

Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la *isla de calor* en Barcelona¹

Carles Carreras*, Mercedes Marín*, Javier Martín Vide**,
María del Carmen Moreno** y Joan Sabí***

Résumé / Abstract / Resumen / Resum

Cet article est la présentation des résultats initiaux du premier étude empirique sur l'*île de chaleur* à Barcelona. Après l'analyse de la bibliographie internationale sur le thème et son évolution, on présente la méthodologie du travail, basée en la prise de données sur terrain toutes les semaines pendant les années 1985 à 1987, tout au long de cinq parcours, établis à l'avance, à travers l'aire métropolitaine. D'abord, on analyse les caractéristiques morphologiques, environnementales et fonctionnelles des cinq parcours. Après, avec la contrastation des données météorologiques conventionnelles, l'étude des situations atmosphériques et l'analyse de quelques images de satellite, on arrive à conclure l'existence d'*île de chaleur* à Barcelone, avec 6,9 °C d'intensité maximale et avec des configurations et localisations irrégulières.

* * *

This article try to present the results on the first empirical study on the *heat island* in Barcelona city. After the analysis of the internatio-

1. El trabajo sobre el que se ha escrito este artículo ha sido posible gracias a la concesión de diversas ayudas económicas de los fondos de investigación de la Universidad de Barcelona, de la agencia espacial europea Earthnet y del Centre del Medi Urbà del Ayuntamiento de Barcelona. Asimismo se ha contado con el soporte institucional del Institut Cartogràfic de Catalunya y de la sección de Medio Ambiente de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

* Ambos miembros del departamento de Geografía Humana de la Universidad de Barcelona, Baldiri Reixach, s/n, 08028 Barcelona.

** Ambos miembros del departamento de Geografía Física de la Universidad de Barcelona, Baldiri Reixach, s/n, 08028 Barcelona.

*** Miembro del departamento de Geografía de la Universidad Autònoma de Barcelona. 08193, Bellaterra, Barcelona.

nal bibliography and its evolution, the authors present their methodology, based on the field research, weekly made from 1985 to 1987, in five transects throughout the metropolitan area, previously established. First, the main morphological, environmental and functional trends of the five transects are studied. After, the contrast with the conventional meteorological data, the atmospheric conditions and the satellite images information, the presence of the *heat island* in Barcelona is demonstrated, with a 6,9 °C on intensity, and irregular form and location.

* * *

El artículo constituye la presentación de los primeros resultados del primer estudio empírico sobre la *isla de calor* en la ciudad de Barcelona. Tras un análisis de la bibliografía internacional sobre el tema y su evolución, se presenta la metodología del trabajo, que se basa en la toma de observaciones en el campo, semanalmente, durante los años 1985 a 1987, a lo largo de cinco recorridos, previamente establecidos, a través del área metropolitana de Barcelona. En primer lugar, se analizan las características morfológicas, ambientales y funcionales de los cinco recorridos. A continuación, con la contrastación de los datos meteorológicos convencionales, el estudio de las situaciones atmosféricas y el análisis de algunas imágenes de satélite, se llega a la conclusión de la existencia de una importante *isla de calor* en Barcelona, de 6,9 °C de intensidad máxima y de configuración y localización variables.

* * *

L'article presenta els resultats inicials del primer estudi empíric sobre l'existència de l'*illa de calor* a la ciutat de Barcelona. Després de l'anàlisi de la bibliografia internacional sobre el tema i sobre com evoluciona, hom presenta la metodologia que s'hi aplica, basada en observacions directes fetes setmanalment entre els anys 1985 a 1987, al llarg de cinc trajectes a través de l'àrea metropolitana, establerts prèviament. De primer, hom analitza les característiques morfològiques, ambientals i funcionals dels cinc trajectes. Després, contrastant les dades meteorològiques convencionals, les situacions atmosfèriques diferents, i consultant algunes imatges de satèl·lit, hom conclou que hi ha una *illa de calor* important a Barcelona, de 6,9 °C d'intensitat màxima, amb una configuració i localització relativament irregulars.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno urbano a lo largo del presente siglo ha ido acaparando progresivamente la atención del conjunto de las Ciencias Sociales. Su trascendencia económica, social, cultural y política le ha otorgado un lugar privilegiado como tema de estudio de diversas disciplinas; en torno a él se han ido concretando multiplicidad de cuestiones científicas que lo configuran, así como un importante campo interdisciplinario. El doble proceso que implica, de concentración de la población y de expansión espacial sobre un territorio al que va modificando drásticamente, llamó pronto la atención de los estudiosos.

Precisamente esta afectación modificadora de las condiciones previas del territorio sobre el que se implanta, hace que la ciudad tenga la propiedad de ser productora en gran medida de sus propias condiciones medioambientales. Desde esta perspectiva medioambiental, la ciudad se ha constituido en uno de los principales instrumentos contemporáneos de modificación antrópica del medio natural, incluidas las condiciones climáticas.

Sin duda alguna, el reconocimiento de esta capacidad modificadora del clima que tiene la ciudad, por lo menos a escala local e incluso regional, ha colaborado también en el cuestionamiento de la estabilidad climática, cuestión ésta hoy prioritaria en los estudios climáticos de vanguardia. Pero además, el clima urbano, resultado de esta modificación antrópica, constituye las condiciones climáticas reales en las que vive la mayor parte de la humanidad, especialmente en los viejos países industrializados que primero emprendieron su urbanización.

Así, puede decirse que el estudio del clima urbano puede abordarse desde una doble perspectiva: como injerencia antrópica en unas condiciones «naturales», y como afectación climática en el desarrollo de unas actividades humanas. A su vez, participa en una de las cuestiones claves de la ciencia actual: la dinámica del clima como una manifestación fundamental del dinamismo de los sistemas naturales. De ahí que además de su elevado interés aplicado, estas investigaciones en climatología urbana adquieran también una importante trascendencia científica.

EL ESTADO DE LA CUESTIÓN

Dos han sido los aspectos que han interesado más en el reconocimiento de la peculiaridad climática de la ciudad; por una parte, la modificación térmica que implica y, por otra, la contaminación atmosférica que acarrea. Los estu-

dios de la contaminación mayoritariamente han sido objeto de análisis físico y se han visto asociados básicamente a la Meteorología, mientras que el reconocimiento de la modificación térmica se suele identificar más claramente con la Climatología.

La constatación de la existencia de una diferencia térmica, a favor del centro urbano, entre éste y la periferia de las ciudades, es relativamente temprana y se verificó en la ciudad de Londres (Howard, 1818). Estudios posteriores en París y en Viena confirmaron el mismo fenómeno, que en 1958 fue denominado por Manley *isla urbana de calor*. Inmediatamente se observó también que la diferencia térmica llevaba aparejada una diferencia de humedad, en sentido inverso, lo que configuraba la *isla de calor* a la vez como una *isla de sequedad*.

El descubrimiento de este doble fenómeno climático, junto con la publicación de los primeros trabajos generales sobre el clima urbano, así como la celebración en 1968 de un Symposium internacional sobre climas urbanos, promovido por la W.M.O. (W.M.O., 1970), impulsaron las investigaciones de climatología urbana de base local, centradas, sobre todo, en el reconocimiento de la *isla de calor* en distintas ciudades, estudios que eran de metodología relativamente fácil. Hoy puede decirse que la mayoría de las metrópolis mundiales cuenta con estudios climáticos a dos niveles de análisis; uno, inicial con carácter meramente aproximativo y descriptivo, y otro, más reciente, de mayor profundización, en el que se analiza el clima urbano en su complejidad de implicaciones climáticas y urbanísticas, a la vez que se establecen ya, desde distintos modelos de interpretación, relaciones explicativas generales.

La ciudad de Londres fue la primera en atraer la atención de este tipo de investigaciones, ya desde principios del siglo XIX (Howard, 1818), y se ha constituido en ejemplo paradigmático del fenómeno de la *isla de calor* (Chandler, 1961) y de los estudios de clima urbano (Chandler, 1965). También la ciudad canadiense de Toronto tiene un estudio pionero en el mismo sentido (Middleton y Millar, 1936).

No han sido precisamente las ciudades europeas las más estudiadas, a excepción de las británicas, donde el estímulo y magisterio de los trabajos de Chandler han generado escuela; de entre la multitud de estudios de clima urbano en ciudades británicas, cabe destacar los de Plymouth (Millward, *et al.*, 1976), Glasgow (Hartley, 1977) o Birmingham (Unwin, 1980; Johnson, 1985). Sobre otras ciudades europeas pueden señalarse los estudios sobre el clima de París (Dettwiller, 1970; Escourrou, 1986), de Roma (Colacino, 1978, 1980, 1982), de Utrecht (Van Duk *et al.*, 1980), de Cracovia (Morawska-Horawska y Cebulak, 1981) o de Viena (Bernhofer, 1984).

