

EL EFECTO DE ISLA TÉRMICA DE LA CIUDAD DE VALENCIA OBTENIDO A PARTIR DE TRANSECTOS E IMÁGENES NOAA-AVHRR

V. CASELLES¹; M.J. LOPEZ GARCIA²; J. MELIA¹ y A.J. PEREZ CUEVA²

¹Departament de Termodinàmica, Facultat de Física. Universitat de València. 46100 Burjassot

²Departament de Geografia, Facultat de Geografia i Història. Universitat de València. Ap. 22060. 46080 Valencia

RESUMEN

En este trabajo hemos realizado un estudio del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia mediante la técnica tradicional —los transectos de temperatura del aire obtenidos utilizando un automóvil— y las imágenes térmicas del satélite NOAA. El análisis se ha extendido a las noches del 27 y 28 de febrero de 1988, en las que se dio un claro enfriamiento radiativo. Las imágenes del satélite se corrigieron del efecto de emisividad definiendo una emisividad efectiva, que se obtuvo a partir de los valores de la emisividad del asfalto, edificios y vegetación, y de las proporciones con que intervienen estos elementos en cada píxel. Comparando los valores de la temperatura del aire con los datos NOAA corregidos, se observa que el valor del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia medido por el satélite resulta 2-3°C superior que el obtenido con los transectos.

Palabras clave: Isla térmica, Imágenes NOAA-AVHRR, Temperatura, Emisividad.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the heat island effect of the city of Valencia (Spain) by means of the traditional technique (transects of the air temperature measured from a car) and by means of NOAA satellite thermal images. The analysis includes the nights of 27 and 28 February 1988, on which a radiative frost occurred. Satellite images were corrected of the emissivity effect by defining an effective emissivity, which was obtained from the emissivity values of the asphalt, buildings and vegetation, and from the proportion of these elements in each pixel. By comparing air temperature values with corrected NOAA data, we have observed that the value of the heat-island effect of the city of Valencia measured from the satellite is 2-3°C higher than the value obtained along the transects.

Key words: Heat-island, NOAA-AVHRR images, Temperature, Emissivity.

1. INTRODUCCION

La modificación del campo de temperaturas producida por las grandes aglomeraciones urbanas, conocida como efecto de isla térmica, ha sido objeto de numerosos estudios mediante medidas de la temperatura del aire, bien a partir de una red de estaciones fijas, bien realizando transectos. El punto de partida de estos trabajos radica, principalmente, en obtener una descripción sinóptica del campo de temperaturas.

La metodología convencional más frecuente de obtener temperaturas a lo largo de transectos realizados con estaciones móviles tiene la gran facilidad de ser muy sencilla, pero adolece de la limitación en la simultaneidad de las medidas y de la misma definición de los transectos. Las redes urbanas de medida de temperatura son muy escasas y sólo algunas ciudades con graves problemas de contaminación atmosférica disponen de ellas, si bien la distribución de los puntos de medida no es la más idónea por concentrarse especialmente en los puntos más congestionados.

Las medidas de temperatura por teledetección desde satélite eliminan alguna de estas dificultades ya que permiten una buena observación sinóptica, la cual sin embargo queda limitada por la hora de paso y por la resolución espacial del satélite. Estas limitaciones dejan disponibles un reducido número de satélites y observaciones.

Si bien las primeras referencias a la aplicación de satélites aparecen en 1972 (Rao, 1972), es realmente con la puesta en órbita del sensor VHRR (Very High Resolution Radiometer) de los satélites NOAA, más adecuado por su resolución radiométrica para el estudio del efecto de isla térmica, cuando aparecen las primeras publicaciones (Carlson et al., 1977; Matson et al., 1978). Los trabajos más recientes utilizan principalmente el sensor HCMR (Heat Capacity Mapping Radiometer) (Price, 1979; Carlson et al., 1981; Vukovich, 1983 y Gossmann, 1986). En estas publicaciones se analizan distintos factores que repercuten en el efecto de isla térmica tales como el tamaño de las ciudades (Matson et al. 1978), las variaciones en la reflectividad de las superficies (Vukovich, 1983), la influencia de la geografía (Gossmann, 1986) y, de forma general, se hace referencia a las condiciones atmosféricas relacionadas con la magnitud de la isla térmica medida.

Por lo general, en estos trabajos, se considera al suelo como un sistema radiativo perfecto, cuya emisividad es la unidad y cuya temperatura puede calcularse por aplicación directa de la ley de Planck. Esta hipótesis es realmente muy restrictiva (Caselles et al., 1988), ya que los distintos tipos de cobertura del suelo urbanizado (asfalto, edificios y vegetación, principalmente) introducen cambios sustanciales en el campo de emisividades, que modifican el efecto de isla térmica que proporciona directamente el satélite (Meliá et al. 1989).

En este trabajo hemos realizado el estudio del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia, durante las noches de los días 27 y 28 de febrero de 1988. Corresponden estos días a sendas noches de fuerte enfriamiento radiativo con viento encalmado, que habían sido precedidas por un período en el que se produjo un fuerte descenso de las temperaturas, debido a la persistencia de una advección de origen ártico o polar continental.

