

Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor", I.

por M.^a DEL CARMEN MORENO*

INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente siglo, la Climatología urbana ha experimentado un desarrollo ciertamente espectacular. Paralelamente al proceso de urbanización generalizado ocurrido en el transcurso del siglo se ha ido despertando un creciente interés por el estudio del medio físico de las ciudades y, particularmente, por el del clima urbano. No en vano, es en este medio artificial, tan complejo, donde reside, actualmente, una buena parte de la población mundial. El interés por el estudio del clima urbano está bien justificado, ya que las áreas urbanas constituyen unos sectores singulares dentro del clima de la región donde se localizan. Este interés responde no sólo a la necesidad de lograr un conocimiento para conseguir un ambiente más agradable para los habitantes de las ciudades, sino, también, a la de analizar y prever las modificaciones que suponen éstas y las repercusiones que pueden tener en el clima.

Ese interés se ha traducido en el gran volumen de publicaciones existentes en torno al tema del clima urbano. El número de trabajos publicados se ha multiplicado de forma espectacular, sobre todo, en las últimas décadas, de modo que no sería aventurado suponer que se haya alcanzado un total de unos 5.000 títulos, contabilizando todas las aportaciones realizadas hasta el presente, referidas a diversos aspectos, pero encuadrables en el campo concreto de la Climatología urbana. Esta abundante bibliografía, por tanto, no es más que el reflejo de esa atención mostrada por numerosos investigadores, preocupados por conocer las alteraciones climáticas antropogénicas en las ciudades.

El fenómeno de la "isla de calor" es, quizás, el efecto más evidente, y, también, el mejor estudiado, de la modificación climática inducida por la urbanización. Este efecto que ejercen las áreas urbanas sobre el clima local consiste básicamente en un incremento de la temperatura del aire de las ciudades respecto a la de los alrededores, especialmente de noche.

La presente bibliografía se centra únicamente en un aspecto del clima urbano, en concreto en el ya citado fenómeno de la "isla de calor". La elección de este tema obedece a varias razones. Dada la amplitud de la bibliografía existente sobre el clima urbano en general, se imponía, por una parte, ceñir este trabajo a un aspecto específico, cuyo

*En la presente ocasión se publica de este trabajo la presentación previa completa y la parte 1.^a de las referencias bibliográficas. Las restantes referencias (partes 2.^a a 6.^a) serán publicadas en el volumen XXVI, 1992, de la *Revista de Geografía*. La autora es profesora asociada al Departamento de Geografía física y Análisis geográfico regional de la Universidad de Barcelona.

volumen de obras fuera más manejable, y, por otra, dedicarlo a aquel aspecto más destacado o importante. En este sentido, el tema de la "isla de calor" o "isla térmica" urbana cumple perfectamente con estos requisitos, tratándose del aspecto, diríase incluso, más emblemático del clima urbano, dejando aparte el de la contaminación atmosférica.

Se trata de una bibliografía selectiva, que recoge los principales trabajos publicados durante las últimas décadas no sólo en el ámbito español, sino también en el resto del mundo. Se ha procurado que fueran fácilmente accesibles, por ello no se han incluido aquellos trabajos, cuya consulta resulta una difícil tarea, debido a lo restringido de su difusión. Del mismo modo, se ha limitado el número de trabajos redactados en idiomas diferentes a los de uso común entre la comunidad científica internacional a aquellos que presentan un resumen en inglés.

La mayor parte de las referencias bibliográficas están constituidas por artículos de revistas, aunque también hay algunas obras y libros. Las publicaciones periódicas revisadas se encuadran en el campo de la Geografía física, de la Climatología y de la Meteorología. Se ha realizado una clasificación de las referencias, agrupándolas temáticamente en 8 apartados. Los dos primeros son de carácter general y están dedicados a la modificación urbana de la temperatura y al fenómeno de la "isla de calor", respectivamente. El resto se refiere a determinados aspectos en relación con la "isla de calor" y que son los enunciados en los epígrafes correspondientes. En un último apartado se señalan todas las aportaciones conocidas en nuestro país.

MODIFICACIÓN URBANA EN LA TEMPERATURA: ESTUDIOS TEÓRICOS Y APLICADOS

En este apartado van a indicarse aquellas referencias bibliográficas sobre modificación de la temperatura por causa urbana que no aluden explícita y preferentemente al fenómeno de la "isla de calor", reservándose para el apartado siguiente las que así lo tratan.

