

**LA INFLUENCIA DEL RELIEVE EN LA ISLA DE CALOR
DE MADRID: LAS VAGUADAS
DEL MANZANARES Y DEL ABRONIGAL**

POR

FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA
MIGUEL ÁNGEL ALMENDROS COCA

Y

ANTONIO LÓPEZ GÓMEZ,

Introducción

Uno de los hechos más significativos que se deduce de los estudios realizados sobre el clima de Madrid es la gran variedad de matices que presenta la isla de calor urbana: el trazado viario, la densidad de ocupación y usos del suelo son las causas más inmediatas, sin embargo hemos de tener en cuenta también la topografía, especialmente las vaguadas donde se acumula el aire frío en las noches invernales de fuerte irradiación y son vías preferentes de penetración del aire procedente de las zonas extraurbanas. En nuestra ciudad, los bordes de la isla de calor acusan esta influencia, de tal modo que el trazado de las isoterms coincide con los límites del espacio construido en aquellos sectores en los que la topografía es poco diferenciada, pero en otros se incurvan, siguiendo la dirección de las vaguadas, formando lenguas o cuñas de aire frío intercaladas entre los espacios construidos (figura 1).

En las notas que siguen presentamos dos ejemplos característicos en la isla de calor en Madrid, tomando como referencias la va-

Estudios Geográficos
Tomo LVII, n.º 224, julio-septiembre 1996

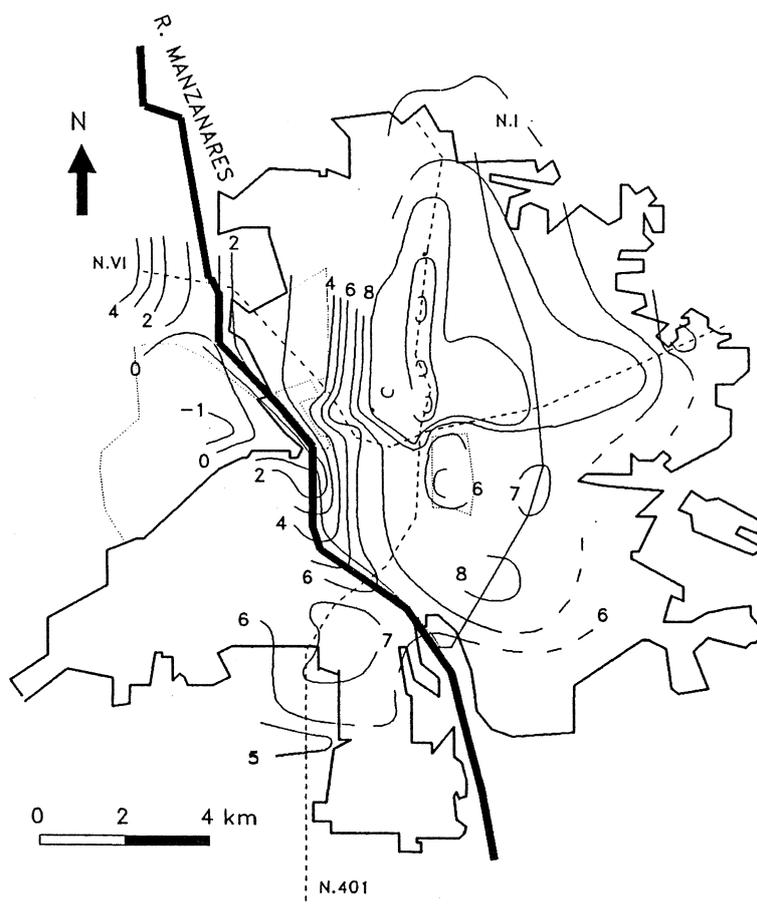


FIGURA 1.-Isla de calor del 8 de enero de 1993, en noche estable. Con temperaturas máximas sobre la Castellana ($11,5^{\circ} C$) y mínima en el centro de la Casa de Campo ($-1,3^{\circ} C$).

guada del Manzanares, de dirección NW-SE en el extremo occidental (figura 2) y la del arroyo del Abroñigal, en el E y de dirección N-S. En el fondo de ambas se hallan las importantes vías de circunvalación que son la M-30 Oeste y Este, respectivamente. La primera representa un límite claro entre la ciudad y el campo en un extenso sector, que discurre por el borde de la Casa de Campo, mientras que la vaguada del Abroñigal atraviesa áreas claramente urbanas, salvo en un pequeño trozo del tramo final.

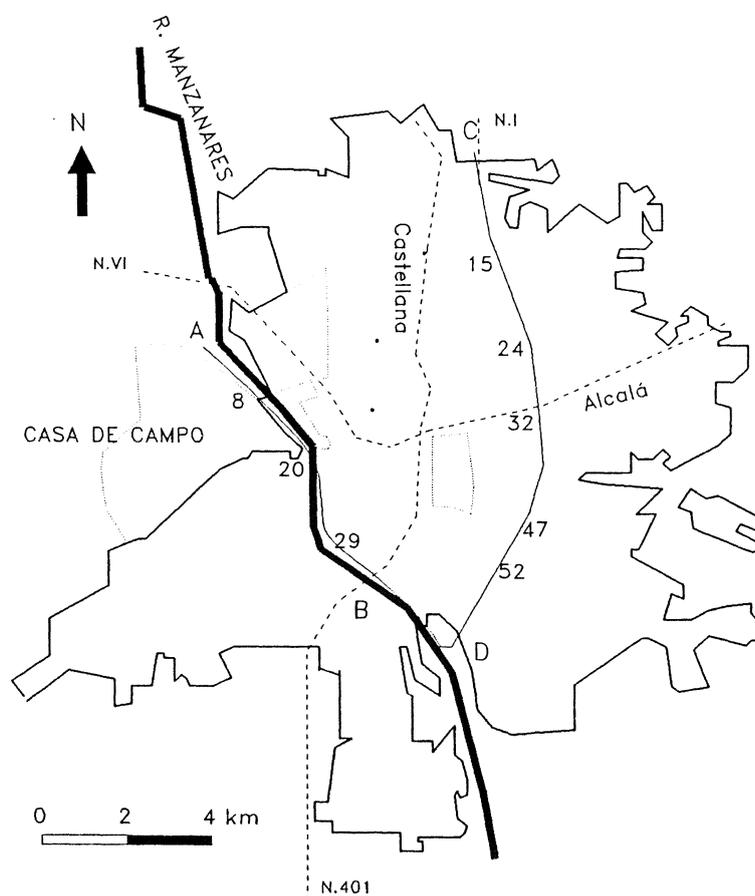


FIGURA 2.-Mapa clave, con los dos itinerarios: Vaguada del Manzanares (A-B) y del Abroñigal (C-D).

La metodología es similar a la empleada en otros trabajos anteriores (López Gómez y otros, 1991), con la única diferencia de que el instrumento de registro continuo utilizado permite almacenar los datos registrados con un intervalo temporal fijo, que en nuestro caso ha sido de cinco segundos. Al fin de hacer operativa esta gran cantidad de información se han seleccionado 103 puntos situados a una distancia de 200 m, que cubren diversas tipologías de usos de suelo existentes en ambos itinerarios.