Las medidas utilizadas en el estudio son las obtenidas en el suelo mediante transectos de la temperatura del aire realizados en la ciudad y alrededores, y las imágenes nocturnas del satélite NOAA 9, a las que se aplicó la corrección por emisividad. El objetivo del trabajo es la comparación de ambas técnicas de medida y la discusión de la importancia que tiene la corrección por emisividad en el estudio del efecto de isla térmica de las ciudades mediante imágenes térmicas.

2. AREA DE ESTUDIO

La ciudad de Valencia se extiende en la costa mediterránea española sobre una pequeña llanura aluvial formada por los aportes del río Turia durante el cuaternario. Su topografía es prácticamente llana. Presenta un desnivel máximo de unos 40 m en sentido E-O, entre el mar y los apoyos desde los que arranca el abanico aluvial del río. Sobre esta dirección, aproximadamente normal a la de la costa, discurren los vientos zonales determinados por el régimen de brisas. El área geográfica donde se enclava la ciudad corresponde a un tipo de clima mediterráneo subárido, correspondiente al tipo DB'3da' de la clasificación de Thornwhaite.

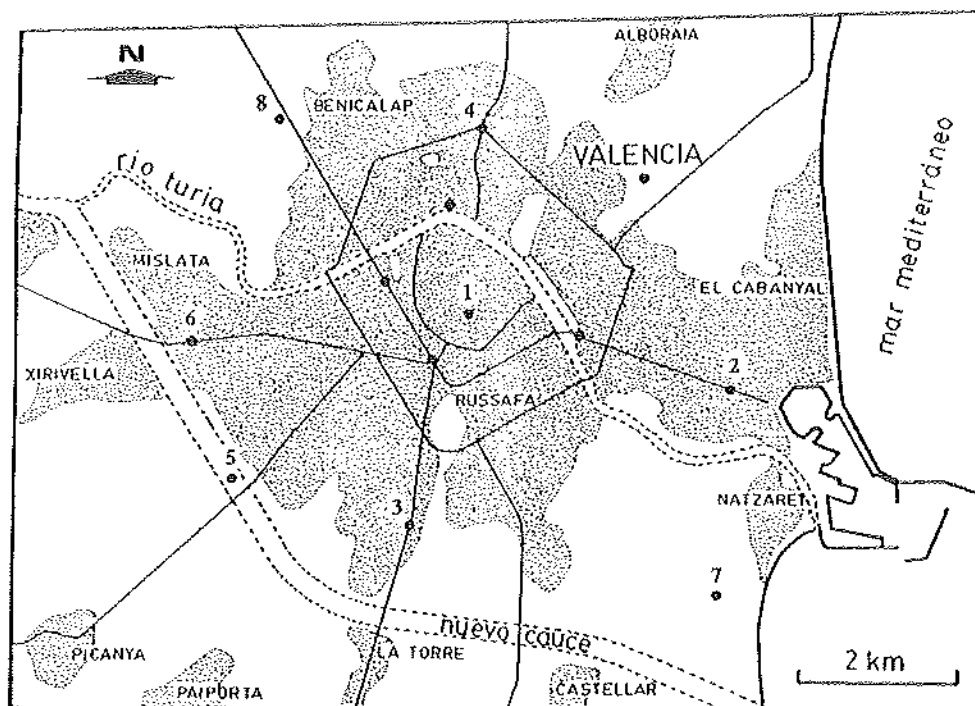


Figura 1.— Mapa de la ciudad de Valencia en el que se han señalado los puntos muestreados durante los transectos.

La ciudad en 1988 tenía una superficie urbanizada continua de más de 31,75 km² (figura 1), de los cuales 1,3 son superficies ajardinadas. En 1986, la población era de 729.419 habitantes (según el Padró Municipal), distribuida en 19 distritos de características muy dispares, tanto por la densidad y altura de sus construcciones, como por la proporción de superficie ajardinada. La expansión de la ciudad se ha efectuado a expensas del paisaje agrario de "Huerta" (*) que constituye hoy en día la mayor parte de sus alrededores, y ha incorporado algunos de los núcleos de población cercanos (Mislata, Xirivella, Russafa...). Dado el crecimiento en explosión de la ciudad, su periferia no ha presentado una urbanización compacta, al quedar restos de huerta —cada vez más escasos— dentro de la propia ciudad.

3. SITUACION METEOROLOGICA

El origen de la situación sinóptica que provoca la oleada de aire frío se sitúa una semana antes, aproximadamente, con una advección de aire frío en altura que afecta a Valencia ya desde el día 24 de Febrero. El momento de mayor intensidad de esta advección se produce el día 26 de Febrero. Durante la noche siguiente se producen las heladas más intensas, por irradiación.

La advección superficial, desde el día 24 hasta el 27, es de masas polares continentales procedentes del norte de Rusia y posteriormente de masas árticas. La evolución sinóptica en superficie está estrechamente ligada a la circulación en altura, con la diferencia de que la advección superficial es más continental. Los motores de la advección son tanto el anticiclón noratlántico como las borrascas europeas, a diferencia de otras situaciones de heladas en que únicamente existe un centro de acción. Esta advección superficial da lugar a una evolución y rasgos peculiares del viento, temperatura y humedad relativa del aire, que se muestran en la tabla 1.

