

El medio ambiente urbano en Zaragoza. Observaciones sobre la «isla de calor»

J. M. CUADRAT PRATS, J. DE LA RIVA,
F. LÓPEZ Y A. MARTÍ

INTRODUCCIÓN

La transformación del medio natural por la acción humana alcanza su máxima expresión en las ciudades, donde afecta de modo especial a las condiciones climáticas. Es conocido que las áreas urbanas suelen ser más calientes que el campo alrededor de ellas y que otros aspectos del clima, como los totales de precipitación, la velocidad del viento, la cantidad de radiación o de vapor de agua, experimentan igualmente cambios significativos, que podemos medir de forma directa en diferencias de temperatura, humedad, precipitación, velocidad de viento y niebla, entre el espacio urbano y su entorno rural. La ciudad misma es la causa de estas disparidades. Su masa compacta de edificios y pavimentos constituye una alteración profunda del paisaje natural, y las actividades de sus habitantes son una fuente considerable de calor y de generación de partículas contaminantes a la atmósfera que tienden a reflejar la luz solar, a reducir la cantidad de calor que llega a la superficie y a retardar también la emisión de calor. Estos hechos juntos son los que dan a los núcleos urbanos características climáticas propias, que podemos contemplar desde una doble componente geográfica: por un lado, el comportamiento diferente entre el núcleo urbano y el medio rural próximo, y por otro, los contrastes dentro de la propia ciudad, a los que contribuyen tanto las variadas formas de sus edificios, de sus materiales y el trazado de sus calles, como la actividad humana reflejada sobre todo en el tráfico y la industria.

El hecho de que el medio urbano posea una atmósfera peculiar y que los elementos climáticos evolucionen de modo diferente a como cambian en el medio rural es conocido hace tiempo y ha sido objeto de continuas investigaciones desde los pioneros estudios de Howard en el siglo pasado. En España los primeros trabajos se deben al equipo de López Gómez sobre la ciudad de Madrid (López Gómez y otros, 1984 y 1991), y tras ellos han seguido otros sobre Barcelona, Valencia, Tarragona, Tenerife, San Sebastián, Logroño, etc., realizadas por otros tantos equipos de geógrafos de sus respectivos centros universitarios. En esta misma línea se aborda el estudio del clima urbano de Zaragoza, cuyo diseño comenzó en 1988 con el análisis de la estructura urbana, las características del espacio periurbano y la proyección de los transectos con los diferentes puntos de observación. Este artículo constituye un avance del proyecto más amplio de estudio del conjunto del clima zaragozano, donde se tratan únicamente las temperaturas y, en particular, la isla de calor urbana y algunos rasgos de su organización espacial.

1. LA CIUDAD DE ZARAGOZA

La influencia que la ciudad ejerce sobre las condiciones climáticas generales es muy variable y cambia fundamentalmente en función de factores urbanos (desarrollo de la ciudad, tamaño, población, etc.), geográficos (masas verdes, topografía, etc.) y meteorológicos (tipos de tiempo); estos aspectos son los que comentamos a continuación referidos a Zaragoza.

Características del área urbana

Con casi 600.000 habitantes, la ciudad de Zaragoza se sitúa en la zona central de la Depresión del Ebro, sobre la confluencia de los cauces de los ríos Ebro, Gállego y Huerva, que condicionan, sin duda, el tipo de materiales sobre el que se levanta la ciudad: gravas y arenas, fundamentalmente. Su topografía no presenta grandes contrastes, siendo el punto más alto los Pinares de Venecia, al Sur de la urbe, que se levanta unos 40 m. sobre la altitud media de Zaragoza, que es de 180 m.

En su emplazamiento actual, cuenta con una historia de más de dos mil años en los que se ha visto forzada a desarrollarse teniendo en cuenta la confluencia de los ríos que en ella convergen y la presencia impenitente del viento del NO, junto con las adaptaciones a las funciones que en cada época le ha correspondido desempeñar.