Estudios teóricos

Desde que se tuvo conocimiento en el siglo pasado de la modificación de la temperatura en las ciudades por causa urbana, han sido numerosos los trabajos que han tratado de exponer en qué consisten esas modificaciones y explicar cuál es su origen. Las referencias bibliográficas más antiguas datan del siglo pasado y corresponden a sendos trabajos del británico Luke Howard (Howard, 1818) y del francés Emilien Renou (Renou, 1868), donde plantean ya las diferencias de temperatura que se observan entre la ciudad y el campo de los alrededores. Howard señala que el centro urbano tiene temperaturas más altas que la periferia, evaluando esa diferencia y atribuyendo su causa a la utilización generalizada del carbón como combustible para la generación de calor doméstico y para uso industrial. En la década de los 50 y principios de la de los 60 del presente siglo fueron publicados algunos trabajos que se han convertido ya en referencias obligadas en el estudio de la modificación del campo térmico en las ciudades (Sundborg, 1950; Duckworth y Sandberg, 1954; Mitchell, 1961). Landsberg, conocido experto sobre el clima urbano, también tiene un trabajo centrado concretamente en las variaciones de la temperatura debido a la urbanización (Landsberg, 1970). Dentro de esta línea de estudios de carácter teórico habría que destacar las aportaciones realizadas por la que podríamos denominar escuela rusa (Rastorgueva, 1969; Tseytin, 1975; Voronova, 1979; Parshin, 1980) y la escuela japonesa, que, como se verá en el apartado de estudios aplicados, constituye una de las más importantes de la Climatología urbana, con una gran tradición (Sekiguti *et al.*, 1964; Shitara, 1964; Sekiguti, 1975; Misawa, 1984).

Estudios aplicados

Los estudios sobre la modificación urbana en la temperatura aplicados a ciudades concretas también han sido muy numerosos. En el ranking de las ciudades que han merecido una mayor atención por parte de los especialistas del clima urbano tienen un lugar destacado las japonesas, con la enorme aglomeración de Tokyo al frente (Sekiguti, 1964; Kawamura, 1964a, 1964b; Fukui, 1964; Kayane, 1964; Tamiya, 1968; Sasaki *et al.*, 1973; Misawa, 1977, 1978; Hosokawa y Shitara, 1977; Nishizawa *et al.*, 1979; Misawa y Kikuchi, 1984). El interés primordial en estos trabajos se centra en la distribución espacial de la temperatura en cada una de las ciudades consideradas y sus variaciones, tanto a nivel diario, como estacional.

Las ciudades de la América anglosajona (Estados Unidos y Canadá) han constituido también otro de los puntos de mira preferentes. Quizá haya tenido que ver en ello la magnitud alcanzada por la urbanización en esos países, a pesar de tratarse de un fenómeno reciente en el tiempo (Middleton y Millar, 1936; Einarsson y Lowe, 1955; Crowe *et al.*, 1962; East, 1971; Hage, 1972; Nkendirim, 1976; Runneis *et al.*, 1972; Cayan y Douglas, 1984).

En el viejo continente han sido las ciudades inglesas, sin duda, las que han acaparado una mayor atención (Parry, 1954, 1956; Chandler, 1962, 1964; Garnett y Bach, 1967; Moffitt, 1972; Millward y Motte, 1976; Grillini, 1981; Johnson, 1985). El resto se reparte, principalmente, entre los países escandinavos (Sundborg, 1951; Lindquist, 1968; Laaksonen, 1976) y Alemania (Richter, 1969; Kessler, 1971; Wilmers, 1981).

La India es otro de los países cuyos investigadores han mostrado un especial interés por conocer los efectos de la urbanización en la temperatura de algunas de sus ciudades más importantes, como Nueva Delhi, Bombay y Poona (Daniel y Krishnamurthy, 1973; Pradhan *et al.*, 1976; Dhanna Singh y Jaipal, 1983; Manral, 1983). Los países de latitudes tropicales, en comparación con los de latitudes medias y altas están en clara desventaja en cuanto al número y volumen de trabajos desarrollados sobre la modificación de la temperatura de las ciudades por causa urbana. Así, lo advierte Lombardo (1985) cuando señala que en los períodos 1968-73, 1974-76 y 1977-80, tan sólo representaron el 2,2 %, 1,1 % y 2,4 %, respectivamente, del total de estudios. Dentro de este escaso grupo (Nakamura, 1967; Tarifa, 1977; Nishizawa y Sales, 1983; Duchon, 1986; Danni, 1987) destacan los trabajos sobre diferentes ciudades del Brasil, algunos de los cuales forman parte de toda una línea de investigación sobre el clima urbano fomentada desde el seno del departamento de Geografía de la Universidad de São Paulo.

LA "ISLA DE CALOR": ESTUDIOS TEÓRICOS Y APLICADOS

Estudios teóricos

Esta anomalía térmica positiva producida en los centros de las ciudades por el efecto urbano ya fue advertida —como se ha dicho— en el siglo pasado por algunos estudiosos. Desde entonces ha habido otros muchos investigadores que también han comprobado la existencia del hecho para diversas ciudades, si bien no es hasta 1958 cuando el fenómeno es bautizado por el inglés Gordon Manley con el expresivo nombre de "isla de calor" urbana (*urban heat island*), una afortunada denominación, de uso, hoy día, generalizado.

Algunas de las referencias bibliográficas incluidas en este apartado se ocupan de explicar, básicamente, en qué consiste el fenómeno, las causas que lo originan y las principales características que lo definen en general (Parry, 1967; Garstang *et al.*, 1975; Pazera, 1976; Eriksen, 1976; Kraus, 1979; Goward, 1981; Oke, 1982; Reiss, 1982), si bien no excluyen la aplicación con numerosos ejemplos de diversas ciudades. Otras, se limitan a contemplar la aparición del fenómeno de la "isla de calor" en unos supuestos muy concre-

tos, como pueden ser en el caso de ciudades pequeñas, en el de ciudades de reciente construcción, o, incluso, en el de una ciudad ecuatorial (Hutcheon *et al.*, 1967; Kopec, 1970; Sharon y Koplowitz, 1972; Tamiya y Muto, 1974; Sekiguti y Kawakami, 1975; Hannell, 1976; Suckling, 1981; Tamiya y Ohyama, 1981).