En cada uno de estos puntos se ha calculado la intensidad de la isla de calor, expresada como la diferencia de la temperatura observada, respecto al más frío del recorrido, así como la desviación estándar y el valor máximo y mínimo correspondientes a las distintas épocas en que se realizaron las observaciones. En total se han realizado 73 recorridos, desde el verano de 1992 al invierno de 1993, en tres períodos (noche-madrugada, mañana y mediodía-tarde) y con dos situaciones sinópticas características, estables e inestables, definidas por la presencia o ausencia de viento y nubosidad.

La vaguada del Manzanares

Recorrido. El itinerario se inicia en el Club de Campo, al norte de la Casa de Campo, en un espacio arbolado y sin edificaciones circundantes y finaliza en el puente de Praga, ya en una zona claramente urbana (véase figura 1). En total son 7,6 km, que discurren por la margen del río en suave descenso hacia el SE (desde 600 m hasta 575); el perfil transversal es de pendiente acusada, con alturas en los bordes comprendidas entre los 660 y 670 m. Esta morfología del terreno favorece la acumulación de aire frío en las noches de inversión y también su desplazamiento hacia la zona urbana.

A lo largo del recorrido se pueden diferenciar varios tipos de uso de suelo. Desde el comienzo en el Club de Campo hasta el puente de los Franceses predominan masas forestales a ambos lados; desde aquí y hasta el puente del Rey, en la margen W, linda con la extensa superficie arbolada de la Casa de Campo que, como veremos más adelante, desempeña un importante papel en la evaluación térmica del conjunto; en la margen E hay una estrecha franja en la que alterna vivienda baja y bloques flanqueada a su vez, al otro lado del río, por el parque del Oeste, por lo que no llega a formar una masa urbana compacta; el último tramo desde el puente del Rey hasta el de Praga es típicamente urbano, flanqueado a ambos lados por zonas edificadas.

Se han seleccionado 39 puntos, representativos de los sectores que acabamos de comentar. Los datos proceden de 43 recorridos, de los cuales 25 se han realizado con tiempo estable y el resto en

períodos de inestabilidad. A cada una de estas situaciones meteorológicas corresponde un modelo de curva térmica en la que se pone de manifiesto las diversas influencias topográficas y urbanas que inciden sobre las temperaturas.

Tipología de perfiles térmicos con tiempo estable. De los 25 recorridos realizados con este tipo de tiempo, nueve son nocturnos, 11 de mañana, entre las siete y nueve horas y cinco de las horas centrales del día.

La intensidad de la isla de calor en los distintos puntos presenta una gran homogeneidad en los recorridos nocturnos y los realizados a primeras horas de la mañana (cuadro I), tanto en verano como en invierno, pero aparecen diferencias notables entre ambas estaciones en los recorridos diurnos.

CUADRO I

	Intensidad*			Curva media**		
	media	máx.	min.	media	std	CV
Noche conjunto	6,1	7,3	5,3	3,1	0,7	22,5
Noche invierno	6,1	7,3	5,3	3,2	0,7	22
Noche verano	6,1	6,7	5,3	2,7	0,4	15
Mañana conjunto	2,3	3,9	1,3	1,2	0,5	41,4
Mañana invierno	3,3	3,9	2,7	1,8	0,5	27,7
Mañana verano	1,9	3,5	1,3	1,2	0,4	34,4
Mañana verano (7 h)	2,3	3,5	1,7	1,1	0,3	26,7
Mañana verano (9 h)	1,5	1,9	1,3	0,9	0,2	22,8
Mediodía conjunto	1,5	2,1	0,8	0,8	0,4	48,7

* Diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

** Media de las diferencias de cada punto respecto al más cálido.

Esta homogeneidad estacional de la intensidad de la isla de calor contrasta con lo observado en otros itinerarios en los que las diferencias térmicas se acentúan en el período cálido, por lo que podríamos considerar este hecho como un rasgo singular de la zona que analizamos. La causa más inmediata podría estar relacionada con la proximidad de la gran masa forestal de la Casa de Campo, que actúa como un manantial de aire frío incluso en verano; por ello, tanto en esta época como en invierno se mantienen muy acusadas las diferencias térmicas con el entorno urbano.

a) Curva representativa de los perfiles térmicos nocturnos.—Las mediciones se han realizado hacia las 21-22 TMG o en la madrugada y las diferencias observadas entre los distintos puntos del recorrido se han situado en torno a los 6° C, con un máximo de 7,3° en una noche fría con ligera neblina.

El modelo de curva es muy similar, como señalamos anteriormente, tanto en invierno como en verano y se caracteriza por un aumento térmico continuo a lo largo de todo el itinerario, desde la periferia norte, aunque se pueden distinguir varios tramos en función del gradiente longitudinal (figura 3). Éste es bastante acusado desde el inicio hasta el puente de los Franceses y se mantiene con pocas variaciones desde aquí hasta las proximidades del puente del Rey, donde comienza la zona urbana; allí la curva dibuja un perfil ascendente más acusado, con un escalón respecto al tramo anterior, que en días concretos puede ser de 1 o 2° C, por lo que podemos caracterizar este punto de frontera o frente térmico entre el aire rural frío y el urbano cálido. La temperatura continúa su tendencia ascendente bastante más acusada hasta el Pontón de San Isidro, en el tramo que hemos caracterizado como urbano y continúa desde este punto, a un ritmo más lento, para culminar en el puente de Praga, en torno a 6° C más cálido que en el inicio.

Este perfil térmico longitudinal pone de manifiesto la doble influencia topográfica y urbana que incide sobre las temperaturas. El aire frío es canalizado por la vaguada y se calienta a medida que entra en la zona urbana, lo que determina la formación de una isla de calor claramente diferenciada en este sector. No obstante, respecto al centro de Madrid, toda esta zona dibuja una cuña de aire frío que ha de adentrarse profundamente para ser anulada, como ya se indicaba en anteriores trabajos (López Gómez y otros, 1992).

A primeras horas de la mañana, las diferencias térmicas se reducen, con un máximo de 3,9° en una mañana invernal muy fría y a menos de 2° C en verano. El perfil térmico es bastante similar al de la noche (figura 3), con la única diferencia de que el incremento térmico se detiene en el Pontón de San Isidro y desde aquí y hasta el final las temperaturas son muy similares.