De esta forma podemos destacar cuatro zonas con morfologías diferentes, que presentarán comportamiento diverso a la recepción y emisión de calor:

- Zaragoza romana: delimitada por una primitiva muralla, en torno al río Ebro, en su margen derecha, con su *Cardus* (calle Don Jaime) y su *Decumanus* perpendicular (calles Manifestación, Espoz y Mina y Mayor), con el río Huerva como límite y defensa natural, formando el actual Casco Viejo.
- Zaragoza hasta la Guerra de la Independencia: se configura como un recinto cerrado por las murallas al que se accede por las puertas, que tanto por el N como por el E y S, abocan a puentes sobre los diferentes ríos, y forma en la actualidad la Zona Centro.
- Zaragoza en la industrialización: con la llegada del ferrocarril y de la industria en el siglo XIX, surgen «barrios-estación» (Arrabal, Madre Sacramento) y ensanches (Colón, Torrero-Venecia), con una morfología mucho más abierta.
- Zaragoza desde el Polo de Desarrollo a la actualidad: la presión demográfica, la demanda de servicios, los polígonos industriales, etc., impulsan el crecimiento y creación de barrios que agrandan la ciudad por la margen derecha del Ebro (Delicias, Las Fuentes, Química, San José, Oliver, Valdefierro, etc.). Es a partir de los años sesenta cuando crecen barrios como la Romareda, Universitas, Las Torres-Cesáreo Alierta, Puerta Sancho, etc., con un desarrollo en altura que da lugar a zonas con un elevado grado de congestión que se reflejará en parte en este estudio, a la vez que desarrolla la margen izquierda del Ebro (ACTUR), que alberga en la actualidad a más de 40.000 personas, en viviendas desarrolladas en altura y con grandes avenidas que las separan.

La influencia de esta variada textura urbana (edificios antiguos, altos, bajos, residenciales, industriales, etc.), con sus diferentes capacidades de acumulación de calor, se interrelaciona a su vez con el efecto modificador sobre el clima de dos importantes elementos de la ciudad: en primer lugar el debido a los ríos Ebro, Huerva y Gállego, junto con el Canal Imperial de Aragón, tanto por su *influjo* sobre las temperaturas, como por su posible acción canalizadora de los flujos de aire frío hacia el casco urbano. Y en segundo lugar, el efecto de dos importantes superficies verdes que se sitúan al Sur de la ciudad, los Pinares de Venecia y el parque Primo de Rivera.

El clima regional

El centro del Valle del Ebro, donde se sitúa Zaragoza, tiene un clima mediterráneo de acusada influencia continental fruto de su topografía en forma de cubeta cerrada, enmarcada por las altas superficies montañosas del Pirineo, al Norte, y del Sistema Ibérico, al Sur. Los factores atmosféricos que determinan su clima son los mismos que regulan el tiempo en la Península Ibérica, matizados por su posición oriental e ístmica respecto de la misma: neto predominio de situaciones anticiclónicas durante el verano y en el corazón del invierno, y situaciones más favorables para paso de borrascas durante las estaciones equinocciales, aunque siempre muy debilitadas, pues la pluviometría media anual de Zaragoza es tan sólo de 338 mm.

La continentalidad del Valle del Ebro es responsable de los acusados contrastes térmicos estacionales y diarios. Así se observa en los datos del observatorio del aeropuerto, situado a diez kilómetros del núcleo urbano, para los meses extremos del año: en enero la media es de 6,4°, con amplitud de 7,9° entre la media de las máximas, de 10,4°, y la de las mínimas, de 2,5°. Por el contrario, el verano es cálido y de gran amplitud, como prueban los 24,2° de temperatura media que se alcanzan en julio y los 14° de oscilación entre los 31,2° de las máximas y los 17,2° de las mínimas. La intensidad de estos contrastes indica la importancia del calentamiento diurno y del enfriamiento durante la noche, favorecidos por la escasa nubosidad y el elevado número de horas de Sol, que suman un total de 134 horas en enero y 362 en julio.