Un trabajo que ha supuesto una contribución verdaderamente destacada en este capítulo es el de Oke (1973). En él plantea la estrecha relación existente entre el fenómeno de la "isla de calor" y el tamaño de la ciudad, tomando como indicador de dicho tamaño el número de habitantes. Todo ello ilustrado con abundantes ejemplos de distintas ciudades. La relevancia de la aportación llevada a cabo por Oke lo ha convertido en una referencia obligada en cualquier estudio sobre la "isla de calor" de una ciudad.

Estudios aplicados

Dentro de este apartado se han incluido todas aquellas referencias dedicadas en concreto al estudio de la "isla de calor" de una o varias ciudades en particular. La lista, a pesar de ser selectiva, es amplia, e incluye ciudades de todo el mundo. Estos trabajos se fijan, especialmente, en la intensidad y la forma o configuración del fenómeno, así como sus variaciones a nivel diario y estacional.

El mayor número de obras se refiere a ciudades norteamericanas (Estados Unidos y Canadá), como Nueva York, Austin, Washington, Colombus, Akron, St. Louis, Baltimore, Phoenix, Chicago, Hamilton, Calgary, Montreal y Vancouver (Bornstein, 1968; Oke y Hannell, 1970; Nicholas, 1971; Wood, 1971; Fonda *et al.*, 1971; McElroy, 1973; Oujexdy, 1973; Martin y Powell, 1977; Nkendirim, 1977; Vukovich y Dunn, 1978; Landsberg y Brush, 1980; Sheng-i Hsu, 1984; Ackerman, 1985). Llama singularmente la atención un trabajo sobre la "isla de calor" de Fairbanks, en Alaska, quizás el único estudio conocido del fenómeno en una ciudad subártica (Bowling y Benson, 1978).

En Europa, Londres es, sin duda, la ciudad que posee más trabajos dedicados a su "isla de calor". Esto se debe, en gran medida a la contribución de Chandler, que ha significado un punto de mira muy importante para la gran mayoría de investigadores europeos sobre el clima urbano. Otras ciudades británicas que han sido objeto de estudio, además de la capital londinense, son: Leicester, Glasgow y Birmingham (Chandler, 1961, 1962 y 1967; Dear, 1974; Perkins, 1964; Kartley, 1977; Lyall, 1977; Unwin, 1980). El abanico de ciudades europeas queda completado con los estudios sobre las "islas de calor" de Roma, Anney y Cracovia (Colacino, 1980; Endlicher, 1981-83; Morawska-Horawska y Cebulak, 1981; Colacino y Cavagnini, 1982).

En el continente asiático no podía faltar una representación de las ciudades japonesas e hindúes, como resultado de la significación de las respectivas escuelas de Climatología urbana de ambos países, así como una muestra de la aportación china (Owada, 1973; Bahl y Padmanabhamurty, 1979; Haske *et al.*, 1981; Chou Shu-Zhen y Zhang Chao, 1982; Padmanabhamurty y Bahl, 1982).

MODELOS E "ISLA DE CALOR"

Los modelos climáticos intentan simular los múltiples procesos que producen el clima, mediante formulaciones, fundamentadas física y matemáticamente. Su objetivo consiste en comprender estos procesos y predecir los efectos de los posibles cambios e interacciones en ellos.

La historia de los modelos climáticos tiene ya varias décadas de existencia. Los primeros modelos climáticos de la circulación general atmosférica se desarrollaron a principios de los años 60, a partir directamente de modelos numéricos de la atmósfera diseñados para predecir el tiempo a corto plazo. Desde entonces se han ido desarrollando

otros modelos climáticos: modelos del balance de energía, modelos radiativos-convectivos, modelos de circulación general, etc. Todos ellos son modelos climáticos globales o referidos a una escala planetaria, sin embargo la modelización climática no excluye la posibilidad de su utilización y aplicación a escalas más reducidas. De este modo, la “isla de calor” urbana como fenómeno climático-meteorológico destacado atrajo muy pronto la atención para su modelización. Así, al trabajo pionero de Summers (1964) se añade después una larga lista de modelos empíricos, numéricos y espaciales sobre la “isla de calor” desarrollados por diversos investigadores (Myrup, 1969; Preston-Whyte, 1970; Nappo, 1972; Wagner y Tsann-Wang Yu, 1972; Clarke y Peterson, 1973; Sethuraman y Cermak, 1973; Lee y Olfe, 1974; Sekiguti y Takano, 1975; Beniston, 1980; Terjung y O'Rourke, 1980; Jendritzky y Nubler, 1981; Oke, 1981).

CAPA LÍMITE URBANA, CONVECCIÓN URBANA E “ISLA DE CALOR”

La capa límite urbana (*urban boundary layer*) se refiere a aquella porción de la capa límite (*boundary layer*) que se extendería desde los tejados de los edificios hasta un nivel por debajo del cual las características meteorológicas están modificadas por la presencia de la ciudad en superficie. Durante el día, la altitud de la capa límite urbana llega a alcanzar entre 0,6-1,5 km, mientras que por la noche se reduce a 0,1-0,3 km (este último valor es, relativamente alto, comparado con el espesor de la capa límite rural, debido a la presencia de la “isla de calor”).

