

Comparación de la cartografía de la temperatura superficial y del aire mediante AVHRR y datos *in situ* en la Comunidad Valenciana

J. Quereda.; A.B Ruescas, E. Montón, J. Escrig, J. y B. Mollà. ⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Climatología, Universidad Jaime I, Avda. Sos Baynat s/n, 12071, Castellón de la Plana. quereda@his.uji.es, ruescas@his.uji.es, montone@his.uji.es, escrig@his.uji.es, bmolla@his.uji.es

Resumen

La temperatura de la superficie obtenida a través de las imágenes del sensor AVHRR es utilizada para calcular la temperatura del aire mediante el método de correlaciones por regresión lineal. Para alcanzar este objetivo se realiza una comparación entre los mapas de la temperatura superficial por satélite y los mapas de la temperatura del aire obtenidos por interpolación de datos puntuales de la red de estaciones meteorológicas del INM.

1. Introducción

El calor radiativo de la superficie y el subsiguiente flujo de calor hacia la atmósfera baja mediante la conducción y la convectividad determinan una fuerte relación entre la temperatura superficial del suelo y la capa más baja de temperatura del aire. Este efecto es más pronunciado durante los días despejados cuando las características de la superficie de la tierra tienen una mayor influencia en el balance de energía superficial. Teóricamente, bajo estas condiciones es posible cartografiar el patrón espacial del campo de temperatura del aire con una alta precisión utilizando temperaturas de la capa superficial de la tierra mediante la teledetección. Los satélites NOAA, con el sensor AVHRR, constituyen una fuente adecuada para la cartografía de las temperaturas superficiales ya que los datos sinópticos que proporcionan están disponibles para gran parte de la Tierra y cuentan con una buena resolución temporal. De esta temperatura superficial puede inferirse una temperatura del aire aproximada [1]. Consecuentemente, y dado que en la naturaleza todo aparece gobernado por lo térmico, profundizar en las técnicas termográficas de la teledetección constituye una tarea fundamental de las futuras investigaciones climáticas y ambientales.

Para alcanzar los objetivos pretendidos en el presente caso ha sido necesario obtener previamente la cartografía de la temperatura superficial por teledetección y la temperatura del aire con medidas *in situ*. A continuación se han comparado ambos tipos de temperaturas al objeto de encontrar la función de mayor ajuste entre ambas para poder extraer las

temperaturas del aire directamente de los datos del satélite.

2. Zona de estudio y datos disponibles

La zona de estudio queda enmarcada por los límites de la Comunidad Valenciana. Ésta ha sido un área profusamente estudiada por climatólogos y meteorólogos, habitualmente utilizando métodos convencionales (estaciones *in situ*, trabajo de campo, radiosondeos, etc.). Los resultados de dichos trabajos nos ofrecen una información valiosa sobre las características térmicas de la zona que se resumen a continuación [2].

2.1. Características térmicas de la zona de estudio

Los factores más importantes que influyen y caracterizan la configuración térmica de la zona de estudio son: la distancia al mar, la orografía (orientación, pendiente, altitud, etc.), la conductividad térmica y la capacidad conductora de los diferentes tipos de superficie. La característica en la distribución de las temperaturas medias anuales del aire es a aumentar desde el interior hacia la costa. Los valores medios más elevados se dan en las zonas llanas del litoral, con temperaturas medias anuales por encima de 17° C. Las medias más bajas se dan en el interior y en las zonas de mayor altitud (> 1.200 m) con valores de inferiores a 10° C.

2.2. Las imágenes de satélite y los datos *in situ*

Los datos con los que se cuenta para alcanzar los objetivos planteados son:

- Temperaturas máximas y mínimas diarias de la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para los cuatro días seleccionados como representativos de cada estación del año (figura 1).
- Ocho imágenes de los satélites NOAA-12 y NOAA-17 representativas de las cuatro estaciones del año, dos por cada día, una para las temperaturas mínimas y otra para las máximas (tabla 1).