Las ciudades norteamericanas, en general, y las japonesas, en cambio, son las que han sido objeto de mayor número de estudios climáticos. La ciudad de Nueva York cuenta con un estudio inicial sobre la isla térmica (Bornstein, 1968), que se completó más tarde con un estudio de vientos (Bornstein, *et al.* 1972); paralelamente, otros estudios se preocupaban por los temas de la predicción climática (Leahey, 1971 y 1972) y, más recientemente, han tratado de reconocer y fijar la capa límite de afectación de la modificación climática urbana en la ciudad de los rascacielos (Clark *et al.*, 1985). Como Nueva York, la mayor parte de las grandes ciudades de los Estados Unidos cuentan con estudios globales o parciales de clima urbano, aunque vale la pena destacar la ciudad de Saint Louis, con más de diez estudios importantes sobre su clima desde que Clarke y Peterson diseñaran en 1973 un modelo empírico sobre las variaciones espacio-temporales de su *isla de calor*. Toronto (Canadá), quizás por su papel pionero, ha seguido siendo objeto de estudios climáticos, entre los que hay que destacar una valoración de balances energéticos, a cargo de uno de sus especialistas (Yap, 1975). Pero Montreal ha sido la más estudiada de las ciudades canadienses debido a los trabajos de Oke y sus discípulos (Oke y East, 1971; Oke y Maxwell, 1975) cuya bibliografía completa sería prolijo enumerar.

En Japón, el clima de Hiroshima atrajo muy pronto la atención de los estudiosos y cuenta con diversos trabajos de clima urbano, entre los que cabe destacar uno inicial clásico que no tuvo en cuenta la constatación de la peculiar modificación climática de esta ciudad (Shitara, 1957), y una síntesis más reciente (Fukuoka y Nobuyuki, 1980). Tokio figura, lógicamente, entre las ciudades japonesas más estudiadas, con múltiples trabajos de clima urbano (Kayane, 1964; Sasakura, 1965; Nishizawa *et al.*, 1979) y sería demasiado pormenorizado citar las innumerables monografías y estudios especializados sobre los elementos del sistema urbano japonés.

Por el número de estudios deberían citarse a continuación la mayor parte de las ciudades del gran mundo anglosajón, especialmente de la República Sudafricana o de Nueva Zelanda, pero sus aportaciones no difieren de los esquemas presentados hasta ahora. Incluso numerosas metrópolis del llamado Tercer Mundo han sido estudiadas desde este punto de vista. En América Latina destacan la ciudad de México (Jáuregui, 1973), Río de Janeiro (Gallego, 1972; Nishizawa *et al.*, 1983) y, sobre todo, São Paulo con una excelente tesis construida a partir de la información de las imágenes de satélite (Lombardo, 1985). En África destaca el estudio del clima de Nairobi, en Kenya (Okoola, 1979). En Asia dominan los estudios sobre las ciudades indias, entre las

que destaca Delhi (Bahl y Padmanabhamurty, 1979; Padmanabhamurty *et al.*, 1982).

De todos estos estudios se han podido realizar algunas generalizaciones posteriores a escala, por lo menos estatal; tal es el caso de Japón (Fujui, 1964), de Canadá (Thomas, 1971; Nkendirim *et al.*, 1985), de Gran Bretaña (Harrison y McGoldrick, 1981), de la URSS (Chernavskaja, 1985) o de México (Jáuregui, 1987). Paralelamente, ha ido generalizándose también el conocimiento aportado por estas investigaciones empíricas acerca del clima urbano y se han publicado una serie de estudios generales de climatología urbana (Chandler, 1964; Sekiguti, 1965; Lowry, 1967; Peterson, 1969; Terjung 1973; Yoshino, 1975; o Miess, 1979), que progresivamente han ido adquiriendo un desarrollo teórico más profundo (Terjung, 1974; Monteiro, 1976; o Landsberg, 1981).

En la última década, las investigaciones en climatología urbana se han hecho eco de las nuevas interpretaciones sistémicas del clima, a la vez que han ido avanzando en la experimentación de las nuevas técnicas de teledetección y en la formulación de sofisticados modelos matemáticos. Así se han ido imponiendo los estudios de balances energéticos a escala urbana, mientras un nuevo concepto de sistema climático urbano va substituyendo al tradicional clima urbano (Nuñez y Oke, 1977; Ole, 1978; Terjung *et al.*, 1981; Ching, 1985). Especial interés alcanzan también los estudios que intentan establecer relaciones entre el clima urbano y el urbanismo en su doble vertiente, explicativa y aplicada (Nishizawa, 1958; Chandler, 1976; Givoni, 1976, Oke, 1980; Hough, 1984).

En España, todos estos estudios han sido muy escasos, a pesar del pionero artículo de Fontseré de 1921, sobre la distribución de la humedad en la ciudad de Barcelona. Los investigadores del CSIC de Madrid han intentado cubrir esta laguna con una primera publicación (López Gómez, 1988). El trabajo que se presenta debe insertarse dentro de este mismo esfuerzo.²

2. El profesor López Gómez reunió en diversas ocasiones distintos grupos de investigadores de varias ciudades españolas que acordamos métodos y técnicas comunes. La desorganización de la investigación en nuestro país dio el traste con la buena voluntad de los impulsores. Sirva esta nota además para recordar el entusiasmo por el tema del malogrado colega y amigo Luis Miguel Albetosa. A este respecto cabe citar la tesis doctoral presentada por Manuela Brunet Judia en la Facultad de Letras de Tarragona en diciembre de 1989, «Los efectos de la urbanización en el clima local. Un ensayo de climatología urbana. El caso de Tarragona». Recientemente se ha publicado un artículo sobre la organización espacial de las temperaturas en la ciudad de Logroño (GARCÍA RUIZ *et al.*, 1989).

MÉTODO DE TRABAJO

La metodología utilizada para llevar a cabo este trabajo ha consistido en aplicar las técnicas habituales que se vienen empleando en los estudios de climatología urbana, que se acaban de citar. Así, para poder conocer y delimitar claramente el fenómeno de la isla de calor de Barcelona, no era suficiente contar con las observaciones procedentes de los observatorios meteorológicos convencionales, ya que la finalidad principal de éstos es muy distinta en un orden de escala espacial y, por lo tanto, sus datos sólo pueden servir como referencia. De modo que era necesario realizar la observación directa de los elementos climáticos, mediante la toma sistemática de medidas meteorológicas sobre el terreno. Esto se llevó a la práctica con la realización de unos transectos urbanos en automóvil, que permitieron la observación de los datos o medidas térmicas de una serie de puntos previamente seleccionados. Este procedimiento, muy usual actualmente, supuso un avance decisivo en el estudio del clima de las ciudades, siendo utilizado por vez primera, al parecer, por Schmidt en 1930³, en la ciudad de Viena, introduciendo una nueva técnica que, a lo largo de todos estos años, se ha revelado como un instrumento verdaderamente útil y eficaz para el estudio de las diferencias térmicas observadas entre las ciudades y sus alrededores (Martín Vide, 1987).

En una primera etapa de organización general, y aprovechando al máximo la pluridisciplinariedad geográfica del equipo, se diseñaron cinco transectos diferentes, que cruzan el área metropolitana de Barcelona en varias direcciones, cuyas características físicas y funcionales se describen en el siguiente apartado. En conjunto, los cinco transectos alcanzan una longitud de 108 km, que permiten cubrir ampliamente el área objeto de estudio, y a lo largo de ellos se distribuyen un total de 121 puntos de observación, de modo que se dispone de una malla de puntos suficientemente densa, ya que de promedio se cuenta con una observación cada 893 m de recorrido y por cada km², aunque de irregular distribución. Estos cinco transectos se cortan entre sí en diversos lugares de la ciudad, de forma que algunos puntos corresponden a dos o más transectos, con lo cual se puede disponer de varias medidas térmicas e higrométricas de un mismo lugar; este hecho ha sido importante y revelador, ya que suministra un índice sobre la consideración de simultaneidad de las medidas.

El instrumental utilizado para realizar las observaciones ha consistido en dos estaciones termo-higrométricas digitales Hanna (modelo HI-8064), con una sonda, instaladas en los automóviles con que se efectuaron los transec-

3. Citado en LÓPEZ GÓMEZ, 1985.

tos.⁴ Dichos aparatos presentan una baja inercia, por lo que, tal como indican las especificaciones de los mismos, señalando la conveniencia de que exista un flujo de aire durante las mediciones, se usaron con el vehículo en marcha, a una velocidad que, de promedio, puede establecerse en 40 km/h.

Los transectos se llevaron a cabo durante el período comprendido entre octubre de 1985 y julio de 1987, con una periodicidad semanal, siempre que fue posible. Se efectuaron en días laborables hacia media semana, en un horario preferentemente nocturno, hacia las 22,30 h (TMG), como promedio, es decir, unas cinco horas aproximadamente después de haberse puesto el sol, cuando, según la bibliografía analizada, la isla de calor manifiesta su máxima intensidad. En conjunto se han obtenido cincuenta y cuatro fechas en que se han realizado observaciones, habiéndose recogido más de 5.000 datos térmicos y otros tantos higrométricos, aunque estos últimos no han sido aún explotados.

