se construyeron dos imágenes de NDVI de la zona estudiada con datos del sensor TM a bordo del satélite Landsat-5, correspondientes a los años 1987 y 1993, así como su diferencia, para estudiar la evolución de la cobertura vegetal entre esas dos

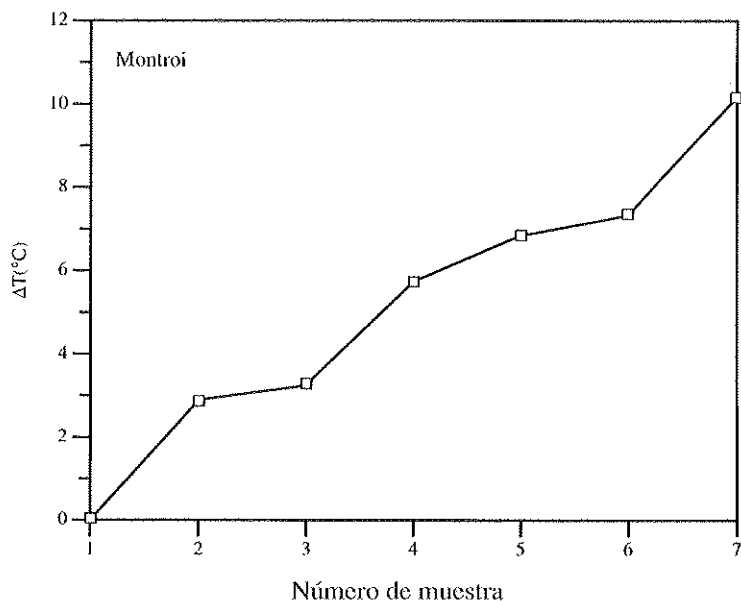


FIGURA 3  
Transecto de temperatura en la zona de Montroi

fechas. En la figura 4 podemos observar la imagen diferencia. Se aprecia una disminución general de la cobertura vegetal, alcanzándose pérdidas de hasta el 40% en determinadas áreas.

### *Imágenes de temperatura*

También se han calculado dos mapas de temperatura correspondientes a las fechas citadas anteriormente. Las figuras 5a y 5b nos los muestran. Se aprecia una variación importante en la forma y en la desviación estándar de las distribuciones de temperatura correspondientes a ambas fechas. Un esquema de este cambio se mues-

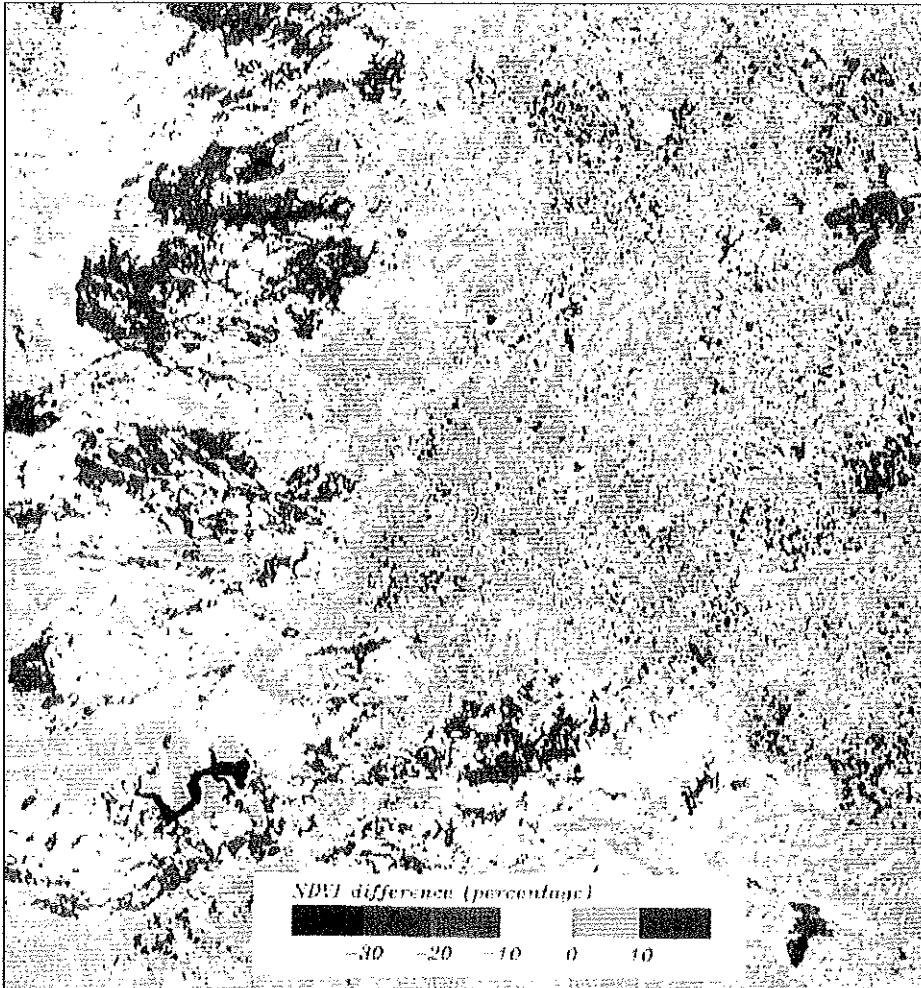


FIGURA 4

Imagen de diferencia de NDVI de la zona de estudio entre los años 1987 y 1993. (A. 103)