TABLA 1
Condiciones meteorológicas durante los días del
23 al 29 de Febrero de 1988

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad del aire (%)	Hora Solar (GMT)	Dirección del Viento	Velocidad del viento	ADVECCION (m/s)
23 Febrero	10/19	95/55	0-9 9-13 13-20 20-24	W-SW rolando a SE SE NNW-W	1 1-3 3 1-3	MAXIMA ADVECCION
24 Febrero	8/18	90/40	0-6 6-24	NNW-W NW-N	1-3 2-7	
25 Febrero	6/13	60/40	0-2 2-24	NW-N de NNW a W	2-7 2-8 (rachas ≥10)	
26 Febrero	5/12	50/40	0-13 13-17 17-24	de NNW a W rolando a SW NW-N	2-8 (rachas ≥10) 2-3 2-5	
27 Febrero	1/10	55/40	0-9 9-12 12-19 19-24	NW-N variable SW a N SE NW	2-5 ≤ 2 1-4 2-3	BRISAS
28 Febrero	2/12	60/45	24-12 12-20 20-22 22-24	NW SE, rolando a SW variable de W a SW	2-3 3-4 0-1 2-3	BRISAS
29 Febrero	2/18	75/45	0-13 13-24	de W a SW NNW	2-3 5-8	ADVECCION DEBIL

(*) El paisaje agrario de "Huerta" está constituido por un minifundio con hábitat disperso dedicado a cultivos de regadío, principalmente verduras.

Desde el día 23 hasta después de las heladas más intensas hay una entrada persistente de vientos de componente O con velocidades medias de 2 a 3 m/s. Durante el día 25 y la noche del día 26 se produce la máxima advección, con vientos del 4º cuadrante entre 2 y 8 m/s y rachas de más de 10 m/s. Durante el día 27 la tendencia es a encalmarse. Desde el día 22 se produce una evolución paulatina de la temperatura y humedad relativa hacia valores cada vez más bajos. El valor más bajo de los mínimos diarios se produce durante la noche del 26 al 27. La humedad relativa cambia bruscamente el día 24 por lo que puede considerarse el mejor indicador del inicio de la advección. Posteriormente sigue disminuyendo, ya más débilmente, hasta alcanzar valores mínimos durante el momento de la máxima advección —días 25 y 26—. Tras el día 27 y hasta el 2 de marzo tiende a subir, excepto el día 29, coincidiendo con una nueva fase de viento fuerte del NNO.

En conjunto podemos hablar de una única oleada de frío, a pesar de existir varias fases de entrada de aire frío y seco. En su génesis, es un factor fundamental, como en la mayor parte de situaciones de helada, la persistencia de la advección en días anteriores a las heladas y una cierta encalmada la noche de máxima intensidad del frío.

Las bajas temperaturas y sobre todo la presencia de cielos despejados y la escasa humedad, la mayor parte de estos días, propiciaron la aparición de un efecto de isla térmica nocturna relativamente intenso. El factor desfavorable, sin embargo, fue el viento, que no llegó nunca a estar encalmado durante suficiente tiempo como para que se pudiera configurar una isla térmica muy acentuada. Las noches de los días 27 y 28 se registraron las temperaturas mínimas más bajas en la ciudad, acompañadas de periodos de viento encalmado.

4. RESULTADOS

4.1. MEDIDAS IN SITU

En las figuras 2 y 3 se muestran respectivamente los esquemas de los campos de temperatura sobre la ciudad de Valencia en la madrugada, 05 h TMG, de los días 27 y 28.

Las medidas de temperatura se realizaron mediante un termohigrómetro a termistor, marca HANNA(*), que dispone de una salida digital. La toma de medidas in situ se organizó en un recorrido de ida y vuelta de una hora y media de duración aproximada. Como valor de temperatura se tomó la media aritmética entre los valores de las lecturas de ida y las de vuelta, y se hizo coincidir la hora de la medida del punto central del recorrido con la hora de referencia del mapa sinóptico de temperaturas. El procedimiento de obtención de las medidas se basa en el propuesto por López Gómez et al. (1988) y tiene las siguientes características: (a) la sonda está instalada en la parte superior del vehículo a 0,3 m de éste y a 1,6 m del suelo, (b) las medidas se toman en movimiento, entre 15 y 35 km/h, (c) la duración de la medida es aproximadamente de 3 a 5 segundos, tomándose los valores medios en dicho intervalo.

Para el día 27 aparece una isla térmica de intensidad normal-alta. Los gradientes máximos, superiores a los 3°C entre el centro y la periferia inmediata, se producen hacia el O, de acuerdo con la componente general de la entrada de aire. El día 28 sigue apareciendo una isla térmica bien configurada de intensidad normal o normal-alta, en la que los polos más cálidos siguen estando en el sector oriental de la ciudad, el puerto, y los máximos gradientes hacia el O.

4.2. DATOS DE SATELITE

Las imágenes utilizadas corresponden al satélite NOAA 9, operativo desde febrero de 1985 hasta finales de 1988 cuando fue sustituido por el NOAA 11. El NOAA 9 está provisto del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) que registra la radiación emitida por la superficie terrestre en los intervalos espectrales correspondientes a 3,7, 11 y 12 μm , con una resolución radiométrica de 0,12 K, y una resolución espacial al nadir de 1,1 x 1,1 km (Tabla 2) (Fusco y Muirhead, 1987).