Han sido numerosos los investigadores que se han interesado por este tema (Clarke, 1969; Clarke y McElroy 1970; Leahey y Friend, 1971; Oke y East, 1971; Kalma, 1974; DeMarrais, 1975; Lee, 1976; Oke, 1976; Viskanta, 1977; Clarke, 1978; Sorbján, 1978; Ahrens, 1981; Sorbján y Uliasz, 1982; Hildebrand y Ackerman, 1984; Clark *et al.*, 1985; Spanton y Williams, 1988; Surridge y Goldreich, 1988). El objeto primordial de estos trabajos se centra en el conocimiento de la estructura de la capa límite urbana, sobre todo de sus características dinámicas y, muy especialmente, en su manifestación nocturna y en las relaciones con la “isla de calor”. El trabajo de Oke (1976) recoge una destacada aportación al tema, al distinguir un nuevo nivel atmosférico urbano —*urban canopy layer*— (se podría traducir como “palio urbano”) dentro de la capa límite urbana, definido como aquel sector, a modo de “cañón”, entre los edificios, con unas características microclimáticas inferidas de las de los alrededores más inmediatos.

Uno de los efectos más destacables de la “isla de calor” es la formación de un fenómeno de convección urbana, por el calentamiento de la ciudad, que favorecería la formación de nubosidad y hasta la de precipitación (Olfe y Lee, 1971; Kimura, 1976; Yonetani, 1983). La convección, precisamente, constituye un elemento decisivo en la estructura de la capa límite urbana.

RELACIÓN ENTRE LA “ISLA DE CALOR” Y ALGUNOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Balances de energía y radiación

Una de las causas más conocidas de la formación del fenómeno de la “isla de calor” es la producción de calor antropogénico en las ciudades, si bien no es la única. Este calor procede de los procesos de combustión urbanos, tales como los de los sistemas de calefacción domésticos, del transporte rodado, del alumbrado, del uso de energía en las industrias, etc. Es bien sabido que el calor antropogénico urbano constituye un sumando decisivo para obtener el balance energético de una ciudad. Las siguientes referencias

bibliográficas tratan precisamente del balance energético de diversas ciudades y áreas urbanas, así como su influencia en la "isla de calor" (Craddock, 1965; Garnett y Bach, 1965; Bach y Patterson, 1969; Nakamura *et al.*, 1973; Tsukamoto *et al.*, 1973; Yap y Oke, 1974; Yap, 1975; Núñez y Oke, 1977, 1980; Horie e Hirokawa, 1978; Dodd, 1979; Morkel, 1980; Harrison y McGoldrick, 1981; Oke *et al.*, 1981). La radiación es otro de los componentes del balance energético urbano y un elemento destacado dentro del conjunto de causas que originan la "isla de calor". El aumento de la absorción de radiación solar, la disminución de la pérdida de calor durante la noche por irradiación y el aumento de la radiación de onda larga, absorbida y reemitida hacia el suelo por la contaminada atmósfera urbana, contribuyen a generar el fenómeno (Terjung y Louie, 1973; Kobayashi, 1979; Yamashita, 1979; Masaru, 1981; Suckling, 1981; Padmanabhamurty y Mandal, 1982).

Viento

El viento constituye, precisamente, uno de los principales elementos meteorológicos ante el cual la "isla de calor" y, muy especialmente, su intensidad, muestra una mayor sensibilidad. Se sabe que a medida que se incrementa la velocidad del viento, la diferencia de temperatura urbano-rural disminuye, habiendo, incluso, unos límites o umbrales que una vez sobrepasados impiden el desarrollo de la "isla de calor". También la configuración o forma de la "isla de calor" puede verse afectada por el viento. Cuando exista un flujo moderado de viento que permita el desarrollo de la "isla de calor", las diferentes direcciones que toma éste en el ámbito urbano pueden provocar una "deformación" de la "isla de calor" originaria o media, dando lugar a variadas y diferentes configuraciones. Aunque cada ciudad suele reaccionar de un modo distinto, debido, entre otras causas, a sus diferencias topográficas, en general, se acepta que la "isla de calor", ante un viento dominante, se desplaza hacia el lado de sotavento, o incluso, a veces, hasta la misma periferia.

Por otra parte, es bien conocido que una de las consecuencias meteorológicas más destacadas de la "isla de calor" —la convección urbana— se alimenta en superficie por la afluencia de viento desde la periferia o alrededores hacia el centro urbano. Este viento, que algunos autores han llamado "brisa rural" (*country breeze*, *flurwind*), en clara alusión a la procedencia del viento, puede ser denominado, creemos, con el nombre, más apropiado quizá, de "brisa urbana", en atención a la causa original del fenómeno. Asimismo, otro de los aspectos en que se han fijado algunos investigadores es el de la distribución vertical del viento en áreas urbanas en relación con la "isla de calor" (Chandler, 1961; Yamamoto y Shimanuki, 1964; Delage y Taylor, 1970; Vukovich, 1971, 1975; Lee, 1975, 1979; Vukovich *et al.*, 1976; Shreffler, 1978, 1979; Nkendirim y Leggat, 1978; Vukovich *et al.*, 1979; Goldreich, 1979; Vukovich y King, 1980; Fujibe y Asai 1980; Nkendirim, 1980a, 1980b; Bernhofer, 1984; Draxler, 1986).