En una segunda etapa, las medidas térmicas recogidas fueron introducidas en ordenador, siendo sometidas a un tratamiento inicial de elaboración estadística, aplicando algunas de las técnicas usuales de la Estadística descriptiva.

Por último, los resultados numéricos obtenidos han sido objeto de una evaluación conjunta, de la cual este artículo constituye una primera muestra. Fundamentalmente, los resultados hallados se refieren al análisis de la distribución espacial del fenómeno de la isla de calor, plasmada en mapas de isotermas y en perfiles térmicos de algunas fechas significativas.

Asimismo, hay que señalar que cada una de las fechas en que se realizaron observaciones ha sido clasificada según la situación sinóptica deducida del análisis de los mapas del tiempo de superficie y las topografías de 500 hPa, hallándose varios parámetros como el valor de la isohipsa y de la temperatura en 500 hPa. También se ha tenido en cuenta la nubosidad y los meteoros producidos en cada una de las fechas, mediante la confección de un exhaustivo diario meteorológico.

Finalmente, hay que aludir también a la aplicación de las técnicas de la tele-detección en el reconocimiento y cartografía de la isla de calor en Barcelona, técnicas, por otra parte, ya conocidas en el estudio de los climas urbanos y de los topoclimas, como se ha visto. Concretamente se ha contado con algunas imágenes en infrarrojo, suministradas por la banda térmica del satélite Landsat 5(TM), cuya información se ha intentado contrastar con la obtenida durante los recorridos correspondientes. Tanto el carácter experimental del análisis

4. Los autores agradecen la colaboración del profesor Dr. Josep M. Rabella, de la Universidad de Barcelona, que diseñó y construyó los soportes y protectores de dichas sondas.

sis, como, sobre todo, la diferencia de horario entre las observaciones en tierra y desde el satélite, no permiten aún extraer conclusiones de esta contrastación.

ASPECTOS FÍSICOS Y FUNCIONALES DE LA CIUDAD DE BARCELONA

El área estudiada comprende el sector litoral de la metrópolis barcelonesa, entre los deltas del Llobregat y Besós, el mar y el macizo de Collserola, penetrando algo hacia el interior de los valles de aquellos ríos, pero sin alcanzar la depresión prelitoral. Este llano habitado se encuentra abierto ampliamente al mar hacia el sudeste, mientras el macizo lo cierra por el noroeste. Los vientos del interior y norte sólo pueden penetrar por los corredores fluviales del Besós y del Llobregat.

En conjunto, esta área estaba ocupada en 1986 por 2.738.870 habitantes, fuertemente interrelacionados social y funcionalmente. El patrón residencial es de alta densidad media, compuesto por tramas de casco antiguo y ensanche esencialmente, con algunos polígonos de grandes bloques en áreas periféricas. Ello da una ocupación bastante continua y compacta del territorio con casas entremedianeras, formando calles corredor, de una altura media entre cinco y diez pisos (entre 15 y 30 m). Los materiales son esencialmente las areniscas miocénicas de Montjuïc para las construcciones anteriores a 1950, más el ladrillo y, en muy pocos casos, el cemento y el vidrio. Las calles están mayoritariamente asfaltadas, con muy pocos ejemplos de adoquinamiento.

Los espacios verdes son escasos, con 195,6 ha, que no alcanzan a representar el 2 % del suelo municipal. Las calles arboladas contienen 100.154 ejemplares: un 56 % son plátanos (*Platanus orientalis*); un 10 %, olmos (*Ulmus pumila*); un 8 %, acacias, (*Robinia pseudoacacia*), y otros de menor importancia.⁵

Dentro de estas características generales, cabe señalar la diversidad de cada uno de los transectos, representativos de los diversos sectores urbanos.

Transversal

El eje fundamental de estos transectos está constituido por el recorrido principal, que recibe el nombre de transversal, con una dirección aproxima-

5. Según el *Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona 1987*, Ayuntamiento de Barcelona, Barcelona, 1988.

da SW-NE, y que tiene su origen en el km 18 de la autovía de Castelldefels, continuando hasta llegar a Barcelona y siguiendo por la Gran Vía y la Autopista Barcelona-Mataró, hasta Montgat, donde tiene su final. Son 34,8 km de longitud, a lo largo de los cuales se reparten 28 puntos de observación. Los primeros diez kilómetros transcurren por las tierras llanas y húmedas del delta del Llobregat, con un primer sector de dunas repobladas de pinos y urbanización turística junto al mar, y un segundo sector de tierras de huerta; por tanto, se trata de un sector abierto a las brisas de tierra y mar.

El sector industrial (fibras artificiales y papel) del Prat de Llobregat inicia las primeras construcciones urbanas que alternan con los servicios y equipamientos, tipología que continúa en el municipio de Hospitalet, tras cruzar el puente sobre el río Llobregat. Se trata de un sector relativamente abierto, pero ya con fuertes impactos de densidad de tráfico, salidas de humos industriales, calefacciones, salidas y llegadas de aviones, etc.

A partir de la llamada plaza Cerdà, se penetra en la trama urbana del ensanche, que alcanza hasta la plaza de las Glorias. Se trata de la calle Gran Vía, de 60 m de anchura, con bloques compactos de 7 a 9 pisos de altura, de uso esencialmente residencial, excepto en el sector central más terciario, y con cuatro hileras de plátanos en los dos bulevares. La dirección de esta recta avenida es casi exactamente SW-NE, cortada por calles regulares de dirección NW-SE, de 20 m de anchura, excepto la calle Urgell de 40 m, y la rambla de Catalunya y paseo de Gracia de entre 50 y 60 m. Estas calles transversales quedan generalmente cortadas en su acceso al mar por la trama del casco antiguo, lo que puede obstaculizar la libre circulación del aire. En este sector cabe destacar la plaza de España, abierta a las influencias del espacio verde de la montaña de Montjuïc y la plaza Tetuán, con algunos árboles, en el cruce con el paseo de Sant Joan (60 m ancho) que la conecta con los jardines del parque de la Ciudadela.

La plaza de las Glorias es un gran espacio abierto, con áreas enjardinadas y densa circulación, punto de unión de la Gran Vía con las avenidas Meridiana, de dirección N-S, y Diagonal, WSW-NNE. Antigua zona industrial, se encuentra hoy en remodelación.

Entre la plaza de las Glorias y el puente sobre el río Besós el transecto discurre deprimido, entre taludes cubiertos de césped pobre y árboles dispersos, y grandes bloques de apartamentos de entre 10 y 15 pisos. A partir del límite municipal de Barcelona, la edificación se abre a las influencias de los vientos del norte que canaliza el valle del Besós; dicha situación se acusa en el puente de la autopista que cruza dicho río.

El resto del transecto es una autopista urbana, ligeramente sobreelevada sobre conjuntos dispares de bloques suburbanos, más densos a la derecha del recorrido, entre la autopista y el mar; transecto abierto, por tanto, a las influencias de la vertiente de la sierra Litoral. El transecto acaba junto al mar, en el municipio de Montgat, en las antiguas instalaciones industriales de UERT.⁶

Litoral

El transecto litoral sigue la dirección NE-SW, más o menos paralelamente a la costa, partiendo de Montgat y finalizando en el monumento a Colón. Desde las instalaciones de UERT, final del transecto 1, se circula por un sector industrial obsoleto, entre la carretera Nacional II y el mar, hoy en total remodelación.

A continuación el trayecto es urbano, de casco antiguo y pequeño ensanche del siglo XIX, con un corto tramo arbolado con dos hileras de plátanos. Algunas calles transversales comunican con el Paseo Marítimo de Badalona. A partir de la plaza Pep Ventura, la carretera es de más reciente urbanización, con bloques residenciales.

Tras cruzar nuevamente el río Besós, se penetra en la trama decimonónica del Pueblo Nuevo, primeramente ocupado por industrias, almacenes y empresas de transporte, y algunos bloques residenciales dispersos. La rambla principal es un paseo urbano arbolado de plátanos de dirección NW-SE, cerrado hacia el mar. De allí se sigue la calle Taulat, junto al muro del antiguo cementerio del Este, poco enjardinado, para terminar en la avenida Icaria, ancha y desarbolada, paralela al mar y circundada de edificios industriales en proceso de demolición, ya que es la sede de la futura villa olímpica.

Un sector ferroviario, abierto, comunica con el Paseo Marítimo de Barcelona, ligeramente sobreelevado sobre la playa. El transecto rodea la trama densa dieciochesca de la Barceloneta, por las calles Almirante Cervera y Paseo Nacional, que limita con las instalaciones portuarias, y acaba en las plazas Pau Vila y de Palau, escasamente arboladas. Finalmente, a través del Paseo de Colón, recientemente remodelado, con palmeras (gen *Phoenix*), sobreelevado sobre el moll de la Fusta, se llega a la puerta de la Paz, espacio abierto al puerto y a las Ramblas.