El viento es otro factor relevante del clima zaragozano, particularmente el denominado *cierzo*, de procedencia ONO, cuya frecuencia es el 47% de todas las direcciones. Los flujos de aire del Norte y del Oeste son encauzados y concluidos con facilidad en el corredor abierto entre el Pirineo y la Ibérica y adquieren clara componente del Noroeste, que es sensiblemente la de la depresión del Ebro, a la vez que es acelerado e intensificado en sus rachas por el «efecto de embudo» que sufre al encajonarse en el Valle. Esta acción modera la isla de calor urbana y en los momentos de velocidades elevadas llega a hacerla desaparecer.

2. LA ISLA DE CALOR URBANA

Diferencias campo-ciudad

Un primer análisis de las modificaciones urbanas en el clima, consiste en establecer comparaciones entre la ciudad y el área próxima con los datos de

observatorios representativos de cada medio geográfico. En Zaragoza existen dos estaciones meteorológicas de primer orden del Instituto Nacional de Meteorología, una situada en el interior de la ciudad y otra en el aeropuerto de Sanjurjo, en la periferia, que simultáneamente funcionan desde 1941 y tienen registros fiables, homogéneos y muy pocas lagunas. Reúnen, además, condiciones geográficas válidas para su confrontación, por su altitud similar y localización del aeropuerto al Oeste de la ciudad, fuera de la influencia urbana a sotavento de la dirección dominante del viento. De ambas hemos tomado las series de datos de temperaturas comprendidas entre 1960 y 1984; extremos que coinciden, por una parte, con el momento de mayor expansión urbana y fuerte incremento demográfico y económico, y por otra, con el traslado en 1984 del observatorio urbano al interior del parque Primo de Rivera, donde la presencia de extensa superficie arbolada y amplio espacio ajardinado modifican sustancialmente las iniciales características de situación y recomiendan no hacer uso de los datos.

La comparación de los promedios anuales y mensuales de las temperaturas máximas y mínimas de Zaragoza y su aeropuerto, tal como se observa en el cuadro 1, revelan varios puntos de interés. Respecto a las temperaturas mínimas, éstas son siempre más elevadas en la ciudad que en el aeropuerto, con valores que, salvo en los meses de junio y julio, son siempre superiores a 1°. Las mayores diferencias se alcanzan en invierno, desde noviembre a marzo, y van disminuyendo durante la primavera hasta los meses de verano, donde se observan los contrastes más débiles. En cuanto a las temperaturas máximas de ambos observatorios, sus diferencias se reducen casi totalmente y el ritmo de las mismas a lo largo del año se hace bastante irregular. La media anual es idéntica y la máxima diferencia alcanzada en mayo, junio y octubre es tan sólo de tres décimas; si se observa la evolución de las temperaturas a lo largo de los meses podría decirse que en primavera y verano la ciudad es durante el día más cálida que su aeropuerto, y ligeramente más fresca en otoño e invierno, pero nunca son cifras significativas como para inferir de ellas un régimen bien definido. De estos resultados se deduce, asimismo, la menor amplitud de las temperaturas del área urbana en comparación con su periferia, fruto entre otras causas de la inercia térmica que origina la elevada capacidad calorífica de los materiales de construcción urbanos.

Cuadro 1

PROMEDIOS MENSUALES Y ANUALES DE LAS TEMPERATURAS
MAXIMAS Y MINIMAS MEDIAS Y SUS DIFERENCIAS ENTRE ZARAGOZA
Y EL AEROPUERTO