Contaminación atmosférica

Junto con el incremento de temperatura, la contaminación atmosférica es la característica distintiva más importante del clima urbano. La alteración física y química de la atmósfera urbana ha alcanzado tal magnitud que en algunas grandes ciudades del mundo constituye un serio problema. La preocupación y el interés suscitado por ello se ha traducido en una amplísima bibliografía sobre el tema, que incluye aspectos muy diversos. Uno de ellos está relacionado con la "isla de calor", porque no hay que olvidar que la presencia de una capa contaminada en la atmósfera urbana provoca que la radiación de onda larga emitida desde el suelo sea absorbida en parte por ella, que la vuelve a reemitir hacia el suelo, impidiendo, así, su paso hacia niveles atmosféricos superiores y su pérdida al espacio. De este modo, se produce en las áreas urbanas una mayor recepción de radiación de onda larga, hecho que, sin duda, contribuye también a que se de el fenómeno de "isla

de calor" (Norwine, 1971; Leahey, 1972; Tsuchiya, 1972, 1974; Rouse *et al.*, 1973; Padmanabhamurty e Hirt, 1974; Yamashita, 1974; Nkendirim *et al.*, 1975; Fukuoka *et al.*, 1980; Fukuoka y Takeuchi, 1980; Gallego, 1972; Viskanta y Daniel, 1980; Bennett y Saab, 1982).

RELACIÓN ENTRE LA "ISLA DE CALOR" Y ALGUNOS PARÁMETROS DE CARÁCTER GEOGRÁFICO-URBANO

Densidad de edificación y materiales de construcción

La densidad y el tamaño de los edificios en la ciudad, así como los tipos de materiales empleados en la construcción, son factores urbanos que también influyen en la "isla térmica" (Shitara, 1957; Nishizawa, 1958 y Takahashi, 1959, 1964; Asai y Ohta, 1974). Así, en algunas ciudades, el perfil térmico nocturno de un transecto horizontal sigue aproximadamente el del perfil de la densidad y tamaño de los edificios. Se habla en algunos casos de que más que el tamaño de la ciudad es la compacidad urbana, sobre todo, la que permite obtener unos contrastes térmicos notables. De todos modos, esto no invalida el que algunos grandes centros comerciales que se hallen aislados puedan crear su propio efecto de "isla de calor" (Norwine, 1973; Martin y Evans, 1975).

Áreas verdes y parques urbanos

Las áreas verdes y los parques urbanos suponen una reducción de la temperatura de la ciudad allí donde se localizan. Además del enfriamiento del aire que conllevan, causan también un incremento en la humedad relativa del aire y en la producción de oxígeno. Algunos trabajos se centran específicamente en los efectos provocados por parques, jardines y áreas arboladas o con vegetación en la distribución y régimen de la temperatura urbana (Rauner y Cernavskaja, 1972; Tsuchiya, 1972; Wilmers, 1972; Terjung y O'Rourke, 1981; O'Rourke y Terjung, 1981; Bernatzky, 1982; Kawamura y Suzuki, 1983).

Usos del suelo

La relación entre los diferentes usos del suelo y la distribución de la temperatura en la ciudad es un tema que también ha sido tratado en la bibliografía (Outcalt, 1972; Clarke y Peterson, 1972; Cech *et al.*, 1976; Sampaio, 1981; Adebayo, 1987). El interés primordial se centra en evaluar la contribución de los distintos usos del suelo en la formación de la "isla de calor", así como sus efectos.

PERCEPCIÓN REMOTA E "ISLA DE CALOR"

En las últimas décadas se está generalizando cada vez más la aplicación de las técnicas de percepción remota y teledetección para el estudio y delimitación de la "isla de calor", así como la configuración del campo térmico urbano. Las imágenes de satélite correspondientes a la banda del infrarrojo térmico constituyen un excelente instrumento para ello, aun a pesar de que todavía hoy quedan por resolver definitivamente algunos problemas que plantea su uso, como es la correspondencia entre las temperaturas deducidas mediante esta técnica (las de la superficie) con las temperaturas del aire (las convencionales, a 1,5 m del suelo) (Rao, 1972; Tsuchiya, 1973, 1974a y 1974b; Carlson *et al.*, 1977; Colacino, 1978; Sekiguti y Tamiya, 1978a, 1978b y 1978c; Matson *et al.*, 1978; Price, 1979; Matson y Legeckis, 1980; Lombardo *et al.*, 1981; Lombardo *et al.*, 1983).

"ISLA DE CALOR": ESTUDIOS EN ESPAÑA

Los estudios sobre "islas de calor" son escasos en nuestro país. Dentro de la Geografía, la Climatología urbana no se ha cultivado como línea de investigación hasta hace muy pocos años, de ahí que se manifieste un enorme retraso, en relación, por ejemplo, con los países anglosajones, auténticos veteranos de la disciplina. Ello se traduce, lógicamente, en una manifiesta penuria en cuanto al volumen de trabajos existentes.