6. Dichas instalaciones, en la actualidad, ya han sido desmanteladas.

Axial

El transecto axial tiene su origen en el monumento a Colón y atraviesa toda la ciudad en dirección SE-NW, siguiendo el eje Ramblas, paseo de Gracia, hasta llegar a la falda del Tibidabo, al pie del funicular. Desde la puerta de la Paz, junto al mar, se sigue la vía de las Ramblas, paseo de trazado ligeramente irregular, arbolado con dos hileras de viejos plátanos. A través de la plaza de Catalunya, una de las mayores de la ciudad, con varias fuentes de agua y bastante vegetación, con algunas encinas (*Quercus ilex*), se conecta con el paseo de Gracia, amplia avenida de dirección NW-SE, de entre 50 y 60 m de anchura con cuatro hileras de plátanos, localización del centro comercial y de servicios de la ciudad con típicos edificios de ensanche; tras el cruce con la Diagonal, se encuentra totalmente enjardinado y se estrecha para dar paso a la calle Mayor de Gracia. Esta vía es estrecha e irregular, creando un ambiente bastante cerrado, y asciende en altitud sobre el nivel del mar de forma notable, desde los 35 m hasta unos 60 m en la plaza de Lesseps.

Dicha plaza es una superficie elevada, ligeramente enjardinada, que da paso al cruce subterráneo de vías rápidas de tráfico denso. De allí, la ascensión prosigue por la estrecha calle de Bolívar y República Argentina, hasta alcanzar una altitud de unos 125 m en el inicio del paseo de San Gervasio. Este paseo tiene un trazado sinuoso y un denso tráfico. Todo este sector es predominantemente residencia de clases medias altas y clases altas. El transecto asciende por la avenida del Tibidabo, eje central de una reducida ciudad jardín, residencial y de servicios, que conecta pronto con la masa forestal del parque de Collserola, y acaba en la plaza del Dr. Andreu, espacio abierto entre árboles a unos 200 m de altitud, centro de bares y restaurantes, el punto más alto de las observaciones.

Diagonales

El cuarto transecto se inicia en Molins de Rei y, en dirección W-E, atraviesa toda la ciudad y prosigue por la avenida Meridiana, ya en dirección S-N, hasta Montcada i Reixac. El transecto se inicia en el puente de Molins de Rei sobre el Llobregat, en un espacio abierto a las influencias del río y de su valle, y sigue el curso de la autopista en su trayecto hacia Barcelona, que asciende por las terrazas del margen izquierdo del río; el sector contiene huertas residuales e instalaciones industriales y de servicios, así como núcleos residenciales concentrados. A partir del coll de Esplugues se desciende hacia la ciudad a través de la avenida Diagonal, eje que la corta a lo largo de más de 8 km en línea recta, con 60 m de anchura. En su primer tramo se entra en contacto con las

áreas enjardinadas del parque de Cervantes, las zonas deportivas y universitaria y el palacio de Pedralbes, con algunos bloques residenciales aislados de clase alta; se trata de un espacio abierto, con mucho tránsito durante todo el día por ser una de las principales entradas a la ciudad, que desciende suavemente hacia el centro.

A partir del palacio de Pedralbes, la vía contiene dos bulevares y, en su mayor parte, seis hileras de árboles. La plaza de María Cristina está abierta por el cruce del primer cinturón de ronda y constituía un importante centro financiero, comercial y de negocios. Tiene continuidad casi hasta la confluencia del paseo de Gracia. Cabe destacar los espacios abiertos aún existentes entonces, enjardinados y con superficies de agua como los de Piscinas y Deportes y plaza Francesc Macià, la calle es más cerrada, con cuatro hileras de árboles, ensanchándose sólo en los cruces con las principales avenidas transversales (Paseo de Gracia, de San Juan y Carlos I). En los últimos sectores es esencialmente residencial.

A partir de Carlos I, la Diagonal desciende de nivel en un espacio abierto y de comunicaciones, con la salida a la superficie de la vía férrea. Por un paso elevado se cruza la ya descrita plaza de las Glorias y se enlaza con la avenida Meridiana, de dirección S-N en todo su primer tramo. Se trata de una autopista urbana, con semáforos y sin arbolado, cerrada a ambos lados por hileras de bloques de 10 pisos, residencia de clases media y baja. A partir del cruce con el pasco de Fabra i Puig, la avenida cambia de orientación y se abre, especialmente en el sector occidental, con la presencia de los antiguos terrenos de RENFE, en remodelación; el sector oriental es el barrio obrero de Sant Andreu, que se abre hacia el valle del Besós a partir de los cuarteles de Bailén. La avenida es ya autopista rápida que se va bifurcando en las diversas salidas de la ciudad.

El transecto sigue por la carretera nacional 152, en el valle del río Besós, a través de áreas abiertas de almacenes, grandes industrias y algunos núcleos residenciales obreros. Antes de entrar en el municipio de la Llagosta, acaba el transecto, en campo abierto, entre áreas industriales de la periferia barcelonesa.

Periférico

El último transecto, periférico, rodea la ciudad en dirección NE-SW, aproximadamente, desde Nou Barris hasta Esplugues, siguiendo la falda del Collserola; desde allí da un giro hacia el E, siguiendo la carretera de Sants y el Paralelo, hasta el monumento a Colón. Este transecto es el más irregular, ya que bordea el sector occidental de la ciudad, entre los 100 y 130 m de altitud, a tra-

vés de áreas residenciales de muy distinto contenido social, para acabar cruzándola en dirección W-E hacia el puerto, en un recorrido de 20 km.

Se inicia en la calle de la Fosca, entre las viviendas obreras de protección oficial de la Trinitat Nova y asciende al nivel de la vía Julia, que, al realizarse las observaciones, estaba en obras de remodelación por el inicio de plantío de palmeras. La plaza de Lluchmajor era un espacio abierto al cruce de avenidas y a las influencias del parque de la Guineueta. Por el paseo de Valldaura, entonces aún desarbolado, ancho de casi 50 m y abierto entre polígonos residenciales de clase media baja, se asciende a la plaza Karl Marx, gran espacio abierto, sobre el futuro segundo cinturón, en contacto con la vertiente de Collserola.

Se prosigue por el paseo del valle de Hebrón, en obras, abierto sobre la ciudad, junto a sectores de servicios (hospitales, escuelas), espacios verdes y abiertos y grandes polígonos residenciales. A partir del antiguo orfelinato Ribas, el paseo queda cerrado también a levante por las colinas del Carmelo, iniciándose un trayecto más urbano, hasta el cruce del antiguo barranco dels Penitents, donde vuelve abrirse. Con ello se produce un cambio social en la residencia, de clase media a media alta y alta. Se sigue el ya descrito paseo de San Gervasio, que se continúa por el de la Bonanova. Se trata de calles cerradas de antiguas residencias unifamiliares y bloques modernos de residencia y equipamientos escolares. Se cruza la plaza de Sarrià, antiguo centro del barrio homónimo, y se sigue por el paseo de la reina Elisenda de Montcada, de edificación mucho más abierta y mayor presencia de jardines, hecho que continúa y aún acentúa en la carretera de Esplugues. En las proximidades del parque de Cervantes se cruza la ya descrita avenida Diagonal y se conecta, en el municipio de Esplugues, con la carretera nacional II, hacia Barcelona. A través de un cambio de sentido enjardinado y a distinto nivel se enlaza con este eje de dirección W-E casi exacta.

El primer tramo de dicha carretera es abierto, con áreas industriales, equipamientos (camping, cementerio) y descampados, excepto los bordes de Hospitalet de Llobregat, de trama más cerrada y residencia obrera. A partir del cementerio de Sants, la carretera se convierte en calle urbana cerrada, con edificios residenciales de altitud irregular, que cruza los barrios populares de Collblanc, Sants y Hostafrancs. Se cruza la calle Brasil, donde transcurre subterráneamente el primer cinturón, y la plaza de Sants, algo abierta, sobre las vías soterradas del ferrocarril. Este eje tiene un tráfico denso durante las horas del día por conectar con las áreas industriales del Baix Llobregat y ser centro comercial de gran importancia. La plaza de España, ya descrita, da

paso al Paralelo, vía urbana de contacto entre el ensanche y la trama de casco antiguo del Poble Sec, que conecta con el puerto.

LA ISLA DE CALOR DE BARCELONA

El análisis de los datos registrados en el conjunto de los recorridos comentados permite comenzar a conocer con precisión la *isla de calor* barcelonesa en cuanto a su intensidad, a su configuración y distribución espacial o, más específicamente, a la localización de su máximo térmico.

