

## *Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del LANDSAT 7*

M.<sup>a</sup> Eugenia PÉREZ GONZÁLEZ

M.<sup>a</sup> del Pilar GARCÍA RODRÍGUEZ

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física U.C.M.  
(PR48-019852)

### 1. INTRODUCCION

La existencia de «islas térmicas» en las grandes ciudades ha sido detectada desde hace tiempo. En general, se piensa que ciudades de gran tamaño y con elevada tasa de contaminación, como es el caso de Madrid, ejercen siempre de «islas de calor». Pero desde hace tiempo se viene observando que esto no es rigurosamente cierto (López Gómez et al., 1993; Valor et al., 2000, Pérez y García, 2001), comprobándose que, aunque durante la noche ejercen como islas de calor, en las primeras horas del día, al menos en los meses de verano, constituyen «islas de frío».

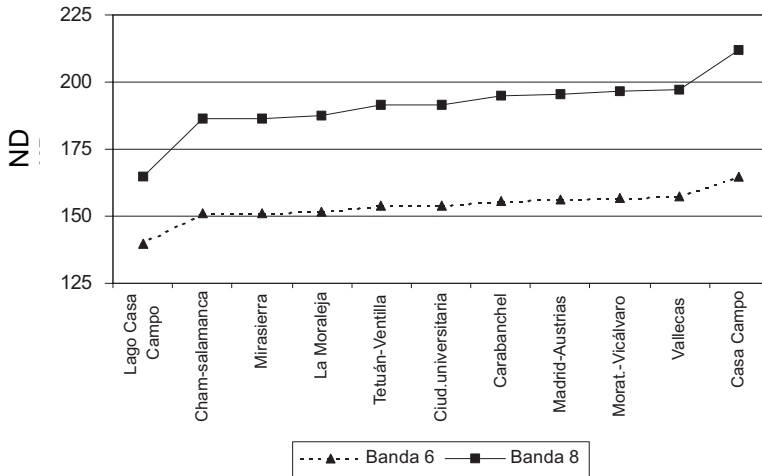
En el presente trabajo restringimos nuestro estudio a la ciudad de Madrid y a los grandes municipios de su área metropolitana, comprobando que al tener temperaturas más bajas que sus alrededores, se pueden detectar visualmente estos municipios mediante las bandas térmicas del sensor ETM.

### 2. OBJETIVO

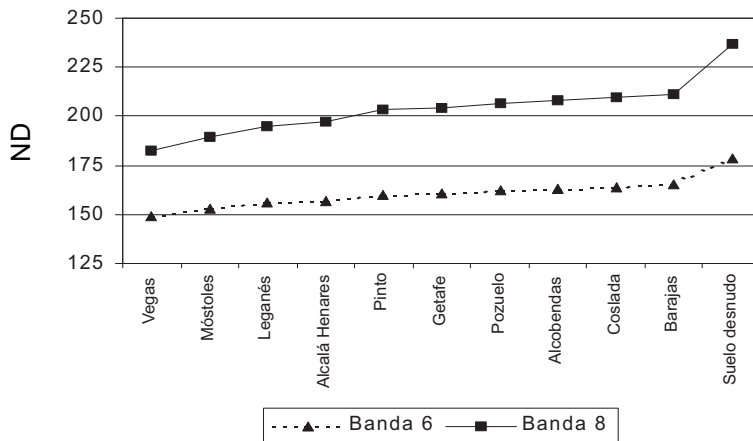
El objetivo del estudio es comparar los valores térmicos, mediante el sensor ETM del satélite Landsat 7, de los principales núcleos urbanos del área metropolitana de Madrid, así como de algunos barrios y parques del interior de la capital, y contrastar los resultados con los datos térmicos horarios de las estaciones meteorológicas en la misma fecha. Estos resultados se pueden orientar hacia las investigaciones sobre confort climático a nivel local, donde es imprescindible una gran información térmica de carácter espacial, como la que ofrecen los sensores transportados en satélites.