- Mapas topográficos, mapas geológicos y de aprovechamiento y uso del suelo para comprobar la localización exacta de las estaciones *in situ* y el entorno que las rodea.
- Mapas sinópticos y topografías barométricas de la situación del tiempo en cada día a analizar (INM).



Figura 1. Mapa de distribución y localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente estudio

Tabla 1. Fechas y horas exactas de las imágenes de satélite procesadas

Fecha	Hora Tmin	Hora Tmax
06/04/2003	-	13:41:27
27/04/2003	04:32:14	-
08/07/2003	05:19:48	12:59:21
09/10/2003	06:56:31	14:08:51
29/01/2004	05:12:40	10:52:24

El dato extraído de las temperaturas de la superficie del suelo calculadas mediante teledetección, está centrado en las coordenadas que marcan la localización de las estaciones meteorológicas. Para las estaciones localizadas en la costa las ventanas se mueven ligeramente para evitar integrar la superficie del mar. El valor medio que da el píxel de cada imagen (1Km x 1Km) se utiliza para la comparación entre ese dato y la temperatura máxima y mínima del aire del mismo día obtenidas de las estaciones *in situ*.

3. Procesamiento de los datos

3.1. La técnica de *split-window*

La temperatura superficial fue inferida de los datos AVHRR mediante una técnica de *split-window* que utiliza los canales térmicos de dicho sensor (T_4 y T_5) junto con unos coeficientes teóricos que describen la transmisión y emisión espectral atmosférica. El algoritmo utilizado tiene en cuenta la emisividad de la superficie así como el vapor de agua atmosférico de cada imagen [3]:

$$T_s = T_4 + 1.4 (T_4 - T_5) + 0.32 (T_4 - T_5)^2 + 0.83 + (57 - 5W) (1 - \epsilon) - [161 - 30W] \epsilon \quad (1)$$

donde W es la cantidad total de vapor de agua en g/cm^2 , ϵ es la emisividad efectiva y ϵ es el diferencial de emisividad

Cabe decir que las imágenes procesadas no tienen apenas cobertura nubosa y cuenta con ángulos de visión del sensor adecuados de acuerdo con el criterio de selección ($< 40^\circ$).

3.2. La interpolación de los datos *in situ*

La temperatura del aire es muy variable en el espacio, siendo esta variabilidad una función de las complejas relaciones entre factores radiativos, de advección atmosférica y naturaleza del suelo. Todo ello dota de gran complejidad a las construcciones de los campos térmicos. Sin embargo, las principales imprecisiones de la representación cartográfica están provocadas por el sesgo de las medidas, el método usado en la interpolación y la representatividad de la red de estaciones [4]. Este es precisamente el campo de aplicaciones donde la teledetección se muestra como la mejor herramienta para superar esas fuentes de error.

El método de interpolación utilizado para la elaboración de las termografías es el *kriging*, cuyo error medio se ha estimado entre 1 y 3 K, dependiendo la magnitud del error de la densidad de la red de estaciones utilizada.

4. Comparación de los resultados

En primer lugar se ha llevado a cabo un análisis de correlación entre los datos de la temperatura del aire y la de superficie; posteriormente se han comparado las cartografías térmicas resultantes de la interpolación de los datos puntuales obtenidos de la red de estaciones meteorológicas y de las imágenes de satélite; y por último se ha buscado la mejor función de ajuste entre ambas medidas al objeto de precisar más la cartografía de la temperatura del aire a partir de las imágenes de satélite. Ello ha requerido de un

previo control de calidad de todos los valores utilizados inicialmente.