	T °C media de las máximas			T °C media de las mínimas		
	Zaragoza	Aeropuerto	Diferencia	Zaragoza	Aeropuerto	Diferencia
Enero	10,2	10,3	-0,1	3,6	2,4	1,2
Febrero	12,5	12,6	-0,1	4,6	3,4	1,2
Marzo	15,1	15,3	-0,2	5,9	4,6	1,3
Abril	18,4	18,2	0,2	8,1	7	1,1
Mayo	22,6	22,3	0,3	11,2	10,2	1
Junio	27,4	27,1	0,3	15,2	14,3	0,9
Julio	31,1	31,1	0	17,8	17	0,8
Agosto	29,9	30,1	-0,2	17,9	16,9	1
Septiembre	26,3	26,3	0	15	13,9	1,1
Octubre	20,4	20,7	-0,3	10,8	9,8	1
Noviembre	13,9	13,8	0,1	6,5	5,3	1,2
Diciembre	10,1	10	0,1	3,9	2,9	1
AÑO	19,8	19,8	0	10,0	8,9	1,1

Los valores observados son más moderados que los que se alcanzan en otras ciudades españolas donde existe un buen conocimiento de este fenómeno, como son los casos de Barcelona o Madrid, pero son coincidentes en sus rasgos generales. Así, en Barcelona estas diferencias son de 2,9° para las mínimas y de -0,2° para las máximas (Moreno, 1990); y cifras superiores se obtienen en Madrid: 7° y 3,5° respectivamente, calculados a partir de los datos del aeropuerto y la agrupación de varios observatorios urbanos (López Gómez y Fernández García, 1984, 1991). Al igual que en las ciudades mencionadas, en Zaragoza la isla térmica aparece con nitidez durante la noche y con valores máximos también en invierno; su intensidad es, en cambio, más débil, lo que justificaría por el menor tamaño de la ciudad y su perímetro notablemente más reducido. En este sentido, si aplicamos la relación entre habitantes (P) e intensidad de la isla de calor ($\Delta T(u-r)_{max}$) establecida por Oke (1973) para ciudades europeas (según la expresión $\Delta T(u-r)_{max} = 2,01 \cdot \log P - 4,06$), se obtiene un valor de 7,5° que es superior a los datos que estamos analizando y los registrados durante el trabajo de campo, como a continuación se verá.

La configuración de la isla de calor

Aparte del observatorio del INM utilizado en este trabajo, Zaragoza no cuenta con una red de estaciones meteorológicas adecuada para abordar el estudio climático de la ciudad en su conjunto. La reciente instalación de estaciones de vigilancia de la contaminación con registros de datos climatológicos, aunque no siguen las mismas normas de emplazamiento que los observatorios convencionales, ha de ser de gran ayuda para la continuación de nuestro estudio en el momento en que se tengan suficientes medidas permanentes. Estas carencias se suplen con la técnica de los recorridos y transectos, de amplio uso para el estudio del clima urbano y considerada como una de las más adecuadas para conocer la configuración de las temperaturas en el interior de la ciudad. Con tal fin se diseñaron varios perfiles según las principales direcciones de desarrollo de Zaragoza y se seleccionaron diferentes puntos de observación. En conjunto, los transectos alcanzan una longitud de 80 Km. y en ellos se distribuyeron un total de 82 puntos de medida de las temperaturas que de forma entrelazada cubren toda la ciudad y las salidas al medio rural. Las observaciones han sido sobre todo nocturnas, y aproximadamente entre cuatro y cinco horas después de haberse puesto el Sol, con el fin de observar el momento de máxima intensidad de la isla de calor. Las mediciones se efectuaron con dos termohigrómetros digitales Hanna, modelo HI-8564, con sondas de ambiente instaladas en el techo de sendos automóviles.

El análisis de los resultados obtenidos del trabajo de campo permiten constatar la existencia de una isla de calor nocturna, que fluctúa para situaciones atmosféricas variables, y que alcanza su máximo en días anticiclónicos invernales en torno a los 5°.

Su disposición pone de manifiesto un sector central más cálido que engloba el Casco Viejo y la Zona Centro. Aquél presenta una morfología de calles estrechas con edificaciones no muy altas, mientras en la Zona Centro predominan edificios más altos, calles más anchas y con tráfico más denso, y alta ocupación del espacio. Este sector de más alta temperatura se localiza exclusivamente en la margen derecha del Ebro.