**FIGURA 1**  
**Valores de las bandas térmicas del ETM.**  
**Madrid, 20-8-99 a las 11 horas (TMG)**

Valores digitales del municipio de Madrid



Valores digitales del área metropolitana de Madrid



### 3. MATERIAL Y METODOS

Para el estudio se ha empleado una imagen de Madrid del sensor ETM con fecha 20-8-1999, analizándose las bandas térmicas tanto visual como digitalmente. El satélite ETM, al disponer de dos bandas térmicas permite detallar con más precisión la temperatura en áreas urbanas que el TM que exigía la presencia de radiosondeos locales que coincidieran con el paso del satélite (Valor et al. 2000); estas dos bandas las tiene también el sensor AVHRR del satélite NOAA, pero su pequeña resolución espacial no permite medir la intensidad de las islas térmicas, ni analizar su estructura interna con tanta definición.

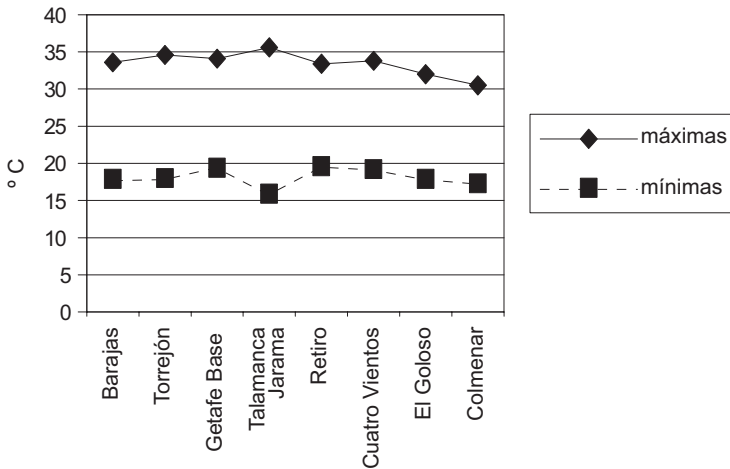
Para realizar el presente estudio se han tomado campos de muestreo en los principales núcleos urbanos y en diferentes barrios de la capital, obteniéndose la gráfica de los valores digitales medios. Estos resultados se comparan con la verdad-terreno, utilizándose los datos de las estaciones meteorológicas situadas en el área de estudio.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al intentar establecer la cartografía de Madrid y los núcleos urbanos del área metropolitana se observa que, tanto en las bandas visibles como en los

**FIGURA 2**  
**Datos de las estaciones meteorológicas**

Temperaturas del 20-8-99



infrarrojos próximos y medios, la discriminación no es totalmente perceptible considerando las bandas individualmente, salvo en la banda 5, aún cuando su resolución espacial es de 30 metros. Así, en el canal 1 (Fig. 3a) no es posible diferenciar el municipio de Madrid de su entorno (campos de cereales) distinguiéndose solamente con claridad las áreas con vegetación forestal (Retiro, Monte del Pardo, etc.) y las masas de agua; en las bandas 2 y 3 (Fig. 3b) se diferencia mejor la capital, pero no así los núcleos urbanos próximos que se confunden en ocasiones con los materiales sedimentarios que los rodean; en estos canales se distinguen sin embargo, con bastante nitidez, las principales carreteras y vías de circunvalación, mucho más destacadas en la banda 4 (Fig. 3c). En el canal 7 se distinguen bien los cursos de agua y los parques y jardines, pero no con mucha nitidez los núcleos urbanos. En la banda 5 (Fig. 3d) esta discriminación es claramente perceptible apareciendo los núcleos urbanos en colores más oscuros. Por esta razón, al emplear para el análisis visual mezclas de bandas, siempre que se incluya la 5, la discriminación es posible, más notable en la combinación 4-5-3 asignándoles los cañones rojo, verde y azul respectivamente, apareciendo los núcleos urbanos en tonos morados. Si se emplea la banda pancromática (Fig. 3f), con una resolución espacial de 15 metros se observa que los municipios apenas se distinguen pudiéndose diferenciar con claridad las vías de comunicación pero no las áreas urbanizadas; en esta imagen sin embargo, debido su alta resolución espacial, se discriminan perfectamente los barrios y el entramado de calles del interior de los núcleos urbanos.

Sorprendentemente, para realizar una cartografía mediante análisis visual de las imágenes del ETM del municipio de Madrid y los principales núcleos urbanos próximos, las mejores bandas son las correspondientes a los canales térmicos: 6 y 8 con una longitud de onda entre 11,4-12,5 y 10,4-11,4 micrómetros respectivamente (Fig. 3e), aún cuando su resolución espacial es inferior a las de las otras bandas (60 metros).