4.1. Temperatura superficial y temperatura del aire: el coeficiente de correlación

El análisis estadístico de los datos mediante el coeficiente de correlación y la comparación entre la temperatura del suelo y la temperatura de aire máxima y mínima de los días disponibles muestra grandes diferencias según el día analizado (tabla 2).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de las temperaturas máximas y mínimas de aire y el suelo

Coeficiente de correlación	T ^{as}		T ^{as}	
	Nº datos	Min	Nº datos	Max
Primavera	108	0.84	84	0.80
Verano	104	0.78	78	0.70
Otoño	103	0.83	86	0.75
Invierno	103	0.82	105	0.76
Promedio	104	0.81	88	0.75

En las temperaturas mínimas la correlación media de los cuatro días es de 0.81. La correlación más baja es la de verano ($r = 0.78$), con 104 estaciones contrastadas, la más alta es de 0.84 en primavera, con 108 estaciones (tabla 2). En las temperaturas máximas la correlación tiene un comportamiento similar, con las temperaturas de verano con un coeficiente más bajo (0.70) y con unos resultados más aceptables el resto del año. La media del periodo es de 0.75.

4.2. Comparación de los patrones dibujados en las termografías

A tenor de unos coeficientes de correlación aceptables dentro de su variabilidad y naturaleza de medidas, se optó por la elaboración de las termografías a partir de los datos puntuales, con el objetivo de comparar sus patrones espaciales. Los mapas de temperaturas se construyeron con los datos de las estaciones proporcionados por el INM para cada día y para las temperaturas mínimas y máximas (mapas de la temperatura del aire, Ta). Se hizo lo mismo con los datos equivalentes de la cartografía por satélite (mapas de la temperatura superficial o del suelo, Ts), tomando el dato de píxel equivalente (1 Km²) y construyendo mapas a partir de ellos, utilizando el mismo método de interpolación en ambos casos (*kriging*).

La figura 2 muestra los patrones de temperaturas en la estación invernal. En ella puede observarse como las temperaturas mínimas más bajas se encuentran en el interior de la Comunidad Valenciana, mientras en la costa las temperaturas son bastante más suaves. El mar, la orografía, la conductividad térmica y la capacidad conductora son los factores responsables de

la configuración cartográfica, siendo sus efectos más acusados en las temperaturas máximas. La comparación de las temperaturas máximas ofrece unos resultados igualmente buenos en cuanto al patrón espacial se refiere, pero la diferencia entre las temperaturas es hasta 15.3° C más alta en superficie que las del aire (en verano). A pesar de las diferencias cuantitativas, el patrón que siguen las temperaturas es similar en todos los casos.

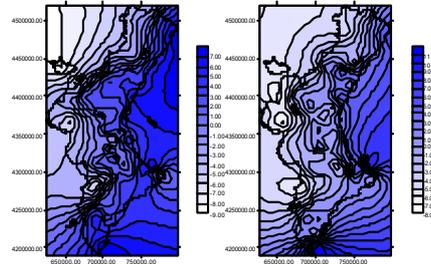


Figura 2. Mapas por interpolación de las temperaturas mínimas de invierno del aire (izquierda) y de la superficie (derecha)

4.3. Cartografía de la Ta a partir de la Ts

Tras el análisis inicial realizado a los datos de los cuatro días analizados con el objetivo de conocer la correlación entre ambas variables, temperatura del aire y del suelo o superficie, se ha tratado de derivar mapas de temperaturas del aire a partir de los datos de superficie. Para ello se ha procedido a mejorar la función de ajuste de ambas medidas térmicas a través de un control de calidad de los datos.

De cada par de datos trabajados por cada imagen, se eliminaron aquellos en los que la diferencia Ts-Ta superaba la media del total de las diferencias en 3s en las máximas y en 2s en las mínimas. Ambos constituyen umbrales de distribución acordes con nuestras experiencias en medidas experimentales de campo [5],[6]. La base de los datos resultante ha permitido obtener una mejor correlación de datos y en definitiva una mejor función de ajuste para la elaboración de la cartografía final.

La función que mejor se adapta a los datos ha sido la lineal [7]. De ahí que se haya realizado una regresión lineal entre la Ta y la Ts de cada situación analizada, es decir, un total de ocho regresiones lineales, cada una para un momento y una situación determinada y no extrapolable, aunque siempre orientativa del comportamiento de dichas regresiones para cada estación y para las temperaturas máximas y mínimas.