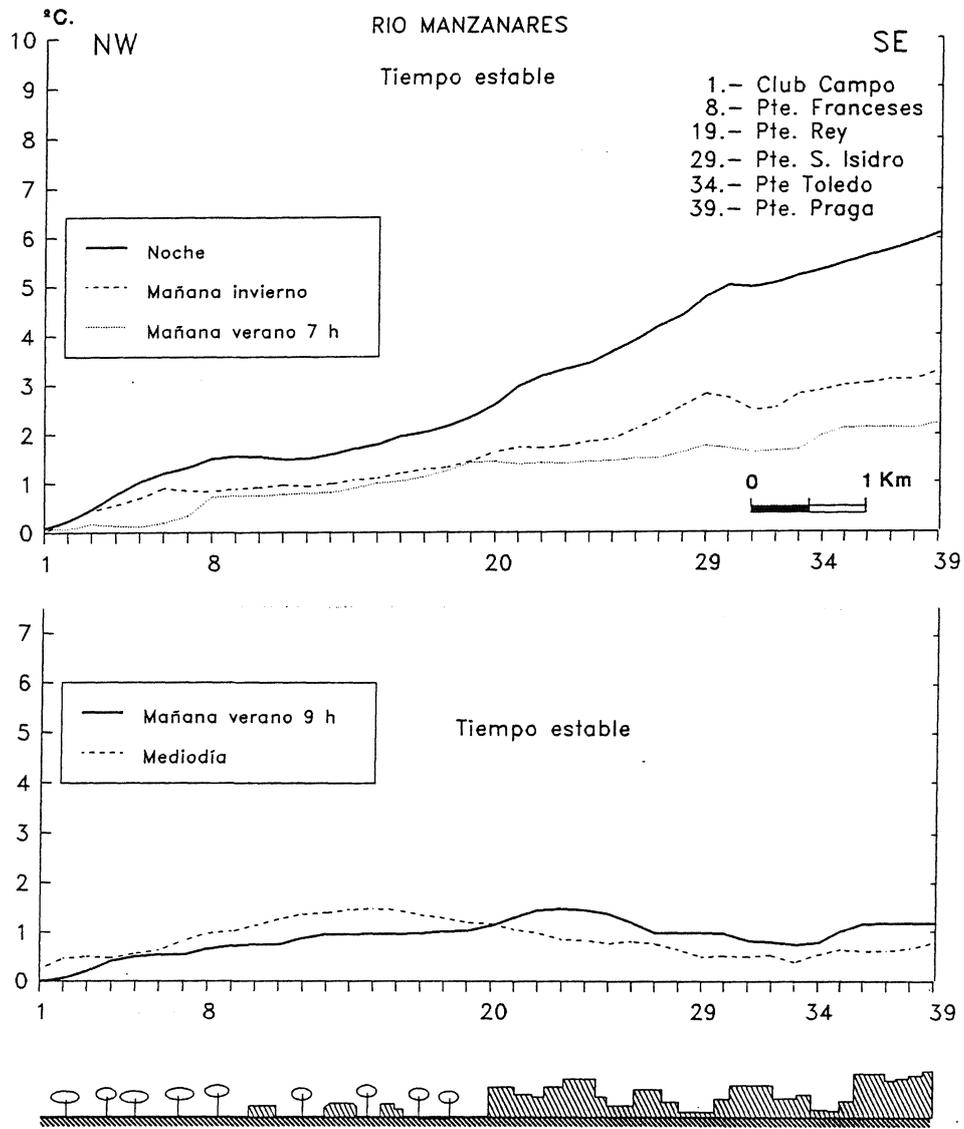


FIGURA 3.-Perfiles típicos del Manzanares, con tiempo estable en distintos tramos horarios y el esquema de uso del suelo.

Interesa destacar que este modelo es válido para las observaciones matinales del invierno, tanto las realizadas a las siete como a las nueve; sin embargo, en verano únicamente las de las siete siguen las pautas anteriores, mientras que las observaciones de las nueve se asemejan más al modelo diurno. Durante la noche y a primeras horas de la mañana, los factores urbanos condicionan el perfil térmico del recorrido, que muestra la clara oposición entre el espacio rural y el construido; más tarde la insolación adquiere mayor protagonismo y aparecen otros modelos de curvas térmicas a lo largo del mismo itinerario.

b) Curva representativa de los perfiles térmicos diurnos.—Durante el día el perfil es completamente diferente al que acabamos de comentar, de tal manera que el tramo más meridional del recorrido, donde se registraban durante la noche los máximos térmicos, muestra ahora temperaturas similares a las del Club de Campo, en el comienzo (figura 3). La zona más cálida varía a lo largo del día; en verano, a las nueve, se localiza en el tramo comprendido entre el puente del Rey y el de San Isidro y se desplaza varias horas más tarde a medida que aumentan las horas de insolación hasta el borde de la Casa de Campo, en ladera de solana. El efecto urbano sobre la isla de calor desaparece o se atenúa considerablemente y las diferencias observadas son debidas principalmente a la ubicación concreta del punto o de la zona respecto a la insolación.

Tipología de curvas térmicas con tiempo perturbado. Se han realizado 19 recorridos; el disponer de un menor número de observaciones que con estabilidad se debe al hecho conocido de que con tiempo inestable los contrastes térmicos son menores y los perfiles térmicos muy similares en las distintas situaciones perturbadas.

En conjunto, las diferencias térmicas son débiles (cuadro II) y el modelo de curva es muy similar en las distintas épocas del año. Los rasgos más sobresalientes muestran un aumento de las temperaturas desde el exterior hasta el puente de Praga, bastante suave y regular, salvo en algunas noches en las que se observa un pequeño salto, raramente superior a 1° C en el puente del Rey, tránsito entre el campo y la ciudad (figura 4).

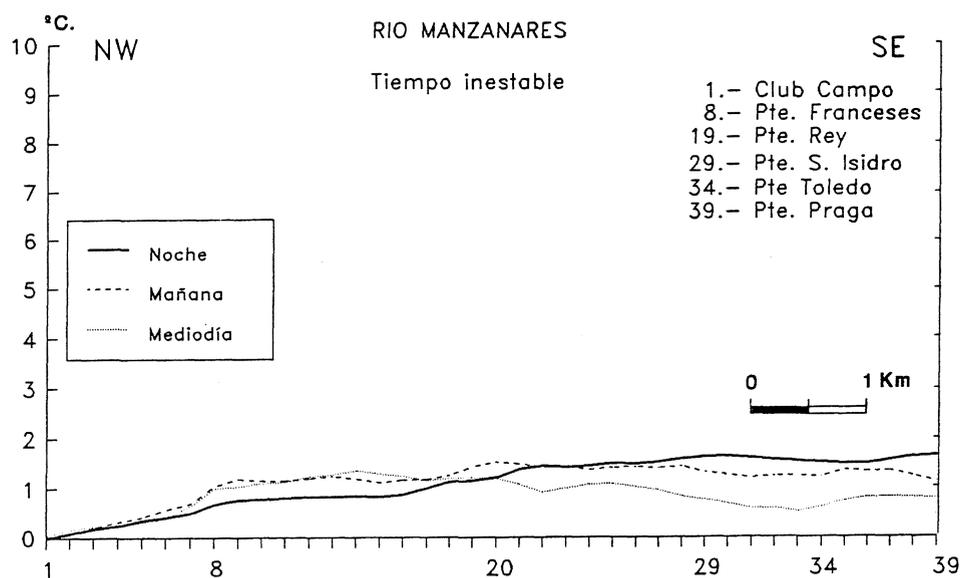


FIGURA 4.-Perfiles típicos del Manzanares, con tiempo perturbado por nubes o viento.

En situaciones de transición, con viento y nubosidad durante el período de medición, pero precedido de tiempo estable e isla de calor intenso en Madrid, el resultado es una curva similar a la anterior, pero con una diferencia térmica más acusada.