Así, con las bandas 6 y 8 del sensor ETM se pueden discriminar visualmente los núcleos urbanos de Madrid y su entorno metropolitano. Esto es debido a que en el mes de agosto, a las 10: 48 horas (TMG), momento de paso del sensor, Madrid y sus núcleos próximos presentan temperaturas inferiores a las del campo de su entorno, excluyendo las áreas de las vegas que muestran también temperaturas bajas.

Los núcleos urbanos a estas horas ejercen de «islas de frío» debido a la inercia térmica, sombra que proyectan los edificios, altura de los mismos, materiales de construcción, ancho y dirección dominante de las calles, tipo y grado de cobertura de vegetación, etc., como ya señalamos en un artículo anterior (Pérez y García, 2001).

**FIGURA 3**  
**Imágenes ETM, 20-8-99**

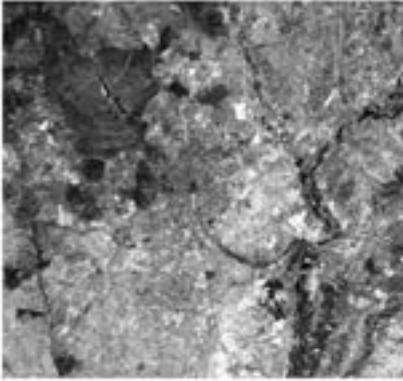


Fig. 3a. Banda 1 (azul)

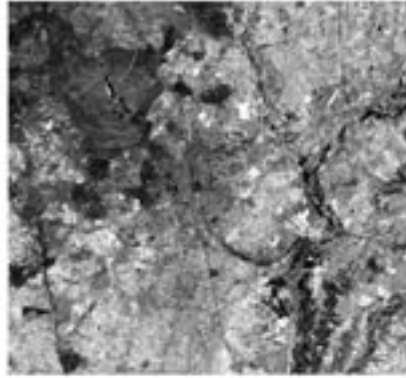


Fig. 3 b. Banda 3 (rojo)

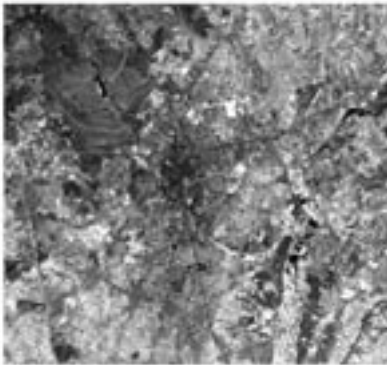


Fig. 3 c. Banda 4 (IR próximo)

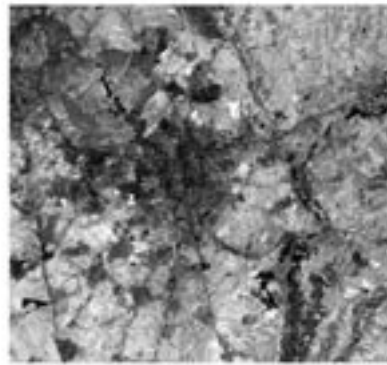


Fig. 3 d. Banda 5 (IR medio)

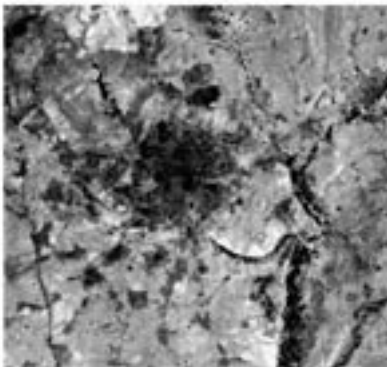


Fig. 3 e. Banda 8 (IR térmico)



Fig. 3 f. Imagen pancromática

En el siguiente cuadro se recogen los valores digitales medios para los distintos campos de muestreo y, en las gráficas, una selección de los puntos más representativos separando los de la ciudad de Madrid y los de su área metropolitana.