Tabla 3. Resultados de la regresión lineal de las temperaturas máximas y mínimas en función la temperatura de superficie

Fecha	h	a	b	r ²	r
27/04/03	04:32	0.85	1.97	0.70	0.84
08/07/03	05:19	0.81	2.90	0.61	0.78
09/10/03	06:56	0.89	0.98	0.69	0.83
29/01/04	05:12	0.88	1.33	0.67	0.82
06/04/03	13:41	0.76	-11	0.64	0.80
08/07/03	12:59	0.50	11.7	0.49	0.70
09/10/03	14:08	0.6	6.4	0.57	0.75
29/01/04	10:52	0.85	3.24	0.59	0.77

A continuación se muestra en la figura 3 el gráfico de dispersión de las temperaturas mínimas de primavera.

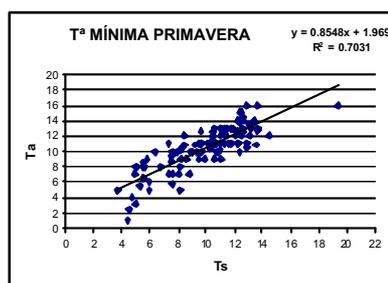


Figura 3. Regresión lineal entre la Ta y la Ts de las temperaturas mínimas de invierno

En la figura 4 se muestra el mapa de temperatura mínima del aire en el mes de enero, resultante de la aplicación de la ecuación obtenida en la regresión lineal ($T_a = aT_s + b$).

5. Conclusiones

Aunque el dato absoluto de la temperatura del aire y del suelo, tal y como se ha analizado, no muestren un ajuste riguroso, es posible utilizar la teledetección para comprobar la fidelidad de los patrones creados a partir de los datos puntuales de la temperatura del aire. La teledetección se muestra como una buena técnica para corregir la visión sesgada que pueden ofrecernos los datos obtenidos desde las estaciones ubicadas en el terreno y la dificultad de la correcta interpolación de los datos a la hora de componer la cartografía. Respecto a la obtención de la cartografía de la Ta a partir de la Ts, la ecuación resultante de la regresión lineal varía según la imagen considerada, obteniendo los mejores coeficientes de determinación (r^2) en las imágenes de

invierno y en las temperaturas mínimas en todo el año.

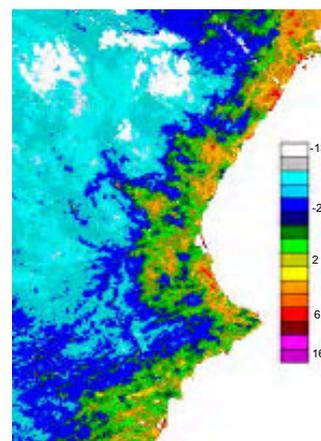


Figura 4. Mapa de la temperatura mínima del aire en enero.

6. Agradecimientos

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto GV04B-560 financiado por la Generalitat Valenciana. Los autores agradecen las sugerencias de los profesores José Sobrino y Carmen Recondo.

7. Referencias

- [1] Pridhoko L. y Goward, S.N: Estimation of air temperature from remotely sensed surface observation. *Remote Sen. of Environ.* 60:335-346, 1997
- [2] Pérez Cueva, A.J. (Ed): Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana. 152 pàgs. 1994
- [3] Sobrino, J. y Raissouni: Toward remote sensing methods for land cover dynamic. Application to Morocco. *Int. J.Remote Sensing*, 20:353-366, 2000
- [4] Vogt, J.V.; Viau, A.A.; y Paquet, F.: Mapping regional air temperature fields using satellite-derived surface skin temperatures. *Int. J.Remote Sensing*, 17:1559-1579, 1997
- [5] Quereda, J.: Experiencias sobre procesos térmicos en el suelo. *Millars IV* 7-24, 1977
- [6] Quereda, J.: Datos para el estudio de los procesos termoclásticos en la montaña mediterránea *Millars VI* 7-17, 1979
- [7] Recondo, C. y Pérez-Morandeira, C.S.: Obtención de la temperatura del aire en Asturias a partir de la temperatura superficial calculada con imágenes NOAA-AVHRR. *Revista de Teledetección*, 17:5-12, 2002