A modo de introducción general al caso de estudio, la intensidad o diferencia entre valores máximos y mínimos medidos depende fundamentalmente, como es obvio, de las condiciones meteorológicas del momento de la observación, así como de las horas precedentes, que, en último término, están influidas, en diferentes grados, por la situación sinóptica. La forma o configuración de la *isla de calor*, reflejada por la disposición de las isotermas, tiene un menor nivel de dependencia de las condiciones meteorológicas particulares, ya que viene sobre todo inducida por la trama y las características urbanas y periurbanas de la ciudad, que acaban de describirse. Finalmente, la distribución en el espacio de los valores, con especial atención a la localización del máximo, se ve determinada por la morfología y las funciones urbanas, como es evidente; por ciertas condiciones meteorológicas, como las eólicas,⁷ y por la estación del año.

Intensidad

La intensidad de la *isla de calor*, definida usualmente como la máxima diferencia observada en las temperaturas entre el centro urbano y el espacio no urbanizado circundante, en un instante determinado, a lo largo de una noche o en cualquier otro período de tiempo, exige ciertas precisiones. En primer lugar, si de lo que se trata es de evaluar la alteración térmica que provoca el medio urbano, habrá que «igualar» ciertos factores físicos o corregir su distinta influencia entre el centro y la periferia. Tales factores son, fundamental-

7. Con posterioridad a la realización del trabajo de campo del estudio, el Instituto Nacional de Meteorología ha instalado diversas estaciones eólicas automáticas en Barcelona, de cara al análisis del impacto sobre la celebración de los Juegos Olímpicos de 1992; la contrastación con los datos que empiecen a suministrarse puede añadir interesantes consideraciones al trabajo realizado.

mente, en el caso de estudio, la altitud y la continentalidad. Los puntos del área no urbana cuya temperatura sirve de contraste con la del interior urbano han de poseer una altitud y una distancia al mar similares a los de éste, so pena de que parte de la diferencia observada sea debida a esa influencia desigual de los factores citados. Es bien conocido, en el sentido de la precisión reseñada, el esquema de Lowry (1967), en el que $M_u = C + L_u + U$, siendo M_u , o valor medido de una variable meteorológica en la ciudad, suma de C , la componente propia del clima de la región en la que se localiza la ciudad, más L_u , la contribución de los factores locales (topografía, masas de agua, etc.) del enclave urbano, más U , la alteración producida por la urbe; y $M_r = C + L_r$, con M_r , o valor medio de la misma variable meteorológica en el medio rural, suma de C más L_r , la contribución de los factores locales del lugar no urbano. De donde la alteración producida por la urbe puede evaluarse como

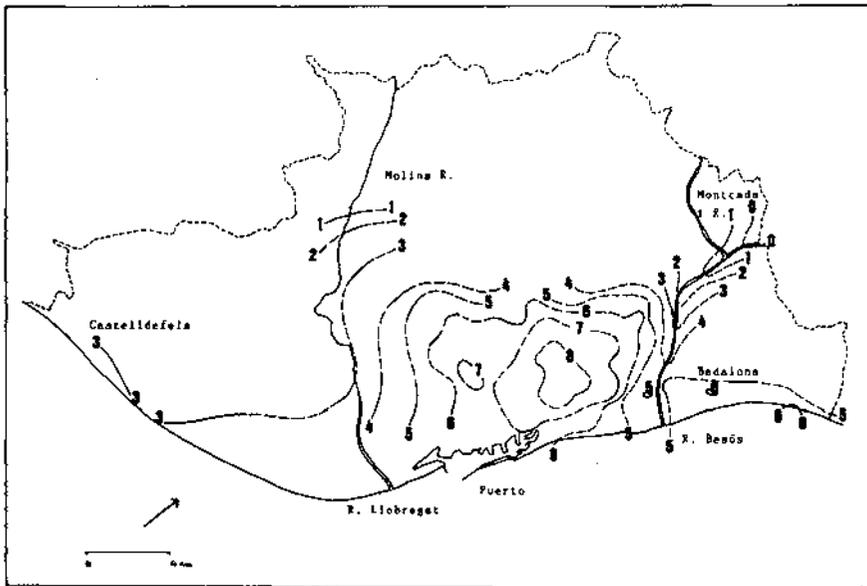
$$U = M_u - M_r$$

es decir, la diferencia entre los valores medidos dentro y fuera de la ciudad, sólo si $L_u = L_r$.

De los cinco transectos recorridos, el número 1 o transversal cumple la última condición, dado que la altitud de todos sus puntos (entre ellos los de observación) no supera los 30 m sobre el nivel del mar, y la distancia a éste se mantiene entre unas decenas de metros y unos 5 km (esta cifra en el delta del Llobregat, que por suponer una amplia apertura sin obstáculos al mar no contribuye a un aumento significativo de la continentalidad). De todas formas, por si este factor pudiera tener influencia apreciable, siempre se ha evaluado la intensidad de la *isla de calor* no sólo con la diferencia entre los valores máximo y mínimo registrados a lo largo del transecto, sino también, y fundamentalmente, en los siguientes análisis, mediante la establecida a partir de los valores registrados en dos puntos fijos: el km 18 de la autovía de Castelldefels, comienzo del recorrido, muy próximo al mar y a escasos metros sobre él, y el cruce paseo de Gracia-Gran Vía, en el eje central que supone la primera vía, a unos 25 m sobre el nivel del mar y a 1,6 km de las aguas del puerto de la ciudad.

Un segundo aspecto a precisar es el de la simultaneidad de los registros; obviamente éstos no pueden ser simultáneos. En el caso de estudio, la posición litoral de Barcelona, con la atenuación de la oscilación térmica que ello comporta, permite considerar como cuasi-simultáneas las medidas tomadas en un buen número de los recorridos, y especialmente a lo largo de cada transecto. La media hora o poco más (entre 30 y 40 minutos) que, de promedio, dura el trayecto del transecto número 1, impone, en general, escasas diferencias. No

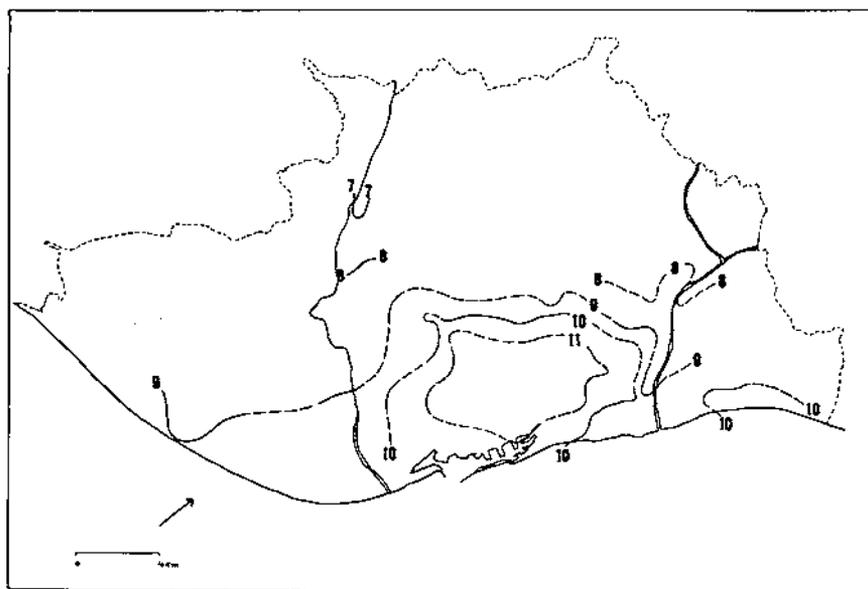
Mapa 1. Isotermas, en °C, del día 12 de febrero de 1986, a las 21 h 35 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. Las isotermas revelan una bien conformada isla de calor, de más de 5 °C de intensidad, entre puntos comparables, y hasta de más de 8 °C entre la derecha del Ensanche barcelonés y el extremo septentrional del área. La configuración general es concéntrica, con un máximo secundario en el barrio de Sants. El viento estaba en calma, el cielo despejado y la presión era superior a la normal, condiciones que favorecían el desarrollo del fenómeno. Los ligeros flujos de componente norte se traducían en la clara conformación del río Besòs como canal frío y en unos gradientes térmicos horizontales altos en la salida norte de la ciudad de Barcelona. El «islote» cálido de Badalona también quedaba dibujado.



obstante, sólo han sido tratados como cuasi-simultáneos y se han dibujado mapas de isotermas de aquellos recorridos en los que en las intersecciones de los transectos se midieron temperaturas similares (diferencias inferiores a medio grado centígrado).