En torno a este núcleo las temperaturas disminuyen paulatinamente, ajustándose al área edificada, con un cierto desplazamiento hacia el SE y prolongación hacia los barrios rurales (caso de St.^a Isabel-Montañana al NE) y las zonas industriales, que de forma radial se instalan en torno a las carreteras de Barcelona y Alcañiz.

Un comportamiento particular parece observarse al Sur de la ciudad, alrededor de la mencionada zona verde de los Pinares de Venecia. En este sector las

mediciones permiten suponer una elevación de las temperaturas, posiblemente debido a la influencia ejercida por esta masa vegetal. No obstante, este aspecto entra en cierta contradicción con el comportamiento de zonas verdes constatado en otros trabajos de clima urbano; es, por tanto, un particular sobre el que vamos a profundizar y para cuya explicación disponemos tan sólo de hipótesis no suficientemente contrastadas para ser expuestas ahora.

De forma general, se hace patente un cierto desplazamiento de la isla térmica hacia el SE, lo cual supone que la dinámica atmosférica local está determinada por la dirección regional, cuya característica general son los ya citados flujos dominantes del Noroeste. Asimismo, la disimetría del Valle de la Huerva, más escarpado en su margen derecha, condiciona la acumulación de aire procedente del NO, provocando una lengua fría que se introduce por el sector SO de la ciudad.

En este sentido, la presencia de los cursos fluviales no parecen tener una importancia significativa en sí mismos, sino en función de su disposición paralela a los flujos dominantes, en el caso del Ebro, y de su perfil transversal disimétrico, en el caso de la Huerva.

Un ejemplo clarificador es la situación observada gracias a las medidas realizadas entre las 22 y 23 horas del 28 de enero de 1992. Este día transcurrió con cielos despejados y cierzo moderado; en el momento de realizar las mediciones no se detectaba apenas viento, con gran visibilidad y niebla inexistente. Durante los tres días precedentes dominaba en la Península Ibérica una situación anticiclónica centrada en las Islas Británicas que enviaba a nuestra latitud vientos fríos del NE. La noche de la medición, la situación varió ligeramente, instalándose al SO de la Península una pequeña borrasca, las isobaras en el mapa de superficie aparecen más laxas, suavizándose el viento del NE.

Con los datos recogidos se ha elaborado un mapa de isotermas para ese día (Fig. 1) y dos transectos significativos, cuyo recorrido se expresa en un croquis adjunto, así como la localización de algunos puntos de registro de especial relevancia (Fig. 2). En áreas del Casco Viejo y la Zona Centro las temperaturas fueron superiores a 3° (3,9° en la Audiencia y 3,3° en la Puerta del Carmen). Un segundo foco de calor parece detectarse al Oeste del anterior, en torno al populoso barrio de las Delicias (Avda. de Madrid con 3,4°). El progresivo descenso de las temperaturas es más lento hacia el E y SE, según se ha explicado anteriormente; la estela térmica es evidente a lo largo de la salida hacia Alcañiz (Matadero con 3,3°) y en menor medida hacia el NE (Avda. de Cataluña con 1,6°) y el S (Avda. de América con 2,9°).

Los valores más bajos registrados escasamente descienden de -1°, al O, NO y SO. Consecuentemente con la explicación general, la isoterma de 0° es la que