(*) El uso del nombre comercial se ha hecho con el propósito de ayuda al lector y no conlleva ningún beneficio económico para la Universitat de València.

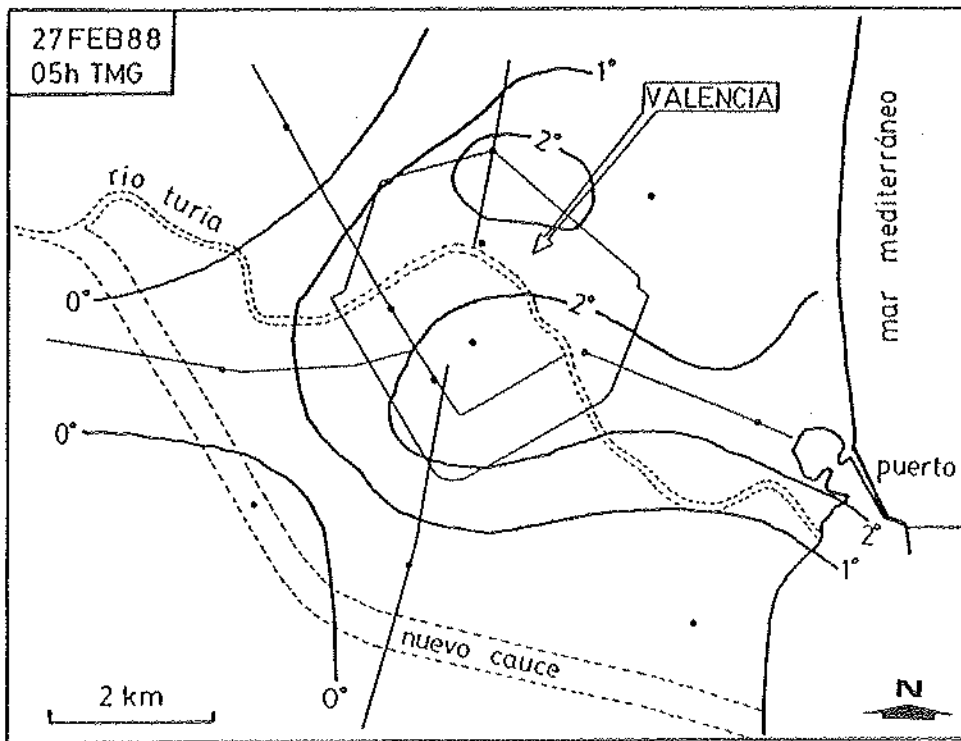


Figura 2.— Esquema del campo de temperaturas de la ciudad de Valencia el día 27 de febrero de 1988 (05 h, TMG) obtenido a partir de las medidas realizadas por transectos.

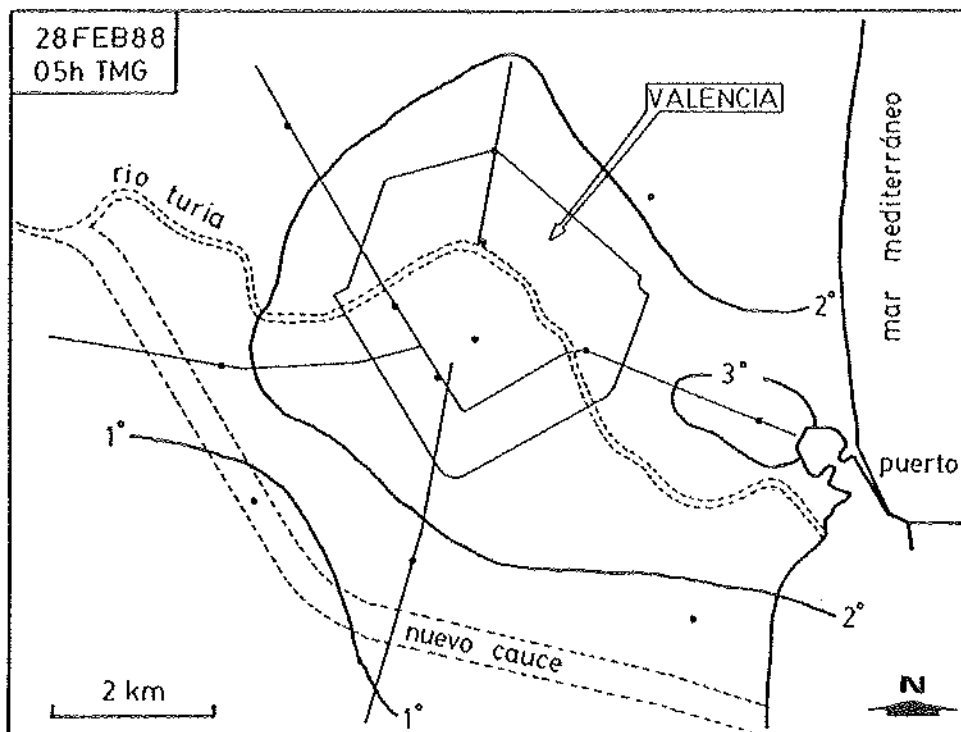


Figura 3.— Esquema del campo de temperaturas de la ciudad de Valencia el día 28 de febrero de 1988 (05 h, TMG) obtenido a partir de las medidas realizadas por transectos.