De los 49 grupos de observaciones disponibles a lo largo del transecto número 1, la máxima diferencia registrada fue de 6,9°C, precisamente entre los puntos fijos mencionados. Correspondió al 6 de noviembre de 1986, con horas de comienzo y final del transecto, las 21:49 h y las 22:19 h (TMG), respectivamente, y con valores de 7,9°C y 14,8°C. Esta diferencia de prácticamente 7°C queda próxima a los poco más de 8°C que, siguiendo a Oke (1978), cabría esperar como máxima intensidad de la *isla de calor* de una área metropoli-

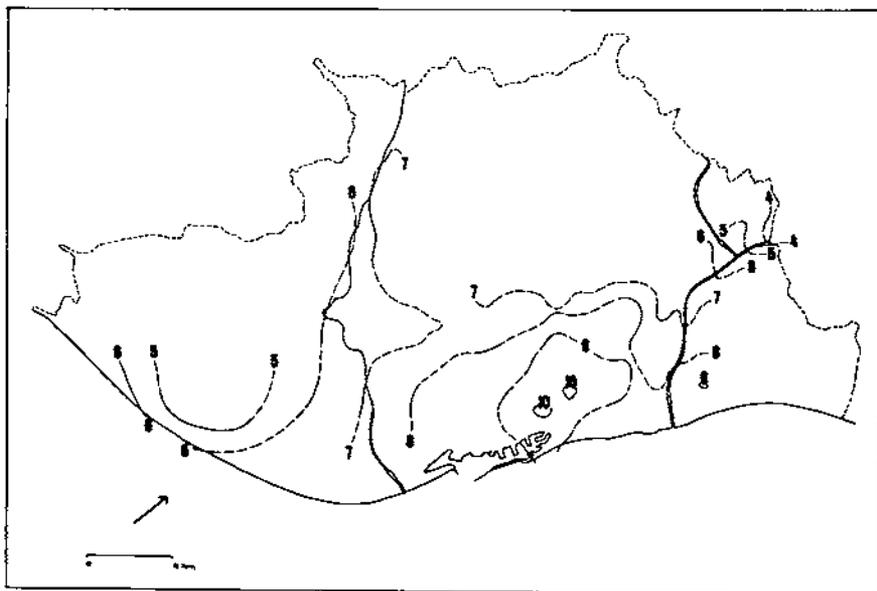
Mapa 2. Isotermas, en °C, del día 26 de febrero de 1986, a las 23 h 05 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. Con sólo 2 °C de intensidad, la isla de calor barcelonesa quedaba relativamente bien dibujada, con una extensa meseta térmica, la abrazada por la isoterma de 11 °C, desde el puerto hasta la parte alta de la Diagonal. La presión rondaba la normal, con cielo con 4/8 de nubes bajas, lo que debió limitar la intensidad del fenómeno, y viento flojo.



tana europea del tamaño demográfico de la barcelonesa. Entre los puntos fijos, en una ocasión alcanzaron 6,0°C de diferencia, el 23 de diciembre de 1985, en observación matinal, de 9:00 h a 9:34 h (TMG), y en otras, diferencias de 5,8°C (diciembre de 1986), 5,4°C (dos casos, enero y noviembre de 1986), 5,3°C (diciembre de 1986) y 5,0°C (enero de 1986). En cuatro fechas las diferencias entre los puntos fijos rebasaron los 4°C sin llegar a los 5°C (enero, febrero –dos veces– y noviembre). En otras cuatro fechas las diferencias estuvieron comprendidas entre 3°C y 3,9°C (octubre, noviembre, febrero y marzo); en diez, entre 2°C y 2,9°C; en catorce, entre 1°C y 1,9°C, y, finalmente, en una decena no se alcanzó el grado de diferencia, aunque siempre el punto de observación urbano presentó una temperatura más alta que el de la periferia.

Aunque el número de recorridos no está equitativamente repartido según los meses, sobre todo por no haberse efectuado observaciones en pleno ve-

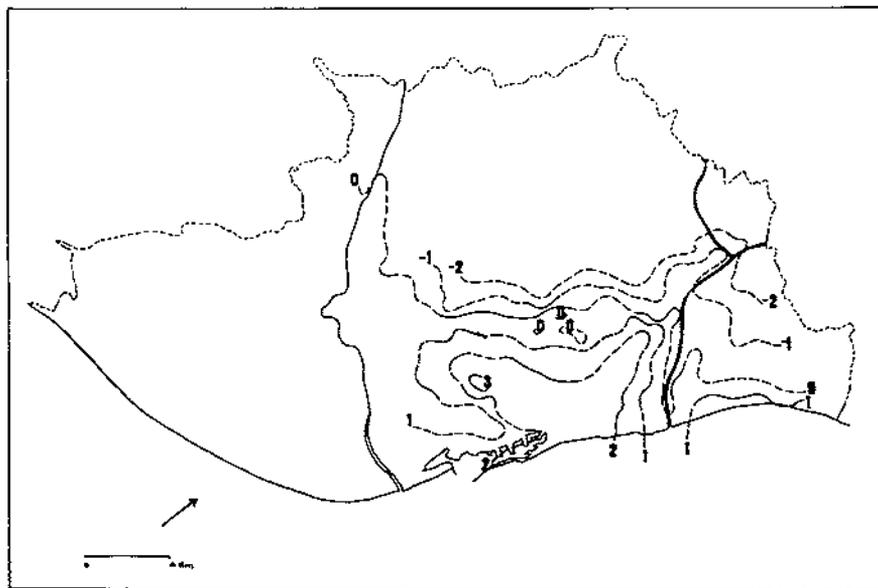
Mapa 3. Isotermas, en °C, del día 19 de febrero de 1986, a las 22 h 35 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. Una presión atmosférica de 1007 mb y un viento moderado del cuarto cuadrante no impidieron, con cielo entre poco nuboso y casi despejado, la existencia de más de 4 °C de intensidad de isla de calor y una forma algo abierta hacia la fachada marítima y relativamente laxa.



rano, de lo anterior puede deducirse que la máxima intensidad de la *isla de calor* en Barcelona se da en el período de noviembre a febrero, ambos meses inclusive.

De los historiales meteorológicos de las fechas con las mayores intensidades del fenómeno (las once en que se registraron diferencias entre los puntos fijos superiores a 4°C), resalta el hecho de que durante los recorridos el cielo se presentó despejado o casi despejado (a lo sumo 1/8 de nubosidad) en ocho ocasiones y en una más con una nubosidad de 3/8. Sólo en dos casos el cielo estuvo casi cubierto (7/8). El predominio de géneros nubosos correspondió a las nubes medias y altas, particularmente *Alto cumulus* y *Cirrus*. En varias ocasiones se observaron *Stratocumulus*, pero en muy pequeña cantidad. En las horas previas a las observaciones, cuando éstas fueron nocturnas, el cielo en general presentó una mayor nubosidad, pero predominantemente del mismo tipo, medio y alto. El viento, durante los recorridos y en las horas precedentes

Mapa 4. Isotermas, en °C, del día 20 de noviembre de 1985, a las 6 h 00 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. La situación sinóptica era de «ola de frío» o advección del nordeste, lo que queda claro con los valores de helada en la parte alta de Barcelona y en el interior del área metropolitana. El viento era muy flojo del nordeste y el cielo estaba casi despejado. La configuración de las isotermas es en «araña», abiertas hacia el mar. El apretado barrio de Sants, a sotavento de los flujos fríos, y con su eje viario principal aproximadamente perpendicular a ellos, registraba el máximo térmico. Las isotermas, por otra parte, seguían, con bastante fidelidad, las curvas de nivel.

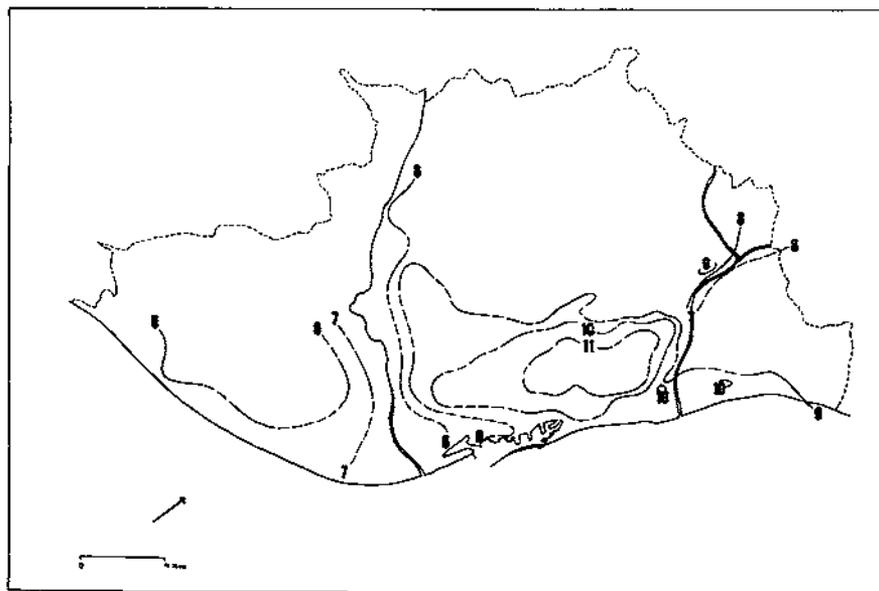


a ellos, mostró velocidades bajas, o incluso estuvo en calma, con una sola excepción, en que fue moderado. En este caso se dio un chubasco antes de la observación, al paso de un frente del oeste. Finalmente, en una ocasión hubo neblina durante el recorrido.