CUADRO II

	Intensidad*			Curva media**		
	media	máx.	min.	media	std	CV
Noche	1,8	2,3	1,1	1,0	0,3	29,8
Mañana	1,6	2,0	1,3	1,1	0,3	26,9
Mediodía	1,5	2,2	0,9	0,9	0,4	45,5

* Diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

** Media de las diferencias de cada punto respecto al más cálido.

Durante el día, por último, la temperatura permanece casi homogénea a lo largo de todo el recorrido y la curva presenta un trazado similar al de los mediodías estables, anteriormente analizados.

Áreas térmicas. Los modelos de curvas, que acabamos de analizar, ponen en evidencia uno de los rasgos más significativos de la isla de calor como es su variabilidad a lo largo del día, no sólo en la intensidad, sino también en su extensión espacial.

El agrupamiento de los diferentes puntos del recorrido, realizado por el método de cluster jerarquizado del paquete estadístico SPSS, permite analizar espacialmente la extensión de la isla de calor y las variaciones que experimenta en las distintas fases de observación. Durante la noche (figura 5A) aparecen claramente individualizadas la zona rural y urbana, en cada una de las cuales es posible diferenciar un sector de transición entre ambas, debido al progresivo incremento térmico que, como señalamos anteriormente, se produce desde el inicio del recorrido, hacia el sur. El agrupamiento térmico coincide claramente con el carácter urbano o rural del emplazamiento de los diferentes puntos, de tal modo que el límite corresponde al puente del Rey. Los siete primeros puntos del recorrido situados a lo largo del Club de Campo, se individualizan del resto del grupo rural como la zona más fría; el espacio situado a lo largo de la Casa de Campo, punto 9 al 18, como área rural atenuada. Desde el punto 19 en el puente del Rey, hasta el 27 en el de San Isidro, se extiende otra zona de transición, en este caso correspondiente a un debilitamiento de la isla de calor. El último tramo, en el extremo opuesto, al SE, la isla de calor urbana se extiende desde el puente de San Isidro hasta el de Praga en el punto 39.

Las transformaciones térmicas del conjunto, producidas por la insolación modifican lo anterior, de tal manera que a primeras horas de la mañana el cluster correspondiente al área urbana se reduce al último tramo del recorrido. Se mantienen claramente individualizado el núcleo frío del Club de Campo, pero las dos zonas de transición, antes mencionadas, se unen formando un solo grupo (figura 5B).

En las horas centrales del día (figura 5C), las transformaciones son más radicales, aunque los 39 puntos del recorrido continúan formando dos grandes grupos, pero ya completamente diferentes a los anteriores; el primero correspondiente al sector más cálido, se localiza en las proximidades de la Casa de Campo, punto 13 al 17; el segundo corresponde el resto de los puntos. Estos a su vez, forman dos

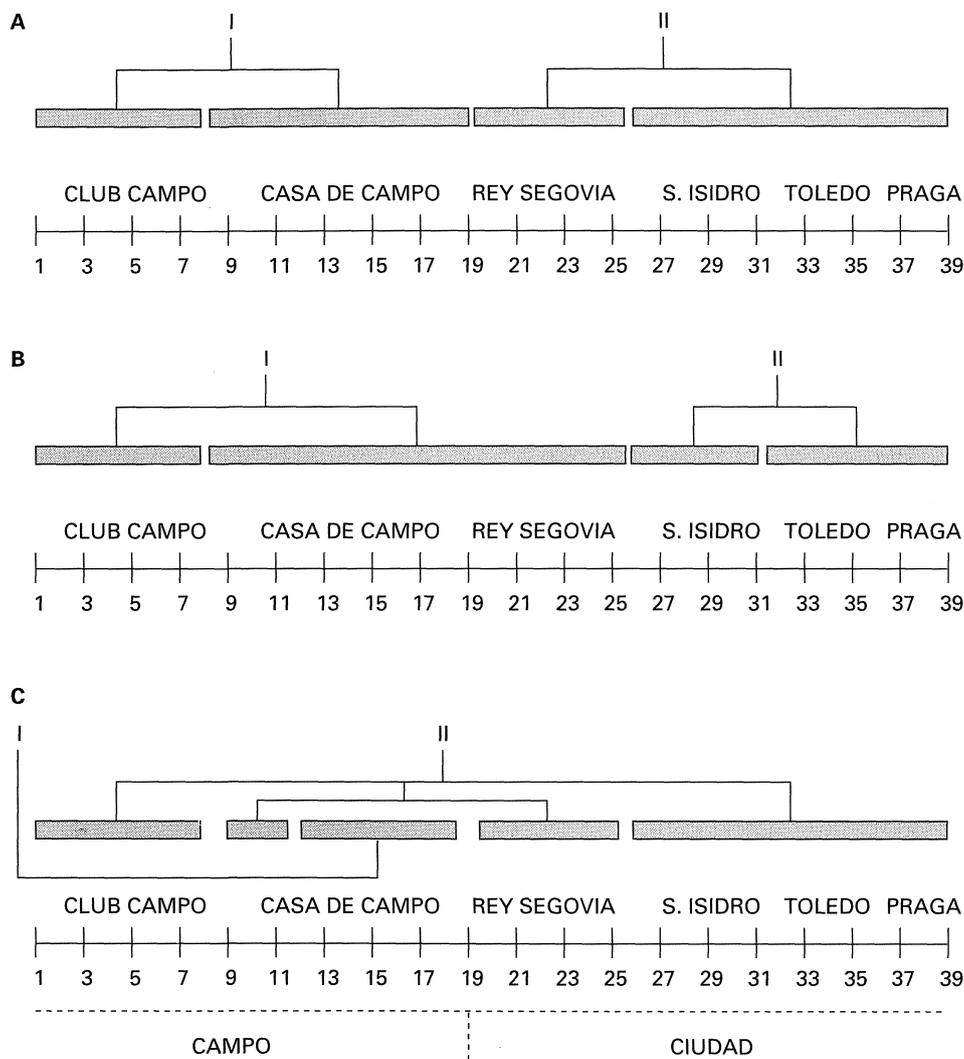


FIGURA 5.-Agrupación por cluster del itinerario del Manzanares. A Durante la noche; B en la mañana; C por el mediodía.

subgrupos, uno al norte y el otro en el área urbana, desde el puente del Rey hasta el de Praga.

Los mismos mecanismos que condicionan la formación de la isla de calor durante la noche, explican la desaparición de la misma, du-

rante el día por el calentamiento de las zonas rurales con bastantes menos obstáculos a la insolación que las zonas urbanas.

La vaguada del Abroñigal

Recorrido. La vaguada del desaparecido arroyo del Abroñigal, afluente del Manzanares por su margen izquierda, sigue un trazado N-S, con un perfil algo más inclinado que el anterior; el inicio se sitúa a 730 m en el extremo NNE de la ciudad, cerca del nudo de Manoteras y a lo largo de 13 km desciende hasta los 570 m, en su confluencia con el Manzanares, en el extremo sur de Madrid (figura 2). El lecho originario está ocupado en la actualidad por la autovía M-30 Este que discurre entre dos lomas de alturas comprendidas entre los 40 y 60 m.