Se analizaron las imágenes correspondientes al 27 de febrero (4,05 h TMG) y 28 de febrero (3,43 h TMG). Los datos fueron procesados en un equipo de tratamiento digital de imágenes PERICOLOR 1000, utilizando la imagen centrada sobre la zona de estudio correspondiente a la banda 4 (10,3-11,3 μm). Los valores digitales de la imagen son transformados en valores de temperatura radiativa mediante las tablas de calibración que acompañan a cada imagen las cuales incorporan a la función de calibrado la corrección debido a los efectos de no linealidad del sensor (Brunel et al., 1986).

TABLA 2
Características del satélite NOAA-9

ORBITA: casi-polar, circular, heliosíncrona		
ALTITUD NOMINAL: 853,7 km		
PERIODO ORBITAL: 101-102 min		
ANGULO DE INCLINACION: 98,8 °		
HORA DE PASO POR EL ECUADOR (hora solar local aproximada) :		
	Nódulo ascendente	14,30
	Nódulo descendente	2,30
CARACTERISTICAS ESPECTRALES DEL SENSOR AVHRR	<u>banda</u>	<u>longitud de onda (μm)</u>
	1	0,58-0,68
	2	0,72-1,10
	3	3,55-3,93
	4	11,5-12,5
	5	11,5-12,5
CAMPO DE VISION GLOBAL: 110,8 ° ~ 3000 km		
MUESTRAS POR BARRIDO: 2048		
RESOLUCION ESPACIAL (km)	Longitudinal	Transversal
al nadir:	1,1	1,1
a +/- 55,4 :	2,5	7,0
CARACTERISTICAS RADIOMETRICAS: 10 bits (1024 niveles digitales)		
	NEdT :	0,12 K a 300 K

4.3. CORRECCION POR EMISIVIDAD

Los valores de temperatura radiativa no se han corregido de la influencia de la atmósfera, ya que podemos suponer que ésta afecta por igual a toda la zona de estudio y por tanto no distorsiona la imagen de isla térmica de la ciudad. El efecto de la atmósfera para las noches estudiadas resultó ser de 1,1°C (Caselles y Sobrino, 1989). Por el contrario, es necesario introducir la corrección por emisividad, puesto que su influencia puede llegar a ser hasta un 100 por 100 de los valores de isla térmica determinados a partir de la temperatura radiativa proporcionada por el satélite (Meliá et al., 1989).

Para evaluar la corrección por emisividad de las temperaturas proporcionadas por el satélite, definimos una emisividad efectiva, para cada pixel, ϵ , como:

$$\epsilon(\theta) = P_a(\theta)\epsilon_a + P_o(\theta)\epsilon_o + P_v(\theta)\epsilon_v \quad (1)$$

donde ϵ_a , ϵ_o y ϵ_v representan respectivamente las emisividades del asfalto, de los edificios y de la vegetación, $P_a(\theta)$, $P_o(\theta)$ y $P_v(\theta)$ son las proporciones con que intervienen estos elementos en cada pixel, las cuales varían con el ángulo de observación θ (Sobrino et al., 1990).

En la expresión (1) se ha despreciado el efecto de cavidad (Caselles y Sobrino, 1989) pues se ha comprobado que la importancia de este término es un orden inferior a los considerados. Siendo, además, del mismo orden que el error que se comete al calcular el valor de la emisividad efectiva para un pixel de más de 1 km². Como valores de ϵ_a , ϵ_o y ϵ_v hemos tomado 0,95, 0,93 y 0,98, respectivamente (Sellers, 1965; Lorenz, 1973; Artís y Carnahan, 1982; Buettner y Kern, 1965; Combs et al., 1965). Las proporciones de asfalto, edificios y vegetación se han estimado a partir de una imagen Landsat 5 (Thematic Mapper) de la ciudad de Valencia, por fotointerpretación sobre una composición coloreada de las bandas 345. De este modo, la corrección por emisividad se realizó pixel a pixel mediante la elaboración de un mapa de emisividades de la ciudad de Valencia y su superposición sobre las imágenes NOAA.

De este modo, podemos corregir las temperaturas radiativas proporcionadas por el satélite, T^{BR} , sin más que aplicar la relación (véase apéndice):

$$T = T^{BR} + 60 (1 - \epsilon) / \epsilon \quad (2)$$

Los valores de corrección aplicados oscilan entre 4,5° C para un pixel situado en el casco antiguo de la ciudad, cuya emisividad se estimó en 0,93 y 1,2° C para aquellos pixels correspondientes a zonas cultivadas en los alrededores de la ciudad, cuya emisividad se estimó en 0,98.

Las figuras 4 y 5 muestran los mapas de temperatura de la ciudad de Valencia y sus alrededores obtenidos para las noches del 27 y 28 de febrero utilizando el procedimiento descrito.