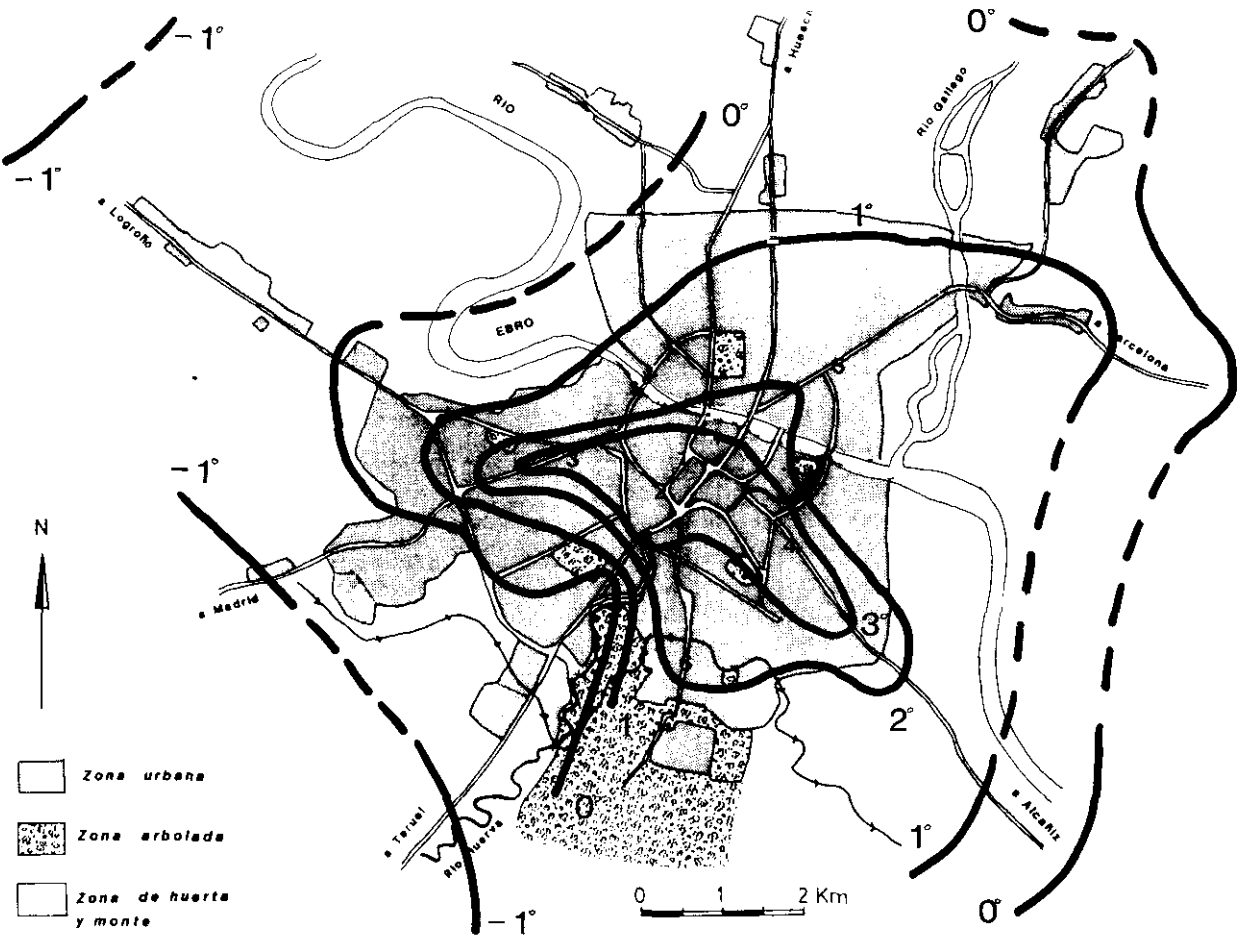


Figura 1

Mapa de isotermas (en °C) del día 28 de enero de 1992, a las 22 horas (TMG) en la ciudad de Zaragoza.