Hasta la década de los 80, fueron tan sólo los físicos del aire los que mostraron cierto interés por el ámbito climático urbano, aunque su atención preferente se ha centrado casi exclusivamente en un único aspecto, el de la contaminación atmosférica, dejando a un lado el resto de modificaciones que introduce la urbanización en el clima. A partir de esa fecha, han sido los geógrafos quienes se han dedicado a estudiar e investigar este tema, en especial, aquellos interesados en las interrelaciones entre aspectos físicos y humanos de la ciudad, y también, los climatólogos, en particular.

El verdadero iniciador en nuestro país de los estudios sobre el clima urbano y, singularmente, sobre el fenómeno de la "isla de calor" es el profesor Antonio López Gómez, cuya contribución ha sido decisiva para impulsar los trabajos sobre el clima urbano llevados a cabo hasta el momento o en proceso de realización en diversas ciudades españolas. Un estudio inicial (López Gómez y Fernández García, 1984) avanza los primeros resultados acerca de la "isla de calor" de Madrid. Posteriormente, fruto de una investigación realizada por un nutrido equipo de colaboradores dirigido por el propio López Gómez, se publica una memoria donde se fija la atención, principalmente, en la intensidad de la "isla de calor" de Madrid y su manifestación en diferentes momentos del día (nocturna y diurna), en relación con la estación del año en que se produce y los tipos de tiempo meteorológico bajo los que ocurre (López Gómez *et al.*, 1988).

Existen también dos trabajos, uno ya publicado, de un equipo de las universidades de Barcelona y Autónoma de Barcelona que en 1985 inició el estudio de la "isla de calor" del área metropolitana barcelonesa que recoge un avance de resultados (Carreras *et al.*, 1990), y otro, en prensa, de dos de los integrantes de dicho equipo, que añade nuevas conclusiones sobre la "isla de calor" de Barcelona y también de otras ciudades catalanas (Martín Vide y Moreno García, en prensa).

Otra ciudad española que ha merecido la atención es Logroño (García Ruiz *et al.*, 1989), donde se comprueba la existencia de una ligera "isla de calor", sobre todo, en verano. En las islas Canarias, el estudio del clima urbano de Santa Cruz de Tenerife es ciertamente sugestivo, dadas las peculiaridades que se conjugan en esa ciudad; la fase inicial de ese estudio queda reflejada en otro trabajo en vías de publicación (Dorta, Marzol y Rodríguez, en prensa). Las ciudades cantábricas también han sido objeto de análisis, si bien se trata de un estudio inicial de carácter general, donde se da un repaso a los principales efectos de la urbanización en cada uno de los elementos climáticos y se apuntan ya algunas ideas preliminares en torno a la modificación urbana del clima en esas ciudades (García Codron, 1990).

Hasta ahora han sido tres las tesis de Doctorado presentadas en universidades españolas con el denominador común de la Climatología urbana, aunque se trata de estudios de signo diferente. La primera constituye un exhaustivo estudio acerca de los efectos que introduce la urbanización en los diversos elementos del clima de las ciudades de Tarragona y Reus, a partir de las correspondientes series de datos (Brunet, 1989). Otra se centra en un aspecto muy concreto, como son las variaciones en la temperatura de Madrid debidas al efecto que provocan sus jardines y parques urbanos (Almendros, 1990). La última se refiere a la "isla de calor" del área metropolitana de Barcelona, donde se utiliza, además del método convencional de análisis de series de datos, una metodología basada en el trabajo de campo consistente en obtener numerosas mediciones térmicas, mediante la técnica de los transectos urbanos realizados en automóvil (Moreno García, 1990). Los

resultados de este trabajo han permitido evaluar la intensidad, reconocer la configuración y localizar el máximo térmico en el plano urbano barcelonés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Modificación urbana en la temperatura: estudios teóricos y aplicados