Del análisis de la tabla y los gráficos se deduce que los valores de temperatura de mayor a menor corresponden a:

1. Los suelos desnudos y semidesnudos constituídos por sedimentos terciarios y cuaternarios de colores claros (yesos, carbonatos, etc.) debido a su alto grado de compactación y a su topografía; en esta categoría se incluye el hipódromo, pues su estado de abandono le lleva a una situación similar, de suelos compactados y sin apenas vegetación.
2. Suelos dedicados a cultivos que, en el mes de agosto, han sido ya recolectados y que ocupan buena parte del área adyacente a los numerosos núcleos urbanos de la megalópolis madrileña, especialmente en el sur y este de Madrid.
3. La Casa de Campo, que pese a constituir un amplio espacio verde en la Comunidad, presenta un predominio de vegetación perennifolia con pies muy separados y escasa cobertura arbustiva y herbácea, lo que repercute en un rápido caldeoamiento diurno, superior a todos los núcleos urbanos, incluido el centro de Madrid.
4. Los aeropuertos de Barajas y Getafe, por la influencia de las pistas y naves, suelos asfaltados y edificios bajos.
5. Los municipios urbanos con población inferior a 100.000 habitantes (Coslada, Alcobendas, Pozuelo, Navalcarnero, Pinto, etc.) y con predominio de casas bajas, urbanizaciones y algunos polígonos industriales. Junto a estos núcleos urbanos, se observan otros dos, Getafe y Tres Cantos, con valores térmicos similares y una estructura urbana bien diferente. En el caso de Getafe, los valores altos deben responder a la influencia de las instalaciones militares (con edificios muy separados y, por tanto, con grandes espacios de suelo descubierto) y por las numerosas urbanizaciones con escasa cobertura arbórea y herbácea. Tres Cantos (localizado al norte de Madrid), es uno de los pocos núcleos con edificaciones altas que presentan elevados valores de temperatura. La disposición de los edificios (en bloques separados) y del trazado urbano (calles anchas, numerosas plazas con vegetación arbórea todavía muy joven y amplios sectores sin edificar) dan como resultado un rápido caldeoamiento diurno de la superficie.
6. Los municipios del área metropolitana con población superior a 140.000 habitantes tienen valores más altos de temperatura, destacando Móstoles, Alcorcón y Leganés, en los que además la densidad de

**CUADRO 1**  
**Valores digitales de las bandas térmicas**

<i>Puntos de muestreo</i>	<i>ND banda 6</i>	<i>ND banda 8</i>
Lago de Casa de Campo	140	165
Lago del retiro	140	165
Vegas río Jarama	148,81	182,37
Chamartín-Salamanca	151,02	186,28
Mirasierra	151,12	186,43
Pardo	151,49	187
Moraleja	151,57	187,33
Móstoles	152,98	189,77
Alcorcón	153,35	190,51
Tetuán-Ventillas	153,93	191,58
Ciudad Universit.	154,01	191,64
Leganés	155,68	194,71
Carabanchel	155,92	195,09
Madrid Austrias	156,25	195,67
Mortalaz-Vicálvaro	156,58	196,36
Alcalá de Henares	157,13	197,27
Vallecas	157,24	197,42
Villaviciosa	158	198,86
San Sebastián de los R.	158,63	199,96
Fuenlabrada	158,69	199,97
Majadahonda	158,89	200,58
Torrejón de Ardoz	159,81	202,13
Parla	159,84	202,11
Pinto	160,31	203,14
Navalcarnero	160,42	202,23
San Martín de la Vega	160,77	203,74
Getafe	160,92	204,16
Tres Cantos	161,5	205,22
Pozuelo	162,34	206,61
Vegetac. Arbustiva	162,63	207,28
Alcobendas	163,01	208,02
Coslada	164,06	209,71
Barajas	165	211
Casa de Campo	165,04	211,67
Suelos semidesnudos	167,97	217
Hipódromo	169	217
Materiales sedimentarios	178,84	236,56

población (C.A.M., 1996), supera los 4000 habitantes por km<sup>2</sup>. Sólo Fuenlabrada parece alejarse un poco de estos valores, con números digitales más elevados debido, posiblemente, a la gran influencia de sus polígonos industriales.