5. DISCUSION

Si comparamos las fotografías de las figuras 4 y 5 con los mapas de las figuras 2 y 3, se observa que hay una clara correspondencia entre ellas, siendo las principales características: (1) las temperaturas máximas se presentan en el núcleo central de la ciudad, (2) aparece un segundo máximo localizado al este del centro, en la zona del puerto y (3) el gradiente máximo se presenta en la zona SO. Esto nos permite comprobar la hipótesis de simultaneidad bajo la cual se han obtenido las medidas in situ.

Las tablas 3 muestran respectivamente para los días 27 y 28 de febrero los valores de temperatura del aire medidos in situ (columna 4) y los valores de temperatura del satélite corregidos (columna 3). Comparando ambos datos se observa que el efecto de isla térmica obtenido a partir de los datos de satélite es de unos 6°C, mientras que a partir de la temperatura del aire es de sólo unos 3,6 y 2,8° C. Nótese que el efecto de isla térmica obtenido directamente a partir de las temperaturas de satélite —sin considerar el efecto de la emisividad— (columna 2) resulta ser del mismo orden que el obtenido a partir de la temperatura del aire. Sin embargo, la corrección por emisividad aumenta el efecto de isla térmica aproximadamente en un 50 por 100.

La medida de temperatura realizada por el satélite (T) es una media ponderada de las temperaturas de los diferentes elementos que configuran el sistema urbano, esto es, del asfalto (T_a), edificios (T_e) y vegetación (T_v):

$$T(\theta) = P_a(\theta)T_a + P_e(\theta)T_e + P_v(\theta)T_v \quad (3)$$

Por el contrario, la temperatura del aire, es decir, la medida realizada in situ en los transectos, es el resultado del intercambio de calor, fundamentalmente por convección, entre el suelo y el aire y entre los edificios y el aire. Son, por tanto, dos medidas de temperatura con fundamento físico bien distinto, lo que explica las diferencias entre los valores de isla térmica obtenidos por los dos procedimientos.

6. CONCLUSIONES

La comparación entre los datos de temperatura del aire obtenidos a través de transectos y los del satélite NOAA, corregidos teniendo en cuenta el efecto de emisividad, muestra que existe una clara correspondencia entre las estructuras del campo de temperaturas obtenidas por ambas técnicas. Ello nos permite comprobar: (1) la hipótesis de simultaneidad de las medidas tomadas in situ, y (2) la validez de las imágenes térmicas del AVHRR para la descripción de los principales rasgos del efecto de isla térmica en la ciudad de Valencia.

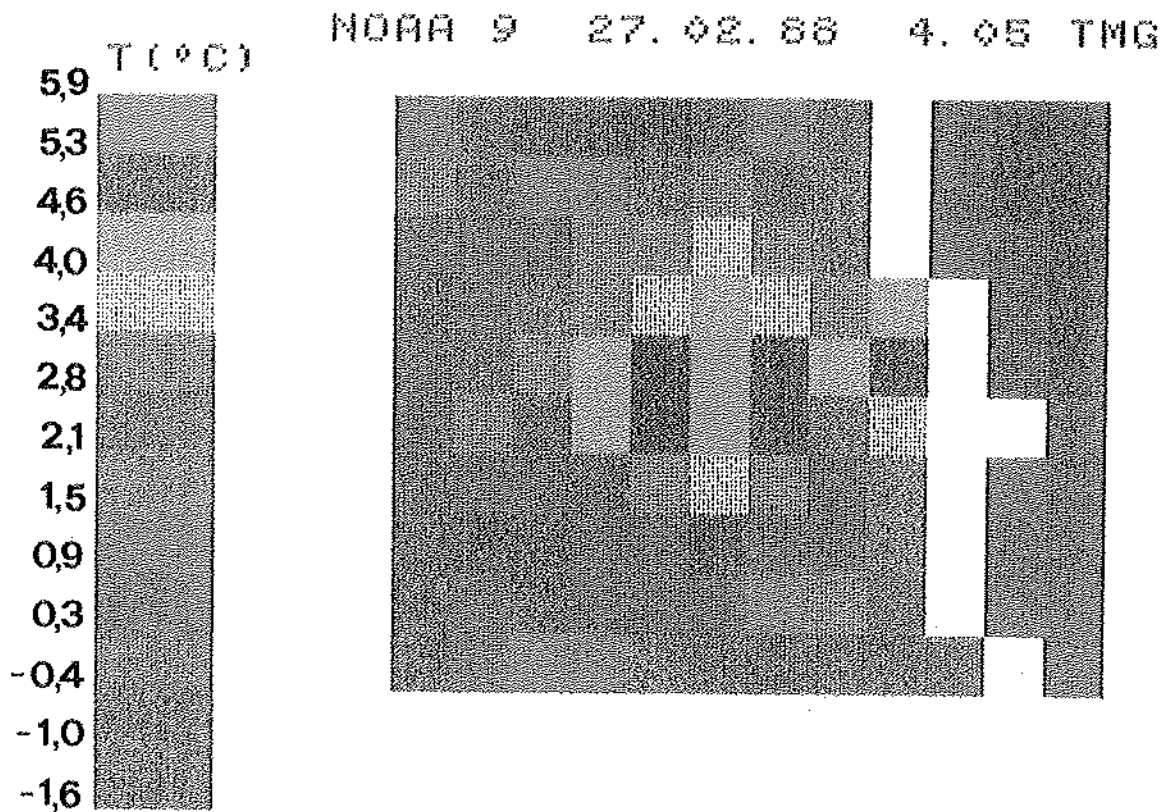


Figura 4.— Mapa de temperaturas de la ciudad de Valencia obtenido a partir de la imagen NOAA del día 27 de febrero de 1988 (4.05 h. TMG).