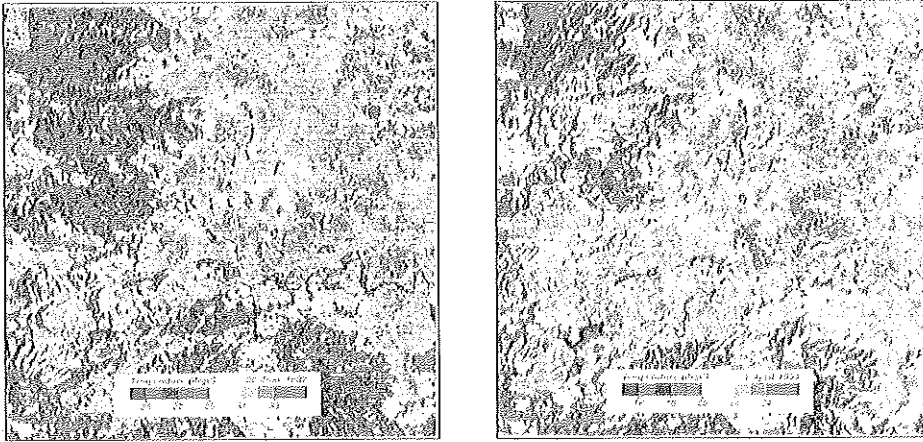


FIGURA 5

- (a) Imagen de temperatura para el 26 de junio de 1987;  
(b) Imagen de temperatura para el 7 de abril de 1993. (A. 104)

tra en la figura 6. Una degradación del terreno comporta un aumento relativo de las temperaturas de la zona. Así, el histograma se abre, desplazándose al mismo tiempo hacia la derecha, es decir, aumentando la proporción de píxeles con una temperatura más elevada.

Creemos que este hecho se podría utilizar en la confección de un índice térmico para seguir el estado de degradación de las superficies, en combinación con índices obtenidos a partir de datos de otras partes del espectro electromagnético (ver comunicación presentada por el Prof. Caselles en el congreso).

### **Conclusión**

En el presente trabajo hemos descrito la metodología empleada así como los primeros resultados obtenidos en la campaña experimental llevada a cabo en Valencia en el marco del proyecto DEMON. Como se ha visto, la zona de estudio padece un importante proceso de degradación de la superficie. Los resultados preliminares nos muestran que es posible usar datos térmicos para realizar un seguimiento de los procesos de desertización.

### **Apéndice**

La integral de la ecuación (1) puede realizarse de forma sencilla numéricamente. La función  $L(\theta, \phi)$  tiene una doble dependencia angular (en ángulo cenital  $\theta$ , y en ángulo acimutal  $\phi$ ); en el caso de días completamente despejados o bien con una distribución uniforme de nubes, la dependencia acimutal es muy pequeña, con lo que bas-



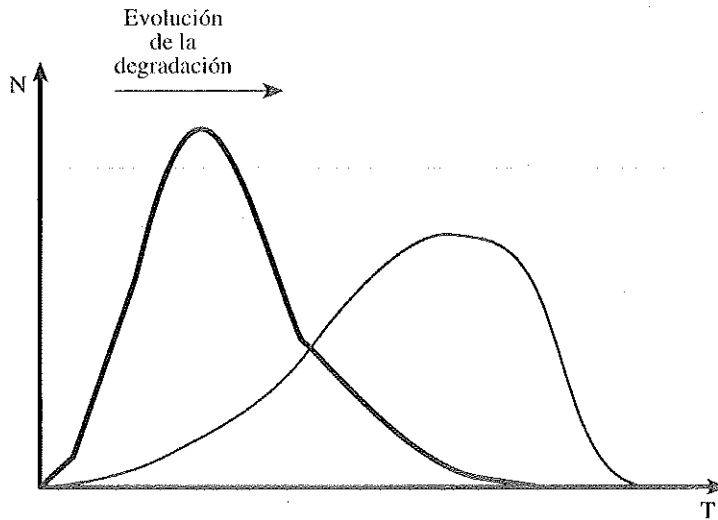


FIGURA 6

Evolución de la distribución de temperaturas en el proceso de degradación

ta hacer medidas para diferentes ángulos cenitales en una dirección dada. Así, se hacen medidas de la radiación atmosférica cada  $5^\circ$ ,  $L_i(\theta_i)$ . A partir de estas medidas se calcula fácilmente la integral mediante el siguiente sumatorio:

$$L_3 = \frac{\sum_{i=1}^n L_i(\theta_i) \sin\theta_i \cos\theta_i}{\sum_{i=1}^n \sin\theta_i \cos\theta_i}$$

donde  $\theta_i$  es el ángulo para el que se toma la medida  $L_i(\theta)$ , variando de  $-90^\circ$  a  $+90^\circ$  cada  $5^\circ$ .

### Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Comisión de Comunidades Europeas por la financiación recibida para realizar la investigación presentada en este trabajo (Proyecto EV5V-CT91-0035).

### **Bibliografía**

- Caselles, V. and López, M.J.:** 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *Int. J. Remote Sensing* 10:1127-1134.
- Caselles, et al.:** 1993a. An Integrated Approach to Mediterranean Land Degradation Mapping and Monitoring by Remote Sensing (DEMON). Report EVSV-0035. Commission of the European Communities, Brussels.
- Caselles, V., Sobrino, J.A. and Valor, E.:** 1993b. A simple method for measuring and mapping thermal infrared emissivities. En *Thermal Remote Sensing*. La Londe Les Maures. The Pennsylvania State University (USA), CRPE (Francia) and CEMAGREF (Francia). (en prensa).
- López, M.J. and Caselles, V.:** 1991. Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto Int.* 1:31-37.
- Singh, S.M. 1988.:** Brightness temperature algorithms for Landsat Thematic Mapper data. *Remote Sens. Environm.* 24: 509-512.