7. Dentro del caso urbano de Madrid se advierten claras diferencias térmicas diurnas entre distintos barrios, siendo los más calurosos: Vallecas, Moratalaz, Vicálvaro, el centro de la capital o el Madrid de los Austrias y Carabanchel. Frente a éstos, destacan los distritos de Chamartín, Salamanca, Chamberí y Arturo Soria, junto al Parque del Retiro y el área próxima al estadio Santiago Bernabéu, por mostrar las temperaturas más bajas de la ciudad. En este grupo también las urbanizaciones de Mirasierra y La Moraleja se encuentran entre los espacios con temperaturas diurnas menos calurosas, en este caso por el predominio de vegetación arbórea de frondosas, césped y elevado número de piscinas. Llama la atención que todos estos espacios son además los barrios más caros de la ciudad, tanto en el precio de las viviendas como en el de las oficinas, comercios, etc. Es posible que la presencia en numerosos edificios de patios grandes y con gran superficie a la sombra influya en los valores digitales.
8. Por último, los valores más bajos pertenecen a las láminas de agua, especialmente a los dos estanques de la capital, localizados en el Retiro y en la Casa de Campo. Resulta llamativo que ambos espacios acuáticos presenten temperaturas más bajas incluso que las vegas de los ríos, localizados fuera de los núcleos urbanos, con vegetación higrofila y cultivos de regadío y, por tanto, con alto contenido en humedad. En este caso debe influir la posición topográfica deprimida, por lo que en verano y a estas horas ya se caldean más rápido que los sectores con topografía ondulada: microclima de valle, diurno. No obstante, cabe destacar que la amortiguación térmica de las temperaturas diurnas sólo se advierte en la lámina de agua, pues como ya hemos apuntado anteriormente, en el resto de estos parques urbanos las temperaturas están fuertemente influenciadas por el grado de cobertura vegetal y tipo de especies dominantes.

Una vez conocidos los valores digitales emitidos por el sensor, se han analizado los valores de las temperaturas máximas y mínimas de las estaciones meteorológicas situadas en la capital y alrededores en la fecha de estudio. Estos datos se recogen en la gráfica adjunta, observándose como la máxima amplitud térmica corresponde a la estación situada en un núcleo rural, mientras que en las estaciones del ayuntamiento de Madrid los valores son menos contrastados, lo que indica una mayor amortiguación térmica en los núcleos ur-



banos. Así, los datos de las estaciones muestran también que la temperatura alcanza valores más altos en el campo que en el centro de la ciudad, confirmando los datos del sensor ETM.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante las bandas térmicas del sensor ETM se discriminan perfectamente, tanto visual como digitalmente, los municipios de área metropolitana de Madrid. Esto es debido a que, en las mañanas de verano, presentan temperaturas más bajas que los suelos desnudos que los rodean.

La ciudad de Madrid tiene, en conjunto, en contraste con su entorno las temperaturas más bajas. Dentro de ella, son los barrios de Chamartín-Salamanca los que muestran valores digitales menos elevados. Esto puede ser debido a la mayor altura de los edificios, a las sombras que proyectan y la estructura y disposición de las calles, preferentemente N-S. También las zonas residenciales de Mirasierra y La Moraleja tienen valores bajos, pero en estos casos por la influencia de la vegetación arbórea. Por el contrario, las áreas correspondientes al Madrid de los Austrias y Tetuán, tienen valores más elevados, debido a la menor altura de sus edificios y el entramado de las calles.

En los municipios del entorno de la capital, las temperaturas más bajas corresponden a aquellos con mayor número de habitantes y densidad de población, lo que permite afirmar que es la influencia de la edificación, su altura, disposición, materiales de construcción e inercia térmica, lo que más influye en los valores digitales. Por el contrario su posición geográfica tiene mucha menos influencia.

Los valores más altos corresponden a las áreas sin edificación y con poca vegetación o muy deteriorada y con suelos compactados.

El sensor ETM no sólo permite hacer una buena cartografía térmica, sino que la existencia de un canal pancromático, con resolución de 15 metros permite identificar perfectamente el entramado de las zonas urbanas y la distribución de las diferentes edificaciones y con ello facilita el posterior análisis digital con las bandas térmicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- C.A.M. (1998-99): *La Comunidad e Madrid en cifras, 1998-1999*. Ins. De Estadística. Comunidad de Madrid.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; ARROYO ILERA, F.; MARTÍN VIDE, J. y CUADRAT, J. M. (1993): *El clima de las ciudades españolas*. Ed. Cátedra, 268 pp.

- PÉREZ GONZÁLEZ, M.E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M. P. (2001): «Estudio de las bandas térmicas del ETM en la Comunidad de Madrid y alrededores». En: PÉREZ CUEVA, A. J.; LÓPEZ-BAEZA, E. y TAMAYO CARMONA, J. (edits.). *El Tiempo del Clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, n.º 2, pp. 499-508.
- VALOR, E.; CASELLES, V.; COLL, C.; SÁNCHEZ, F.; RUBIO, E. y SOSPEDRA, F. (2000): Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista de Teledetección*, pp. 5-10.