Este trazado introduce algunas modificaciones respecto al anterior recorrido, entre las que podemos destacar el obstáculo que representa su cabecera, situada en el borde mismo de la ciudad, a la penetración del aire frío extraurbano. Por otro lado, la superficie asfaltada es más extensa y todo el recorrido discurre entre zonas plenamente urbanas, salvo el sector más meridional, que atraviesa áreas de uso diverso, especialmente ferroviarios, que podríamos considerar rururbanas. De gran importancia climática son, asimismo, el conjunto de parques que ocupan las laderas inmediatas (Fuente del Berro, Elipa, Roma), en el tramo situado entre Ventas y la N-III. Estos espacios verdes, aunque no son muy extensos, introducen modificaciones importantes en las temperaturas de las áreas próximas.

Los puntos seleccionados han sido 66, con una equidistancia de 200 m, como en el caso anterior y el número de recorridos han sido 29, de los cuales 15 han correspondido a tiempo estable y 14 a situaciones perturbadas.

Tipología de perfiles térmicos con tiempo estable

Las diferencias térmicas oscilan entre los 2° C en una madrugada de verano y los 3,8° C en otra de invierno, con variaciones del 40 % al considerar conjuntamente ambos períodos (cuadro III), que se reducen

a la mitad al analizarlos por separado. Al contrario de lo que sucede en la vaguada del Manzanares, la diferencia estacional sigue las pautas generales de la isla de calor observada en la mayor parte de las ciudades, por ello los modelos de perfiles térmicos presentan diferencias significativas entre invierno y verano (figura 6).

CUADRO III

	Intensidad*			Curva media**		
	media	máx.	min.	media	std	CV
Noche conjunto	2,8	3,8	2,0	1,8	0,7	39,7
Noche invierno	3,1	3,8	2,6	2,0	0,5	24,9
Noche verano	2,4	2,7	2,0	1,3	0,4	30
Mañana conjunto	2,1	3,0	2,1	1,8	0,6	34,1
Mañana invierno	3,0	3,0	2,9	1,8	0,4	21,7
Mañana verano	2,5	2,8	2,1	1,3	0,3	23,8
Mediodía conjunto	2,7	2,9	2,5	0,8	0,2	24,6

* Diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

** Media de las diferencias de cada punto respecto al más cálido.

Invierno. En las noches de invierno las diferencias térmicas a lo largo del recorrido permanecen muy homogéneas desde el comienzo, en el Nudo de Manoteras, hasta el puente de Ventas, con diferencias inferiores a 1° C. El efecto refrescante de los parques se manifiesta en la caída térmica que se produce a lo largo del tramo ocupado por éstos, entre Ventas y el Puente de Vallecas, donde se produce un segundo máximo del recorrido, ligeramente inferior al de Ventas, pero claramente individualizado por el rápido descenso de las temperaturas, en torno a los 3° C, que ocurre hacia el final del recorrido, en la confluencia del arroyo del Abroñigal con el Manzanares.

Al llegar la mañana, la influencia de los parques desaparece o se atenúa considerablemente, la zona periférica de Manoteras aparece más fresca, con valores similares a la periferia sur. El perfil dibuja una curva convexa, ascendente desde el norte hasta Ventas; uniforme desde aquí hasta el Puente de Vallecas y se mantiene la caída hacia el Manzanares, atenuada respecto a la noche. En las horas centrales del día las temperaturas más bajas corresponden al tercio norte del recorrido, desde el comienzo hasta el cruce con la N-III. El resto del

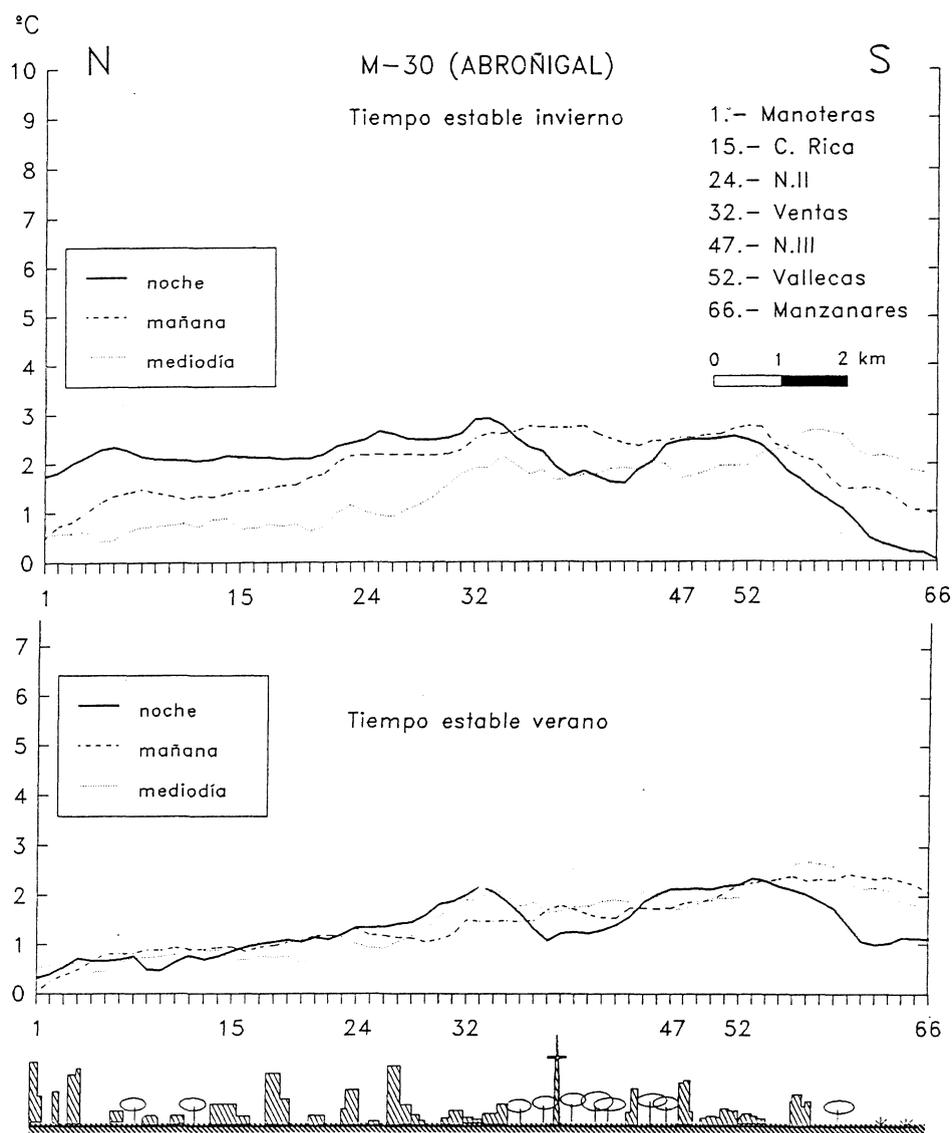


FIGURA 6.-Perfiles típicos del Abroñigal, con tiempo estable en invierno y verano según distintos tramos horarios y el esquema de uso del suelo.

recorrido es más cálido y el máximo térmico aparece ahora ligeramente desplazado hacia el sur y la caída hacia el río es inferior a 1° C.