Configuración

La trama y las diferentes características intraurbanas descritas y el propio enclave del área metropolitana condicionan la configuración o, mejor, las configuraciones de la *isla de calor*. En el caso de Barcelona, considerando las formas que se comentan, conviene recordar: 1) se trata de una ciudad y área metropolitana notablemente compacta, sin apenas espacios interiores verdes,

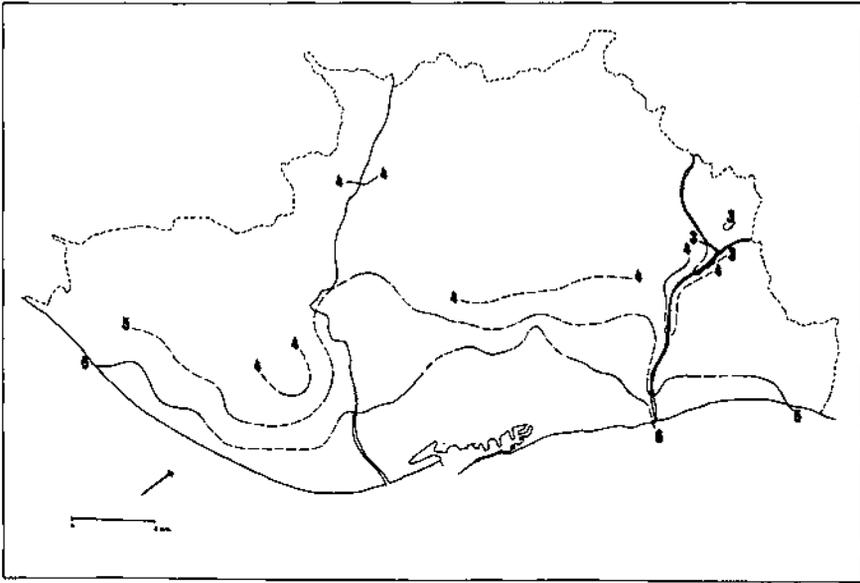
Mapa 5. Isotermas, en °C, del día 16 de enero de 1986, a las 6 h 25 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. Con presión de 1020 mb, ligero flujo del norte y cielo casi despejado se alcanzaban más de 5 °C de intensidad de isla de calor y una forma de meseta con fronteras muy bien marcadas.



ríos u otras áreas no edificadas; 2) es una ciudad costera, con uno de sus lados más largos paralelo, que no adosado, a la línea litoral; y 3) gran parte de la ciudad se extiende por un llano aislado del interior salvo por dos valles fluviales periféricos.

A partir de los mapas de isotermas construidos pueden señalarse las siguientes características sobre la configuración de la *isla de calor* barcelonesa: 1) suele presentar, cuando existe, sea intensa o débil, una forma general concéntrica, al menos en sus isotermas nucleares, con centro en el Ensanche, aunque a menudo incluso la isoterma central queda algo abierta hacia el puerto; 2) sólo en los casos en que apenas es significativa (menos de 2°C de intensidad) o bajo advecciones intensas del norte o del nordeste, las isotermas, dibujadas de grado en grado, no se cierran sobre el centro de la ciudad, siguiendo aproximadamente las curvas de nivel o presentándose en forma de «araña» abierta hacia el mar; 3) frecuentemente se da un área de meseta térmica, es decir, un espacio amplio con los valores más altos; 4) el Ensanche, y otros

Mapa 6. Isotermas, en °C, del día 29 de enero de 1986, a las 22 h 40 m (TMG), en el área metropolitana barcelonesa. Bajo una advección del noroeste, con cielo cubierto, viento flojo a moderado y precipitación durante la observación, las isotermas indican claramente, por su disposición aproximadamente paralela a la costa, la no existencia, aquella noche, del fenómeno de isla de calor.



barrios próximos, muestran una muy notable homogeneidad térmica en un alto número de casos; 5) es perceptible el efecto de frontera, especialmente en el lado norte, reforzado ahí por el hecho de que en esa dirección aumenta la distancia al mar y se produce el tránsito entre unidades fisiográficas distintas, desde el llano litoral a la depresión prelitoral, con una mayor continentalidad; 6) el río Besós se comporta como un canal frío, propiamente, canalizando aire más frío que el de sus alrededores desde el interior hacia la costa, como se advierte bajo advecciones del norte o del nordeste, y, de un modo relativo, al erigirse en divisoria entre el núcleo cálido del municipio de Barcelona y los islotes o islas térmicas de Badalona y otros municipios situados en su margen izquierdo; y 7) se dan, en el transecto número 1, con cierta frecuencia, especialmente en las fronteras térmicas, gradientes superiores a 1°C/km, e incluso llegan alcanzarse los 2°C/km, junto al canal del Besós, particularmente.

Localización del máximo

A partir de las observaciones efectuadas, y de los correspondientes análisis, puede afirmarse que el núcleo más cálido del área barcelonesa, con existencia de *isla de calor* intensa o débil, se sitúa en el Ensanche y parte alta del casco antiguo, englobando frecuentemente los sectores próximos de los barrios de Gracia, Sants y otros limítrofes. Dentro de esta amplia área, el máximo térmico se situaría, de promedio, y con mayor frecuencia, entre la parte alta de las Ramblas, el paseo de Gracia, la plaza de Tetuán y la Diagonal, es decir, coincidente en gran medida con la llamada Derecha del Ensanche. Según la situación sinóptica y la dirección del viento, si éste es moderado o fuerte, el máximo se desplaza algo a sotavento del flujo dominante. Así, el máximo se ha localizado, bajo una advección del nordeste-norte, en el barrio de Sants, dado que queda alejado de la penetración de los fríos flujos de esa componente, y se ve abrigado, además, por lo que respecta al eje del barrio, la carretera de Sants, por su dirección casi perpendicular al flujo. Según la estación del año, parece notarse una migración estacional del máximo, más próximo al puerto en otoño, con las aguas mediterráneas aún cálidas, y dentro del Ensanche durante el resto del año.

PRIMERAS CONCLUSIONES

En primer lugar, cabe señalar que se trata de la primera investigación sobre la *isla de calor* que se ha realizado en la ciudad de Barcelona. A pesar de la tradición de este tipo de estudios, la recogida de datos empíricos para observar la realidad del clima sentido por la mayor parte de la población es de por sí un tema interesante. Con el paso del tiempo, el rigor de las nuevas informaciones y la mayor regularidad de los datos permitirá matizar más, sin duda, lo que aquí se aporta.

En segundo lugar, cabe señalar también el interés de la colaboración en el trabajo práctico y en el teórico de geógrafos formados en las a menudo opuestas tradiciones física y humana. La disparidad de algunos criterios no empaña la enorme complementariedad de los enfoques y puntos de vista desarrollados durante los años del trabajo, así como la riqueza del análisis y de las conclusiones.

En otro orden de cosas, es importante concluir también que el trabajo de campo desarrollado ha mostrado una excelente técnica de investigación y de aprendizaje, a la vez. Igualmente, el instrumental utilizado ha hecho patente su total adecuación a los fines propuestos. Ello se refleja en el alto número de

observaciones que se han conseguido en esta primera aproximación al estudio de las alteraciones térmicas urbanas en Barcelona. Es obvio que este tipo de estudios es complementario de los clásicos estudios del clima y del tiempo, basados en el estudio de las series meteorológicas convencionales, que no deben de ninguna forma ser desplazados. El acercamiento a las condiciones de la vida cotidiana es un nuevo enfoque que no debe substituir, sino complementar todo tipo de aproximaciones al conocimiento de la compleja realidad social y medioambiental que nos rodea.

La más importante de las conclusiones del trabajo es, por supuesto, que la *isla de calor* existe en Barcelona, a pesar de las alteraciones que produce su condición de ciudad litoral. Se ha demostrado un máximo de 6,9°C, mientras que la forma concéntrica de las isothermas, con los efectos de meseta y araña basados en un fuerte gradiente térmico y la aparición de fronteras claras, muestra una configuración normal a la estudiada en la mayor parte de los trabajos precedentes. La localización de esta *isla de calor* en el sector de la derecha del Ensanche muestra también la centralidad del fenómeno, añadiendo nuevas dimensiones a la dialéctica centro-periferia que tanto ha significado en la dinámica del espacio interno de nuestras ciudades.

Finalmente, como en toda investigación, cabe señalar que el trabajo ha sido empezado, pero necesita ser continuado. Por un lado, existen todos los datos higrométricos, que hasta hoy no han sido explotados. A pesar de su paralelismo con los datos térmicos, un análisis detallado podría aportar nuevos conocimientos sobre esta variable tan sensible en la vida humana. Por otro lado, las imágenes de satélite de que se dispone, y las nuevas que pueden conseguirse, pueden permitir en breve el diseño de una cartografía térmica de la ciudad durante las horas de sol, que complementaría la información conseguida hasta ahora. Finalmente, el esfuerzo teórico y metodológico que ha desarrollado el equipo ha sido un acicate para nuevos trabajos, entre los que en breve se va a producir una tesis de doctorado centrada en el estudio detallado de la isla de calor y las modificaciones térmicas en la ciudad de Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

- BAHL, H.D. y PADMANABHAMURTY, B. (1979), «Heat island studies at Delhi» in *Mausam*, Poona.
- BERNHOFER, C. (1984), «Jahreszeitliche und tagliche Variationen einer städtischen Wärmeinsel auf Grund von topographie und Windverhältnissen» in *Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology*, Wien.
- BORNSTEIN, R. (1968), «Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City» in *Journal of Applied Meteorology*, Boston.