Estudios teóricos

- CRADDOCK, J.M. (1972): "Urban development and its effects on the local temperature regime". *The Statistician*, 21, 1, pp. 63-75.
- DeMARRAIS, G.A. (1961): "Vertical temperature difference over an urban area". *Bulletin of American Meteorological Society*, 42, pp. 548-554.
- DUCKWORTH, F.S. y SANDBERG, J.S. (1954): "The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients". *Bulletin of American Meteorological Society*, 35, pp. 198-207.
- HOWARD, L. (1818): *The climate of London*. W. Phillips, London, 2 vols.
- LANSBERG, H.E. (1970): "Micrometeorological temperature differentiation through urbanisation" en *Urban Climates*. Technical Note 108, pp. 129-136, World Meteorological Organization, Geneva.
- LUDWIG, F.L. (1970): "Urban temperature fields" en *Urban Climates*, Technical Note 108, pp. 80-107, World Meteorological Organization, Geneva.
- MACHALEK, A. (1977): "Ein Beitrag zur vertikalen Temperaturverteilung über einen Großstadt" (The vertical temperature distribution above a large city). *Ann. Met. (neue Folge)*, 12, pp. 201-204.
- MISAWA, S. (1984): "Some consideration on the secular change of 'urban temperature'". *Japanese Progress in Climatology*, march 1985, pp. 170-174.
- MITCHELL, J.M. (1961): "The temperature of cities". *Weatherwise*, 14, pp. 224-229.
- MITCHELL, J.M. (1962): "The thermal climate of cities" en *Symposium: Air over cities*, SEC Technical Report A62-5, Cincinnati Taft Sanitary Engineering Center, pp. 131-145.
- NORD, M. (1982): "Local temperature variations in an urbanizing area" en *Symposium of Building Climatology* (Moscow, sept. 1982), 2, pp. 424-435.
- OKA, T. (1980): *Thermal environment in urban areas*. Swedish Council for Building Research, Stockholm, 168 pp.
- PARSHIN, V.N. (1980): "Effects of a large city on air temperature". *Sov. Met. Hydr.*, 5, pp. 25-28, New York.
- RASTORGUEVA, G.P. (1969): "Features of the thermal regions of towns". *Glav. Geof. Obs.*, 238, pp. 145-152, Leningrad.
- RENOU, E. (1868): "Différences de température entre la ville et la campagne". *Annuaire Soc. Met. France*, pp. 83-97.
- ROODENBURG, J. (1983a): "Adaptation of rural minimum temperature forecasts to an urban environment". *Archives of Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B.*, 32, pp. 395-401.
- ROODENBURG, J. (1983b): "Forecasting urban minimum temperatures from rural observations". *Meteorological Magazine*, 112 (1329), pp. 99-106.
- SEKIGUTI, T. (1975): "Thermal situations of urban areas, horizontally and vertically". *Japanese Progress in Climatology*, pp. 85-86.
- SEKIGUTI, T. et al. (1964): "Geographical distribution of lower upper air temperature above city area". *Tokyo Journal of Climatology*, 1, pp. 29-34.
- SHITARA, H. (1964): "The minute diurnal fluctuation of air temperature and its variation profile in a built-up area". *Tokyo Journal of Climatology*, 1 (2), pp. 82-85.
- SUNDBORG, A. (1950): "Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area". *Tellus*, 2 (3), pp. 221-231.
- TSEYTIM, G. (1975): "The transformation of air temperature above a town". *Glav. Geof. Obs.*, 326, pp. 30-42, Leningrad.
- VILKNER, H. (1961): "Die nachttemperatur am erdboden einer Stadt". *Zeitschrift für Meteorologie*, 15, pp. 141-147.
- VORONOVA, N.V. (1979): "The thermal and dynamical effects of a town". *Glav. Geof. Obs.*, 423, pp. 120-124, Leningrad.

Estudios aplicados

- CAYAN, D.R. y DOUGLAS, A.V. (1984): "Urban influences on surface temperatures in the South-western United States during recent decades". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23 (11), pp. 1520-1530.
- CROWE, B.W. et al. (1962): *Modification of extreme winter temperatures at Winnipeg International Airport due to urban development*. Met. Branch. Toronto, 40 pp.
- CHANDLER, T.J. (1962): "Temperature and humidity traverses across London". *Weather*, 17, pp. 235-242.
- CHANDLER, T.J. (1964): "An accumulated temperature map of the London area". *Meteorological Magazine*, 93, pp. 242-245.
- CHERNAVSKAJA, M.M. (1985): "The air temperature trend in some of the largest cities of the USSR". *Izvestija. Serija Geograficheskaja*, Moskva.
- DANIEL, C.E.J. y KRISHNAMURTHY, K. (1973): "Urban temperature fields at Poona and Bombay". *J. Met. Geoph.*, 24, pp. 407-412, Poona.
- DANNI, I.M. (1987): *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982 (Contribuição ao estudo do clima urbano)*. Dep. de G.^a de Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas de la Universidade de São Paulo. (Dissertação de Mestrado).
- DETTWILLER, J. (1970): "Deep soil temperature trends and urban effects at Paris". *Journal of Applied Meteorology*, 9, pp. 178-180.
- DHANNA SINGH y JAIPAL (1983): "On forecasting night minimum temperatures over New Delhi". *Mausam*, 34 (2), pp. 185-189.
- DUCHON, C.E. (1986): "Temperature trends at San Juan, Puerto Rico". *Bulletin of American Meteorological Society*, 67 (11), pp. 1370-1371.
- EAST, C. (1971): "Chaleur urbaine a Montréal". *Atmosphere*, 9, pp. 112-122.
- EINARSSON, E. y LOWE, A.B. (1955): *A study of horizontal temperature variation in the Winnipeg area, on nights of favouring radiational cooling*. Meteorology Division, Canada, Cir-2647, Tec-241, 19 pp.
- FUKUI, E. (1964): "Increasing temperature due to the expansion of urban areas in Japan". *Tokyo Journal of Climatology*, 1 (1).
- GARNETT, A. y BACH, W. (1967): "An investigation of urban temperature variations by traverses in Sheffield (1962-1963)". *Biometeorology*, 2, pp. 601-607.
- GRILLINI, B. (1981): "A comparison of air temperatures at street and roof level in London". *Weather*, 36 (4), pp. 104-108.
- HAGE, K.D. (1972): "Nocturnal temperature in Edmonton, Alberta". *Journal of Applied Meteorology* 11 (1), pp. 123-129.
- HOSOKAWA, K. y SHITARA, H. (1977): "Nocturnal air temperature distribution in urban center of Sendi city". *Japanese Progress in Climatology*, pp. 68.
- JOHNSON, D.B. (1985): "Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U.K.". *Journal of Climatology*, 5 (2), pp. 221-225.
- KAWAMURA, T. (1964a): "Analysis of the temperature distribution in the Kumagaya city - a typical example of the urban climate of a small city". *Geographical Review of Japan*, 37 (5), pp. 243-254.
- KAWAMURA, T. (1964b): "Some considerations on the cause of city temperature at Kumagaya city". *Geographical Review of Japan*, 37 (10), pp. 560-565.
- KAYANE, I. (1964): "Temperature increase due to the expansion of urban area in Tokyo". *Journal of Climatology*, 1 (2), pp. 67-70.
- KESSLER, A. (1971): "Über den tagesgang von oberflächentemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen strahlungstag". *Erdkunde*, 25, pp. 13-20.
- LAAKSONEN, K. (1976): *The influence of urban environments on average temperatures at meteorological stations in Fennoscandia (1921-1950)*. Annales Academie Scientiarum Fennical. Series A III Geologica-Geographica, 120, 18 pp.
- LEE, C.B. y KIM, M.I. (1979): "Urban temperature distribution in Seoul". *Res. Pap.*, 1, pp. 57-62, Met. Res. Inst., Seoul.
- LINDQUIST, S. (1968): "Studies on the local climate in Lund and its environs". *Geografiska Annaler. Ser. A.*, 50, pp. 79-93.
- MANRAL, N.S. (1983): "Significant variations in maximum and minimum temperatures at Bombay Airport". *Mausam*, 34 (2), pp. 175-179.
- MIDDLETON, W.E.K. y MILLAR, F.G. (1936): "Temperature profiles in Toronto". *Journal of*