Las causas de esta evolución parecen ser más complejas que en la vaguada del Manzanares y ponen de manifiesto las diferencias topográficas existentes entre ambas. El tráfico y la insolación podrían ser válidas para explicar la desaparición de la bolsa de frescor producida por los parques durante la noche en este recorrido, aunque es lógico pensar que ésta sigue existiendo a lo largo del día, aunque limitada al recinto arbolado. El comportamiento del comienzo y final del recorrido, podría explicarse por la topografía. Durante la noche, la mayor elevación de Manoteras, cabecera del arroyo del Abroñigal, actuaría como un obstáculo a la penetración del aire frío del norte, mientras que al sur, en la unión con el Manzanares, las bajas temperaturas serían consecuencia de la acumulación del aire frío canalizado por la vaguada de éste. A medida que avanza el día, la transformación experimentada por este sector sería similar a la que vimos en el itinerario anterior, mientras que a estas horas el factor altitudinal jugaría un papel negativo para las temperaturas de la cabecera del Abroñigal; sin descartar la influencia del tráfico, menos intenso en este sector, aunque la información disponible no nos permite cuantificar esta variable.

Verano. Lo expuesto hasta ahora parece corroborarse al analizar los perfiles térmicos del verano, en situaciones estables (figura 6), con rasgos similares a los perfiles diurnos de invierno. En efecto, en la época estival el mínimo térmico siempre se sitúa en la periferia norte, al comienzo del recorrido y el descenso hacia el río es bastante menos acusado que en invierno; en la cálida el aire frío canalizado por la vaguada del Manzanares es bastante menos intenso, por lo que las diferencias respecto a las áreas próximas son menores. El frescor de los parques se manifiesta durante la noche y desaparece durante el día y, a estas horas, el máximo se corresponde con el del mismo período del invierno.

Tipología de perfiles térmicos con tiempo perturbado

No hay prácticamente evolución y el comportamiento es el mismo a lo largo de todo el día/noche con unas diferencias entre 1-2° C, y un aumento ligero y continuo desde la periferia norte hasta la conexión con el Manzanares, ya en esta zona no edificada (figura 7).

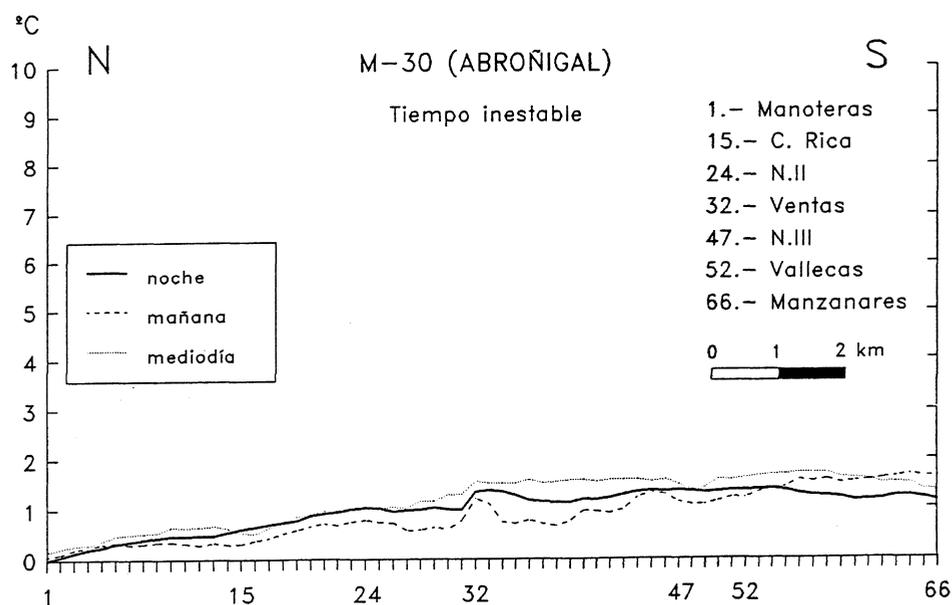


FIGURA 7.-Perfiles típicos del Abroñigal, con tiempo perturbado por nubes o viento.

Como los recorridos concretos responden también al modelo, parece deducirse que, independientemente del sentido en que sopla el viento u otras condiciones, la isla de calor se reduce considerablemente, adquiere un perfil más plano, y se desplaza hacia el sur. Destaca únicamente un pequeño máximo debajo de los pasos elevados de Ventas, que por la disposición encajada y extensa del paso subterráneo, acumula más fácilmente el calor proveniente del tráfico rodado, especialmente denso y lento en esta zona, mientras que el mínimo de los parques no llega a la M-30.

CUADRO I

	Intensidad*			Curva media**		
	media	máx.	min.	media	std	CV
Noche	1,6	2,1	1,2	0,8	0,2	24,6
Mañana	1,7	2,2	1,4	1,0	0,3	31,4
Mediodía	1,8	2,0	1,7	1,2	0,2	16,4

* Diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

** Media de las diferencias de cada punto respecto al más cálido.

Áreas térmicas

Como en la vaguada del Manzanares, los distintos puntos seleccionados en el Abroñigal, definen áreas térmicamente diferenciadas, cuya extensión varía a lo largo del día, siguiendo las pautas de los perfiles que acabamos de describir. Los rasgos más sobresalientes que analizamos a continuación corresponden a situaciones de estabilidad atmosférica (figura 8), las más representativas de estas variaciones espaciales; con inestabilidad la distribución es más uniforme y los matices espaciales muy aleatorios.

Por las noches (figura 8A) la zona norte presenta mayor homogeneidad y los grupos son de mayor tamaño; a medida que nos acercamos al río, las diferencias térmicas se acentúan y los cluster son de menor extensión, los primeros grupos básicos que se forman son los máximos térmicos de Ventas y el Puente de Vallecas, que a su vez se unen con todo el tercio norte, que forma un solo grupo, desde el comienzo del recorrido, es decir incluye todas las zonas más urbanizadas. En otro nivel se destaca toda la zona situada junto a los parques laterales, que forma un grupo homogéneo y diferenciado del resto, así como la zona rururbana sur, cerca de la Estación del Abroñigal y aislado del tramo más periférico del sur, junto al río Manzanares. La disposición es similar a la de la vaguada del Manzanares, con dos grandes grupos, urbano y rural, pero este último es bastante menos extenso y se localiza en el tramo más meridional del recorrido, en la confluencia de ambas vaguadas.

Durante la mañana (figura 8B), los grupos básicos son más numerosos y se van uniendo con sus vecinos de forma ordenada, incluyendo la zona de parques, que a estas horas aparece concentrada con los espacios próximos y lo mismo ocurre con el próximo al río Manzanares. En conjunto, continúan apareciendo dos grupos, como durante la noche, pero no corresponden a los mismos sectores: el primer tercio del itinerario que es la zona más fresca y el resto, como la zona más cálida, sin quedar diferenciado el mayor o menor grado de urbanización, como ocurre claramente en las noches estables. Al mediodía (figura 8C), las diferencias térmicas son muy débiles y sólo se forma un único grupo, aunque con dos subgrupos básicos correspondientes a la zona más fresca de Manoteras-Costa Rica, separado del resto del itinerario.