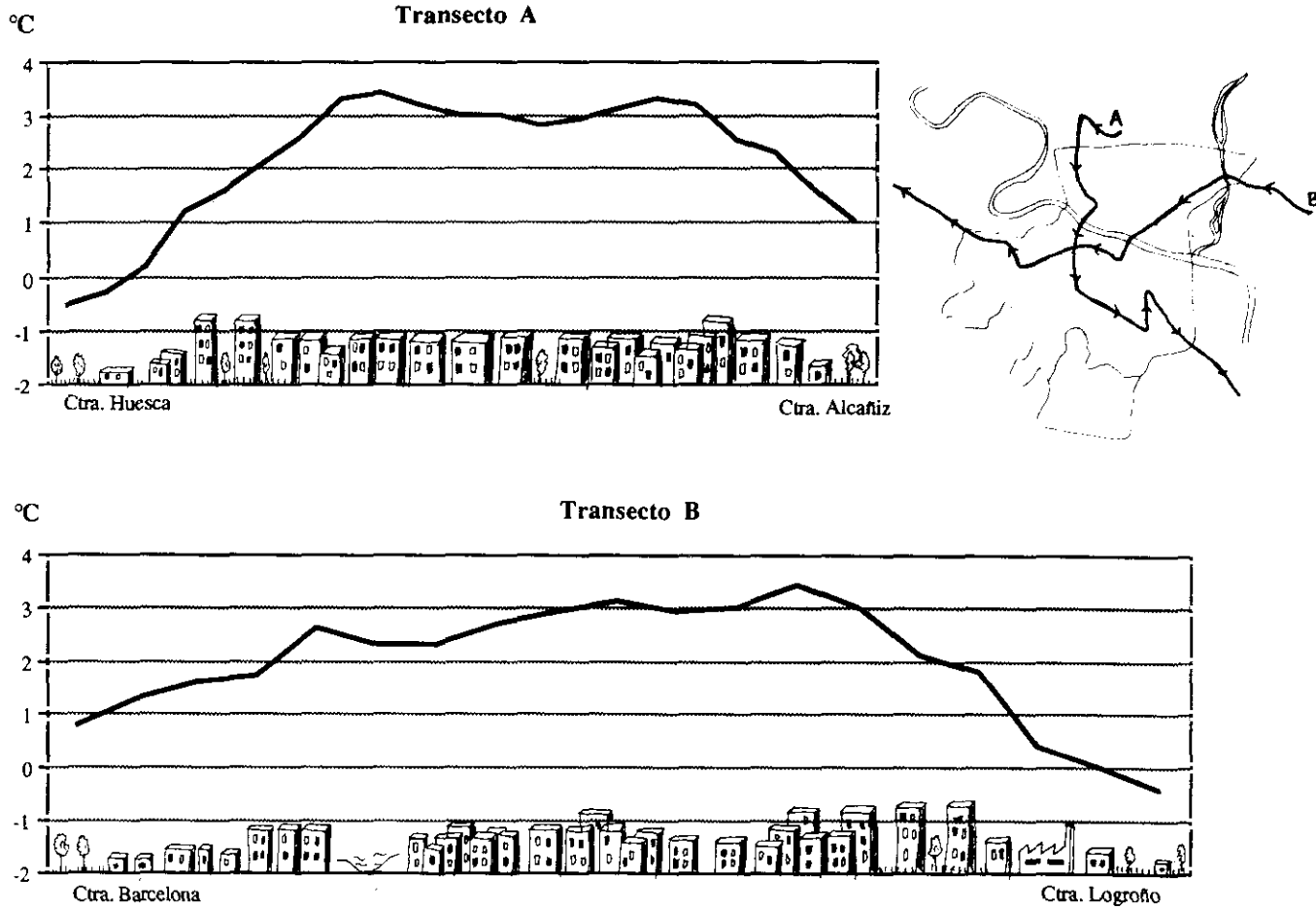


Figura 2

Perfil térmico de los transectos urbanos del día 28 de enero de 1992.

abrazo la ciudad por el E, NE y SE. En resumen, la diferencia térmica observada para este día entre puntos extremos fue de 4,9°.

3. CONCLUSIONES

Los datos analizados demuestran la influencia de la ciudad sobre el clima y ponen de manifiesto la existencia de la isla de calor urbana, cuya intensidad podemos considerar moderada si tenemos en cuenta la extensión y entidad poblacional de Zaragoza, o la relacionamos con otras ciudades españolas. Con los valores anuales se comprueba, en efecto, que la temperatura media de Zaragoza es 0,6° superior a la de su aeropuerto, y por la noche la supera en 1,1°. El fenómeno de la isla térmica es, sobre todo, nocturno; la comparación entre las temperaturas máximas y las mínimas mensuales de ambos observatorios muestran que, en cualquier mes del año, la ciudad es durante la noche más cálida que el aeropuerto, y particularmente en invierno; durante el día los valores se uniforman y no llegan a establecerse diferencias significativas.