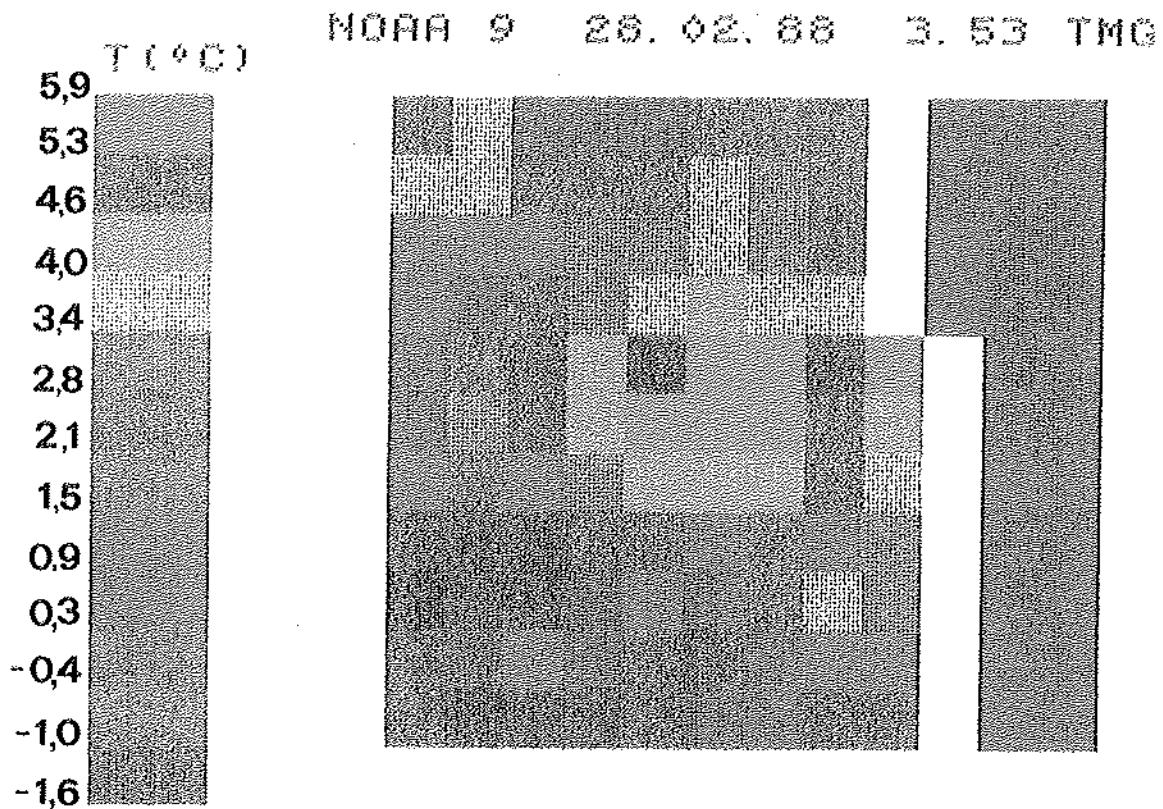


Figura 5.— Mapa de temperaturas de la ciudad de Valencia obtenido a partir de la imagen NOAA del día 28 de febrero de 1988 (3.43 h. TMG).

TABLA 3 a

Comparación de los valores de temperatura (°C) medidos in situ y obtenidos a partir de la imagen NOAA correspondientes al día 27 de Febrero de 1988

Puntos de muestreo	T ^{BB}	T _c	T _a
1 Centro	0,0	5,5	2,6
2 Puerto	0,6	3,5	2,9
3 C.Coberta	-2,3	0,8	0,4
4 G.Sagunto	-1,5	3,1	2,3
5 Nuevo cauce	-2,3	-0,4	-0,7
6 Av.Castilla	-0,8	3,1	0,7
7 Nazaret	-1,9	0,6	0,2
8 Beniferri	-2,4	1,0	-0,7

T_a = Temperatura del aire medida in situ a lo largo de los transectos.

T^{BB} = Temperatura radiativa del satélite.

T_c = Temperatura de satélite corregida del efecto de emisividad.

TABLA 3 b

Comparación de los valores de temperatura (°C) medidos in situ y obtenidos a partir de la imagen NOAA correspondientes al día 28 de Febrero de 1988

Puntos de muestreo	T ^{BB}	T _c	T _a
1 Centro	0,4	5,9	2,9
2 Puerto	1,5	4,5	3,3
3 C.Coberta	-0,8	1,4	1,7
4 G.Sagunto	-1,2	3,5	2,7
5 Nuevo cauce	-1,9	-0,1	0,5
6 Av.Castilla	-1,4	2,5	1,9
7 Nazaret	-0,5	1,5	1,9
8 Beniferri	-1,5	1,9	1,8

T_a = Temperatura del aire medida in situ a lo largo de los transectos.