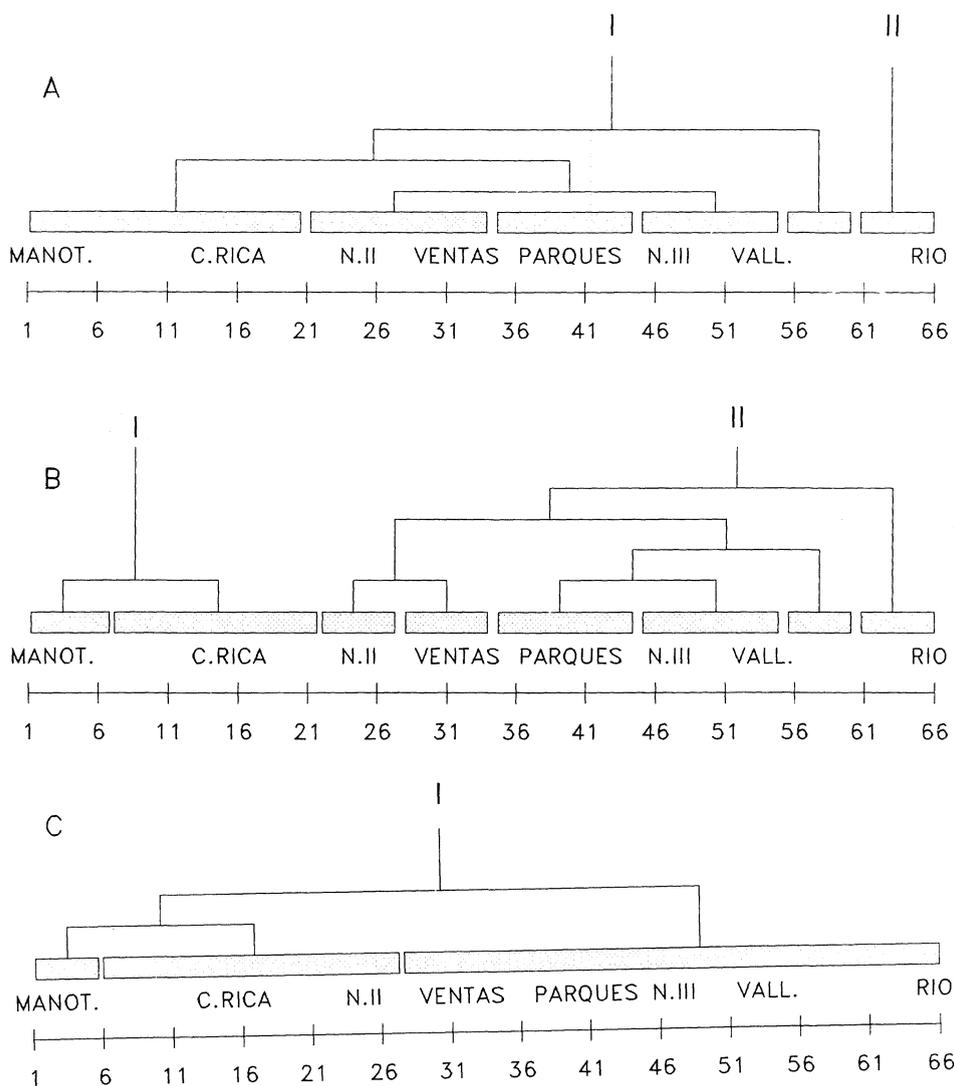


FIGURA 8.-Agrupación por cluster del itinerario del Abroñigal. A Durante la noche; B en la mañana; C por el mediodía.

Conclusiones

La topografía, además de la diversidad de usos y tipologías urbanas, son los aspectos más sobresalientes que condicionan la isla de calor urbana, tal y como se deduce del análisis que hemos realizado sobre las temperaturas de 105 puntos situados a lo largo de la vaguada del Abroñigal y del Manzanares; la primera que atraviesa Madrid de N a S, por espacios eminentemente urbanos, ocupada en su totalidad por edificios y asfalto, con muy pocos espacios verdes; la segunda, más periférica, presenta un tramo con muy pocas construcciones, rodeado de parques con arbolado denso, y otro, más meridional, en el que la morfología urbana es dominante.

En sentido transversal, el efecto de vaguada se manifiesta en ambas, que aparecen, respecto al centro de la ciudad, como zonas frías, especialmente durante la noche. Las diferencias, no obstante, son notables entre la del Manzanares, alrededor de 8-10° C más fría que el centro de Madrid, y la del Abroñigal con diferencias inferiores a 3° C (figura 1). A ello contribuyen, también, la posición más periférica de la vaguada del Manzanares y la proximidad de importantes masas forestales, antes aludidas. Los perfiles longitudinales, a los que hemos dedicado la mayor atención, muestran, asimismo, la doble influencia de la topografía y los usos del suelo existentes en cada una de estas áreas. Los rasgos comunes más significativos podemos resumirlos en una evolución similar en ambas, tanto de la extensión, como de la intensidad de la isla de calor en las distintas horas de observación, con un máximo en las horas nocturnas. Similar es, también, la uniformidad de los diferentes puntos de los recorridos con tiempo perturbado.

Fuera de esto, en la vaguada del Manzanares los perfiles son muy similares tanto en invierno como en verano, con un mínimo nocturno localizado en el tramo norte del recorrido, claramente diferenciado respecto a la isla de calor que se localiza en el tercio meridional, el más urbanizado. En la vaguada del Abroñigal el mínimo se localiza al sur, en la confluencia de ésta con el Manzanares y el efecto de los parques se manifiesta por la presencia de una célula de frescor entre las áreas cálidas.

El calentamiento diurno determina una reducción progresiva de la isla de calor en la vaguada del Manzanares, hasta desaparecer en las horas centrales del día, momento en el que el máximo térmico se desplaza hacia el norte. En el Abroñigal, por el contrario, a primeras horas de la mañana y en las noches estivales el punto más frío se desplaza hacia el norte, en el comienzo del itinerario, que coincide con la cabecera de la vaguada; durante el día se mantiene esta distribución térmica y el máximo se desplaza hacia el sur en posición marginal respecto al espacio más urbanizado.

La causa principal de estas diferencias podría ser el perfil topográfico longitudinal que cada una de ellas presenta: la vaguada del Manzanares se inicia bastante lejos de la periferia urbana y es una vía fácil de penetración del aire frío exterior, especialmente activo durante las noches estables invernales. La cabecera del Abroñigal, por su parte, coincide con el inicio del recorrido y actúa como barrera a la penetración de ese aire. El hecho de que en las noches invernales, en el Abroñigal, el punto más frío se localice en el extremo sur podría explicarse por influencia de la inmediata vaguada del Manzanares, en zona no edificada y posible entrada de aire exterior; en las noches estivales y durante el día, el calentamiento del suelo reduce considerablemente las diferencias y es el factor altitudinal el que determina la distribución térmica; por ello es en la cabecera del arroyo donde se localizan los valores más bajos a estas horas.