Las observaciones realizadas durante el trabajo de campo confirman los rasgos mencionados y proporcionan nueva información de la forma interna del campo térmico urbano. Cuando la isla se da, presenta una configuración aproximadamente concéntrica, o algo alargada en sentido NO-SE, con isotermas cerradas en la parte central de la ciudad y de disposición abierta en su periferia. En situación anticiclónica, con aire en calma, se aprecia de modo claro el máximo térmico en la margen derecha del río Ebro, en torno al Casco Viejo y la Zona Centro, y la disminución paulatina hacia el espacio abierto exterior, ajustándose al área edificada; además se evidencia el desplazamiento de la isla térmica hacia el SE posiblemente determinada por la dinámica atmosférica regional. Con otras situaciones atmosféricas el fenómeno se atenúa, y en días de viento intenso llega a desaparecer.

BIBLIOGRAFÍA

- Carreras, C.; Marín, M.; Martín Vide, J.; Moreno, M.C., y Sabi, J. (1990): «Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona». *Documents d'Analisis Geografica*, 17, pp. 51-77.
- García Ruiz, J.M., y otros (1989): «Organización espacial de las temperaturas en la ciudad de Logroño». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 15, pp. 87-98.
- Goikoetxea, I. (1991): «El medio ambiente urbano en Donostia. Observaciones sobre la isla de calor generada en el medio urbano». *Lurralde*, 14, pp. 143-162.

- López Gómez, A., y Fernández García, F. (1984): «La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano». *Estudios Geográficos*, 174, pp. 5-34.
- López Gómez, A.; López Gómez, J.; Fernández García, F., y Arroyo, F. (1991): *El clima urbano de Madrid: la isla de calor*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 166 pp.
- Martín Vide, J. (1986-87): «Acerca de la medición y la experimentación en Geografía Física. Un ejemplo climatológico: la isla de calor». *Notes de Geografía Física*, 15-16, pp. 21-28.
- Moreno, M.C. (1990): *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Departamento de Geografía Física y AGR. Universidad de Barcelona. Tesis Doctoral (inédita).
- Moreno, M.C. (1991): «La intensidad de la isla de calor de Barcelona. Comparación con otras ciudades españolas». *Alisios*, 1, pp. 47-53.
- Oke, T.E. (1973): «City size and the urban heat island». *Atmospheric Environment*, 7, pp. 769-779.

RESUMEN

Mediante el análisis de las temperaturas de la ciudad de Zaragoza y de su aeropuerto, y los registros efectuados a lo largo de transectos urbanos, se ha pretendido confirmar la existencia de una isla de calor en el área urbana y las características de su configuración interna. Los resultados obtenidos permiten hablar, efectivamente, de un clima urbano, con la presencia de una isla térmica de intensidad moderada y forma concéntrica en torno a un máximo localizado en el Casco Viejo y Zona Centro.

Palabras clave: temperaturas, isla de calor, clima urbano, Zaragoza.

ABSTRACT

The paper analyzes human activities changing the natural environment, especially in the cities where it reaches its highest expression. Its main consequence, the emergence of an «island of heat», is analyzed in an average Spanish city, Zaragoza. It studies the opposition urban center-nearest rural area as well as the city's own inner diversity.

RESUMÉ

On considère la transformation du milieu naturel à cause de action humaine, en concret là où elle atteint son expression maximale, les villes. La conséquence principale de ceci, la création d'une «île de chaleur», est étudiée dans une ville de type moyen espagnole, Saragosse, à travers l'opposition noyau urbain-milieu rural proche, mais aussi à travers la diversité interne de la ville même de Saragosse.