T^{BB} = Temperatura radiativa del satélite.

T_c = Temperatura de satélite corregida del efecto de emisividad.

La cuantía del efecto de isla térmica medido por el satélite ha resultado ser de unos 6°C mientras que mediante los transectos se ha obtenido un valor de unos 3°C. No obstante, esta diferencia se atribuye a la distinta naturaleza de ambas medidas de temperatura.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestra gratitud a la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (Proyecto N° PA86-0177-CO2-02) por la ayuda económica concedida y al Servicio Satmos del Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (Francia) por el suministro de las imágenes NOAAs. Asimismo, agradecemos a M.A. Gilabert la cesión de la composición color de la imagen Landsat 5 (TM) utilizada.

8. APENDICE

A partir de la expresión de la radiación de los cuerpos naturales:

$$L_{\lambda}(T) = (\epsilon C_2/\lambda^5) [\exp (C_2/\lambda T) - 1] \quad (A.1)$$

donde $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ mK y $C_1 = 3,7418 \text{ Wm}^{-2}$, se obtiene, diferenciándola manteniendo λ constante, que:

$$(dL/L) = (C_2/\lambda T) (dT/T) + (d\epsilon/\epsilon) \quad (A.2)$$

De esta expresión se deduce que la relación existente entre los aumentos en temperatura y disminuciones en emisividad que producen la misma variación en radiancia es:

$$(C_2/\lambda T) (dT/T) = - (d\epsilon/\epsilon) \quad (A.3)$$

Lo que nos permite escribir la corrección por emisividad simplemente como

$$\Delta T = - (\lambda T^2/C_2) (\Delta\epsilon/\epsilon) \quad (A.4)$$

donde $\Delta T = T - T^{ob}$ y $\Delta\epsilon = \epsilon - 1$. Basta con tomar ahora $\lambda = 11\mu\text{m}$ y $T = 280 \text{ K}$ para obtener la expresión (2).

BIBLIOGRAFIA

- Artis, D.A. y Carnahan, W.H. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sens. Environ.* **12**: 313-329.
- Brunel, P.; Derrieu, M. y Quere, J. 1987. **MASTER Format Description of the AVHRR-TOVS Magnetic Tapes Produced by the Satmos Service**. SATMOS, Centre de Météorologie Spatiale, Lannion (France), pp. 29.
- Buettner, K.J.K. y Kern, C.D. 1965. The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. *J. Geophys. Res.* **70**: 1.329-1.337.
- Carlson, T.N.; Augustine, J.A. y Boland, F.E. 1977. Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of land use over urban areas. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **58**: 1.301-1.303.

- Carlson, T.N.; Dodd, J.K.; Benjamin, S.G. y Cooper, J.N. 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability, and thermal inertia. **J. Appl. Meteor.** **20**: 67-87.
- Caselles, V.; Sobrino, J.A. y Meliá, J. 1988. Fundamentos físicos de la medida de la temperatura de la superficie del suelo por teledetección. **Anales de Física C**, **2**: 42-46.
- Caselles, V. y Sobrino, J.A. 1989. Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. **Remot. Sens. Environ.** **29**: (2). 135-146.
- Combs, A.C.; Weickmann, H.K.; Mader, C. y Tebo, A. 1965. Application of radiometers to meteorology. **J. Appl. Meteor.** **4**: 253-262.
- Fusco, L. y Muirhead, K. 1987. AVHRR Data Service in Europe-The Earthnet Approach. **ESA Bull.** **49**: 9-19.
- Gossman, H. 1986. The influence of geography on local environment as inferred from night thermal infrared imagery. **Remote Sens. Rev.** **1**: 249-275.
- López Gómez, A.; Fernández García, F. y Arroyo Ilera, F. 1988. **El clima urbano de Madrid: la isla de calor**. Instituto de Economía y Geografía Aplicadas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. pp. 199.
- Lorenz, D. 1973. Die radiometrische messung der boden-und wasseroberflächentemperatur und ihre awendung insbesondere auf dem gebiet der Meteorologie. **Z. Geophys.** **39**: 627-701.
- Matson, M.; McClain, E.P.; McGinnis, D.F. Jr., y Pritchard, J.A. 1978. Satellite detection of urban heat islands. **Mon. Wea. Rev.** **106**: 1.725-1.734.
- Meliá, J.; Caselles, V. y López García, M.J. 1989. Estudio del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia. **Coll. Hispano-Francés sobre Teledetección y Planificación Integrada del Territorio**, Madrid 19-20 Mayo 1988. MOPU. pp. 295-307.
- Price, J.C. 1979. Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. **Mon. Wea. Rev.** **107**: 1.554-1.557.
- Rao, P.K. 1972. Remote sensing of urban heat island from an environmental satellite. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** **53**: 647-648.
- Sellers, W.D. 1965. **Physical Climatology**. Chicago University Press, Chicago, pp. 272.
- Sobrino, J.A.; Caselles, V. y Becker, F. 1990. Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. **ISPRS J. of Photogramm. and Rem. Sens.** **44**: 343-354.
- Vukovich, F.M. 1983. An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St. Louis, Missouri, using HCMM satellite data. **J. Climate Appl. Met.** **22**: 560-571.