Por otro lado, la Casa de Campo, situada en las proximidades del Manzanares, es un manantial de aire frío en invierno y de frescor en verano, que es canalizado por los arroyos y barrancos existentes en el interior de este espacio arbolado, hacia la vaguada principal; esto sería la causa de que se mantengan las diferencias térmicas nocturnas durante todo el año entre el sector norte y sur.

La localización de la isla de calor, así como su extensión, varía en ambas zonas a lo largo del día de tal manera que en las horas más cálidas el máximo se sitúa en la periferia norte, si nos referimos a la vaguada del Manzanares o en la sur en el Abroñigal. Durante la noche y en la madrugada la isla de calor se inicia en el límite urbano y alcanza su máximo en el punto final del Manzanares; en el Abroñigal la extensión de la isla de calor se extiende a lo largo de todo el reco-

rrido, salvo el último tramo y presenta dos máximos, en el puente de Ventas y en el de Vallecas, separados por un sector más fresco en la zona próxima a los parques de la Fuente del Berro, Roma y la Elipa; a primeras horas de la mañana se reduce su extensión al tramo comprendido entre los dos máximos nocturnos, que aparece flanqueado por dos sectores más fríos situados al norte y sur respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCOFORADO, M.^a J. (1991). «Influence de l'advection sur les champs thermiques urbains à Lisbonne». *Climat urbain et qualité de l'air*. Association Internationale de Climatologie, vol. 4, pp. 29-36.
- ALMENDROS COCA, M. A. «Aspectos climáticos de los parques y jardines madrileños». Madrid, 1990, 3 vol. (tesis doctoral).
- (1992). «Aspectos climáticos del parque del Retiro (Madrid)». *Est. Geográficos*, núm. 207, pp. 217-240.
- (1993). «Aspectos climáticos sobre la Casa de Campo de Madrid». *Bol. de la Real Sociedad Geográfica*, tomo CXXIX, pp. 27-46.
- ALMENDROS COCA, M. A., y LÓPEZ GÓMEZ, A. (1995). «La isla de calor en Madrid y las situaciones sinópticas». *Est. Geográficos*, núm. 219, pp. 207-221.
- ARROYO ILERA, F., y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1991). *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*. Colección de Estudios. UAM, 109 pp.
- BELLO FUENTES, V. «El clima del valle bajo del Henares: La isla de calor en sus áreas urbanas. Las inversiones térmicas». Madrid, 1995, 2 vol. (tesis doctoral).
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1990). «La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones: el caso de Madrid». *Estudios Geográficos*, núms. 199-200, pp. 397-411.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; LÓPEZ GÓMEZ, A., y ALMENDROS COCA, M. A. (1992). «El clima urbano del S y SE del área metropolitana madrileña». *VI Coloquio Ibérico de Geografía*. Porto.
- GANHO, N. (1992). *O clima urbano de Coimbra-Aspectos térmicos estivais*. Disertação de Mestrado em Geografia. Faculdade de Letras de Universidade de Coimbra. 170 p.
- LOMBARDO, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles. O exemplo de Sao Paulo*. Hucitec. Sao Paulo.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1984). «La isla de calor en Madrid: Avance de un estudio de clima urbano». *Est. Geográficos*, núm. 174, pp. 5-34.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1985). «El clima de las ciudades». *Arbor*, núm. 474, pp. 13-32.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; LÓPEZ GÓMEZ, J.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; ARROYO ILERA, F., y cols. (1988). *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*. Instituto de Economía y Geografía Aplicadas CSIC.
- (1991). *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*. Centro de Investigaciones sobre la Economía, la Sociedad y el Medio (CIESM) CSIC.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; MORENO JIMÉNEZ, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F., y PALAU, F. (1990). «La temperatura diurna en la aglomeración de Madrid mediante imágenes remotas». *Estudios Geográficos*, núm. 201, pp. 705-732.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; LÓPEZ GÓMEZ, J.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; MORENO JIMÉNEZ, A. (1993). *El clima urbano de Madrid. Teledetección de la isla de calor en Madrid*. MOPT Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (Coord.); FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; MARTÍN VIDE, J., y CUADRAT, J. M.^a (1993). *El clima de las ciudades españolas*. Cátedra, 268 p.

- LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F., y ALMENDROS, M. A. (1995). «El clima urbano de Madrid: tipologías de la isla de calor». *Climatology and air pollution*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina, pp. 19-36.
- MICOLA, L., y RAYNAUD, J. (1971). «Etude géographique et écologique des espaces verts de Montpellier». *Bull. Soc. Languedocienne de Géographie*. Octubre-noviembre de 1971.
- MORENO GARCÍA, M. C. (1991). «La intensidad de la "Isla de calor" de Barcelona. Comparación con otras ciudades españolas». *Alisios*, 1, pp. 47-53.
- (1993). *El estudio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor»*. Barcelona XI+193 pp. (tesis doctoral 1990).
- RICHARD LEE (1978). *Forest microclimatology*. Columbia university Press. Nueva York. 270 pp. Vol. 66, núm. 4, pp. 557-569.
- ROTH and OKE (1989). «Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology». *Remote sensing*, vol. 10, núm. 11, pp. 1699-1720.
- TERJUNG, W. H., y ROURKE, P. A. (1981). «Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures». *Bound. Layer Meteorol.*, 21, pp. 255-263.
- WILMERS (1981). Temperature measurements in the city as a contribution to the bioclimate of Hanover. *Verhan & lugen-Gesellschaft fur Okologie*, pp. 343-347.

RESUMEN: *La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid. Las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal*. Resumen. Se estudia la influencia de la topografía y de diversos usos de suelo en la isla de calor urbana de Madrid, a través de dos perfiles en las vaguadas del río Manzanares desde el extrarradio, donde se favorece la entrada de aire frío del exterior de la ciudad, y del Abroñigal en una disposición más urbana.

PALABRAS CLAVE: Clima urbano. Topografía. Usos del suelo. Manzanares y Abroñigal (Madrid).

ABSTRACT. *The influence of the relief in the urban heat island in Madrid. The thalwegs of the Manzanares and the Abroñigal*. To study the influence of the relief and city landscape in Madrid's urban heat island, we take two profiles, one of the Manzanares river thalweg, at the outskirts where we find cold air coming from the country and the other of the Abroñigal thalweg, a rather urban one.

KEY WORDS. Urban climate. Madrid. The urban heat island.

RESUMÉ. *Influence du relief dans l'île de chaleur à Madrid. Les thalwegs du Manzanares et de l'Abroñigal*. L'étude de l'influence de du relief et des différents paysages urbaines sur l'île de chaleur de la ville de Madrid a été affectuée à partir de deux coupes, l'une du thalweg du Manzanares dans les faubourgs, où l'on trouve l'air froid de l'extérieur de la ville, et l'autre du thalweg de l'Abroñigal, situé bien plus à l'intérieur de la cité.

MOTS CLÉ. Climat urbaine. Madrid. L'île de chaleur.