- BORNSTEIN, R., LORENZEN, A. y JOHNSON, D.S. (1972), «Recent observations of urban effects on winds and temperatures in and around New York City» in *American Meteorological Society*, Boston.
- CLARK, E.C., BORNSTEIN, R.D. y TAM, Y.T. (1985), «Current and potential anthropogenic moisture effects on the New York City planetary boundary layer» in *Journal Air Pollution Control Association*.
- COLACINO, M. (1978), «Infrared Radiometric Measurements for the study of Rome Urban heat island» in *Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology*, Wien.
- COLACINO, M. (1980), «Some observations of the urban heat island in Rome during the summer season» in *Nuovo Cimento*, Bologna.
- COLACINO, M. y CAVAGNINI, A. (1982), «Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analyses» in *Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology*. Wien.
- CHANDLER, T.J. (1961), «The Changing form of London's Heat Island» in *Geography*, London.
- CHANDLER, T.J. (1964), «City growth and urban climates» in *Weather*, London.
- CHANDLER, T.J. (1965), *The Climate of London*, Hutchinson & Co., London.
- CHANDLER, T.J. (1976), *Urban Climatology and its relevance to Urban Design*. WMO technical Note, Geneva.
- CERNAVSKAJA, M.M. (1985), «The air temperature trend in some of the largest cities of the URSS» in *Izvestija Serija Geograficheskaja*. Moskva.
- CHING, J.K.S. (1985), «Urban-scale variations of turbulence parameters and fluxes» in *Boundary-Layer Meteorology*, Dordrecht.
- DETTWILLER, J. (1970), «Deep soil temperature trends and urban effects at Paris» in *Journal of Applied Meteorology*, Boston.
- ESCOURROU, G. (1986), «Le climat de l'agglomération parisienne» in *L'Information Géographique*, Paris.
- FONTSERÉ, E. (1921), «Distribució altimètrica de les humitats mitjanes des del port de Barcelona a la muntanya» in *Miscel·lànea Prat de la Riba*, IEC, Barcelona.
- FUJUI, E. (1964), «Increasing Temperature due to the Expansion of Urban Areas in Japan» in *Tokyo Journal of Climatology*, Tokio.
- FUKUOKA, Y. y NOBUYUKI, T. (1980), *Urban Climate and Quality of Hiroshima City*. 2nd, report, in *Japanese Progress in Climatology*, Tokio.
- GALLEGO, L.P. (1972), *Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio em Climatologia Urbana*. Tese de doutoramento, USP, São Paulo.
- GIVONI, B. (1976), *Man. Climate and Architecture*. Applied Science Publishers, London.
- HARRISON, R. y MCGOLDRICK, B. (1981), «Mapping artificial heat release in Great Britain» in *Atmospheric Environment*.
- HARTLEY, M. (1977), «Glasgow as an urban heat-island» in *Scottish Geographical Magazine*, Edimburgh.
- HOUGH, M. (1984), *City form and Natural process. Toward a new Urban Vernacular*. Croom Helm, London.
- HOWARD, L. (1818), *The Climate of London*, Longman, London.
- JAUREGUI, E. (1973), «Urban Climate of Mexico City» in *Erdkunde*.
- JAUREGUI, E. (1987), «Urban heat island development in medium and large urban areas in Mexico» in *Erdkunde*.
- JOHNSON, D.B. (1985), «Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U.K.» in *Journal of Climatology*, Chichester.
- KAYANE, I. (1964), «Temperature increase due to the expansion of Urban area in Tokyo» in *Tokyo Journal of Climatology*, Tokyo.

- LEAHEY, D.M. y FRIEND, J.P. (1971), «A model for predicting the depth of the mixing layer over an urban heat island with applications to New York City» in *Journal of Applied Meteorology*, Boston.
- LEAHEY, D.M. (1972), «An advective model for predicting air pollution within an urban heat island with applications to New York City» in *Journal Air Pollution Control Association*.
- LOMBARDO, M.A. (1985), *Ilha da calor nas metrópoles. O exemplo de São Paulo* Hucitec, São Paulo.
- LOPEZ GOMEZ, A. (1988), *El clima urbano de Madrid: la isla de calor*. CSIC.
- LOWRY, W.P. (1967), «The Climate of Cities» in *Scientific American*, New York.
- MARTIN VIDE, J. (1986-87), «Acerca de la medición y la experimentación en Geografía Física. Un ejemplo climatológico: la «isla de calor»» in *Notes de Geografía Física*, 15-16.
- MIDDLETON, W.E.K. y MILLAR, F.G. (1936), «Temperature Profiles in Toronto» in *Royal Astronomical Society Journal*, Toronto.
- MIESS, M. (1979), «The Climate of cities» in *Nature in cities: the natural environment in the design and development of urban green space*. Ed. I.C. Laurie, J. Wiley & Sons, London.
- MILLWARD, G.E. y MOTTE, R.H. (1976), «Observations of the Plymouth temperature field» in *Weather*, London.
- MONTEIRO, C.A. de F. (1976), *Teoria e clima urbano*. Ins. Geografia São Paulo.
- MORAWSKA-HORAWSKA, M. y CEBULAK, E. (1981), «Badania pionowego zasiegu miejskiej wyspy ciepla nad Krakowem» in *Folia Geographica*, Warszawa.
- NISHIZAWA, T. (1958), «The influence of buildings on urban temperature» in *Miscellanea Rep. Res. Institut of Natural Resources*.
- NISHIZAWA, T. y SALES, J.A. (1983), «The urban temperatura in Rio de Janeiro, Brazil» in *Latin American Studies*.
- NKENDIRIM, L.C. y VENKATESAN, D. (1985), «An urban impact model for changes in the length of the frost free season at selected Canadian stations» in *Climatic Change*, Dordrecht.
- NUÑEZ, M. y OKE, T.R. (1977), «The energy balance of an urban canyon» in *Journal of Applied Meteorology*, Boston.
- OKE, T.R. y EAST, C. (1971), «The urban boundary layer in Montreal» in *Boundary-layer Meteorology*, Dordrecht.
- OKE, T.R. y MAXWELL, G.B. (1975), «Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver» in *Atmospheric Environment*, London.
- OKE, T.R. (1978), *Boundary Layer Climates*. Methuen, London.
- OKE, T.R. (1980), «Climatic impacts of urbanization» in AA.VV. *Interactions of Energy and Climate*, Reidel, Rotterdam.
- OKOOLA, R.E. (1979), *The Nairobi Heat Island*. East African Inst. Met., Nairobi.
- PADMANABHAMURTY, B. y BAHL, H.D. (1982), «Some physical features of heat and humidity islands at Delhi» in *Mausam*, Delhi.
- PETERSON, J.T. (1969), *The Climate of Cities*. US Dpt. Public Health and Welfare, Washington.
- SASAKURA, K. (1965), «On the distribution of relative humidity in Tokyo and its secular change in the heart of Tokyo» in *Tokyo Journal of Climatology*, Tokyo.
- SEKIGUTI, T. (1965), «Introduction to Local Climatology» in *Tokyo Journal of Climatology*, Tokyo.
- SHITARA, H. (1957), «Effects of Buildings upon the Winter Temperature in Hiroshima City» in *Geographical Review of Japan*, Tokyo.
- TERJUNG, W.H. (1973), «Urban Climates» in TROMP, (ed) *Progress in Biometeorology*, Swets and Zeitlinger, Amsterdam.

- TERJUNG, W.H. y O'ROURKE, P.A. (1981), «Relative Influence of Vegetation on Urban Energy Budgets and Surface Temperatures» in *Boundary-Layer Meteorology*.
- THOMAS, M.K. (1971), *A survey of the Urban Effects on the Climates of Canadian Cities*, Dpt. of Environment, Ottawa.
- UNWIN, D.J. (1980), «The synoptic climatology of Birmingham's urban heat island» in *Weather*, London.
- VAN DIJK, W., HAGEN, R.J. y VELDERS, E. (1980), «Stadsklimaat Utrecht: een meteorologisch veldwerk» in *Utrechtse Geographische Studies*, Utrecht.
- WMO, (1968), *Symposium on Urban Climates and Building Climatology*, WMO, Brussels.
- WMO, (1970), *Urban Climates*. WMO. Geneve.
- YAP, D. (1975), «Seasonal excess urban energy and the nocturnal heat island-Toronto» in *Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology*, Wien.
- YOSHINO, M.M. (1975), *Climate in a Small area*. University of Tokyo Press, Tokyo.