- Royal Astronomical Society (Toronto)*, 30, pp. 265-272.
- MILLWARD, G.E. y MOTTE, R.H. (1976): "Observations of the Plymouth temperature field". *Weather*, 31, pp. 255-260.
- MISAWA, M. (1977): "Secular change of 'urban temperature' in Tokyo". *Ann. Tohoku Geogr. Assoc.*, 29, pp. 238.
- MISAWA, M. (1978): "Some considerations on the secular change of 'urban temperature' in Tokyo". *Journal of the College of Arts & Sci. Chiba University*, B-11, pp. 97-102.
- MISAWA, M. y KIKUCHI, R. (1984): "Nocturnal air temperature distribution in a new town". *Japanese Progress in Climatology*, march 1985, pp. 167-169.
- MOFFITT, B.J. (1972): "The effects of urbanization on mean temperatures at Kew Observatory". *Weather*, 27, pp. 121-129.
- NAKAMURA, K. (1967): "City temperature of Nairobi". *Japanese Progress in Climatology*, november pp. 61-65.
- NISHIZAWA, T. y SALES, J.A. (1983): "The urban temperature in Rio de Janeiro, Brazil". *Latin American Studies*, 5.
- NISHIZAWA, T. et al. (1979): "Distribution of ground temperature in the central area of Tokyo". *Geographical Review of Japan*, 52 (6), pp. 283-292.
- NKENDIRIM, L.C. (1976): "Dynamics of an urban temperature field —a case study". *Journal of Applied Meteorology*, 15 (8), pp. 818-823.
- PARRY, M. (1954): "Local degree-day variations in the Reading area". *Meteorological Magazine*, 83, pp. 307-309.
- PARRY, M. (1956): "Local temperature variations in the Reading area". *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 82, pp. 45-57.
- PRADHAN, S.K. et al. (1976): "The effects of urbanisation and industrial development on air temperatures at Bombay Airport". *J. Met. Hydr. Geoph.*, 27, pp. 187-190.
- RENOU, E. (1862): "Différences de température entre Paris et Choisy-le-Roi". *Annuaire Soc. Met. France*, pp. 105.
- RICHTER, B.L. (1969): "Verlaug von temperatur und der feuchte an einer reihe won heiteren tagen des sommers 1968 in der innenstadt und in den aussenbezirken West-Berlin". *Meteorol. Abh.*, 110 (3), pp. 1-52.
- RUNNEIS, R.C. et al. (1972): "An observation study of winter temperatures in the urban area of Houston". *International Journal of Biometeorology*, 16 (2), pp. 119-129.
- SASAKI, Y. et al. (1973): "Distribution of the air temperature and the phase of its diurnal variation in the urban area of Sendai". *Japanese Progress in Climatology*, pp. 38-40.
- SEKIGUTI, T. (1964): "The geographical distribution of spring time city temperature in and around Yonezawa, Yamagaya in northern Japan". *Tokyo Journal of Climatology*, 1, pp. 6-12.
- SUNDBORG, A. (1951): "Climatological studies in Uppsala, with special regard to the temperature conditions in the urban area". *Geographica*, 22, pp. 111.
- TAMIYA, H. (1968): "Night temperature distribution in a new town, western suburbs of Tokyo". *Geographical Review*, 41, pp. 695-703.
- TARIFA, J.R. (1977): "Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos". *Geografia*, 2 (4), pp. 59-60, Rio Claro.
- WILMERS, F. (1981): "Temperaturmessungen in der city als beitrag zum bioklima von Hannover (Temperature measurements in the city as a contribution to the bioclimate of Hannover)". *Verhandlungen-Gesellschaft für Ökologie*, 9, pp. 343-347.