

# El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid

Felipe Fernández García

Catedrático de Geografía Física. Universidad Autónoma de Madrid

Alberto Martilli

Investigador del CIEMAT

## Introducción

La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales. El asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento a la vez que aumenta la turbulencia. Todo ello se traduce en un aire altamente contaminado y la aparición de un clima urbano característico, cuyo rasgo más destacable es el aumento de las temperaturas en relación a las áreas suburbanas. La *isla de calor urbana o UHI (Urban Heat Island)* es el concepto que mejor define el clima urbano y en cualquier ciudad se pueden distinguir dos tipos: la primera, denominada *isla de calor atmosférica*, representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada *isla de calor superficial*, indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, aceras, tejados de los edificios, etc.) y las naturales (vegetación, cultivos, roquedo).

El inicio de la moderna climatología urbana se sitúa a comienzos del XIX, cuando Howard publica en 1818 su obra sobre *el clima de Londres deducido de observaciones meteorológicas* y se consolida tras la publicación de la obra *Das Stadtklima* (Kratz, 1937) de carácter general y la de Chandler sobre *el clima de Londres*, treinta años posterior. En España los estudios de clima urbano no se inician de forma sistemática hasta bien entrado el siglo XX. En 1984 se publicó el primer estudio sobre el clima urbano de Madrid por un grupo de geógrafos de la Universidad Autónoma de Madrid y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

En la actualidad la climatología urbana es una de las ramas más dinámicas de la moderna climatología debido, por un lado, al perfeccionamiento de las técnicas de observación y al empleo de la teledetección y los SIG como herramienta de integración y análisis; por otro, a la importancia de las ciudades en los problemas ambientales actuales: la población urbana representa más del 50% de la población total y, aunque el área ocupada por las ciudades, apenas representa el 2% de la superficie del planeta, consumen más

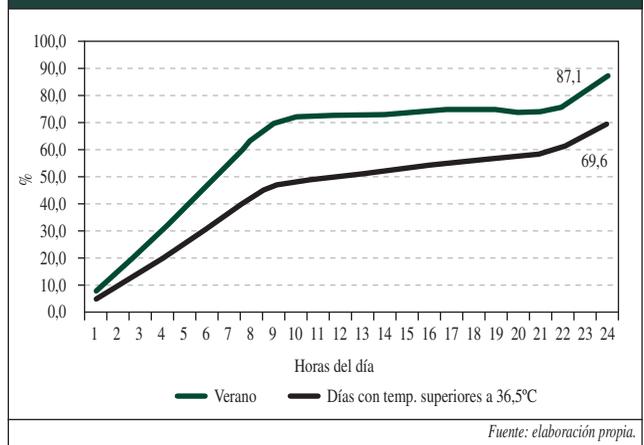
del 75% de los recursos naturales y de ellas proceden más del 80% de las emisiones de gases a la atmósfera. Todo ello ha convertido a las ciudades en las zonas más vulnerables a los impactos negativos del calentamiento global y piezas claves en las políticas para frenar el calentamiento y mitigar sus impactos.

## Fuentes y metodología

El clima urbano es un clima regional modificado y su caracterización se realiza en términos de comparación con su entorno próximo. A escala regional la intensidad de estas modificaciones depende del tamaño y extensión de la ciudad; a escala intraurbana se observa un complejo entramado de microclimas diferenciados, debido al trazado y anchura de la red viaria, los usos de suelo, los materiales del asfalto y edificios, así como por las diferentes alturas y orientaciones.

La caracterización de la *isla de calor* a partir de las diferencia entre la temperatura urbana y rural es el método más adecuado para caracterizar el clima urbano, sin embargo presenta bastantes problemas a la hora de determinar los límites entre ambos espacios, especialmente en las grandes

FIGURA 1. EXCESO TÉRMICO ACUMULADO DE LA CIUDAD RESPECTO A LAS ZONAS NO URBANAS



áreas metropolitanas, en las que el proceso de artificialización desdibuja los límites entre ambas zonas. Además, las redes meteorológicas convencionales se han diseñado para conocer el clima regional y, precisamente para evitar el efecto urbano, en las ciudades hay muy pocos observatorios y los que existen se sitúan en los grandes parques urbanos. Por todo ello la caracterización del clima urbano se realiza utilizando tres métodos diferentes, pero complementarios:

**La comparación entre observatorios urbanos y rurales**, pertenecientes a la red meteorológica convencional, para establecer los principales rasgos del clima urbano, a escala del conjunto de la ciudad. Recientemente se han incorporado datos procedentes de otras redes no convencionales como las redes meteorológicas municipales y las pertenecientes a la red de vigilancia de la contaminación atmosférica.

**Los recorridos o transectos térmicos** realizados con instrumentos de medida no convencionales instalados sobre vehículos, permiten obtener información sobre un gran número de puntos y trazar mapas y perfiles bastante detallados.

**La teledetección** es la técnica más reciente utilizada en los estudios de clima urbano. Los sensores situados en satélites o aviones captan la temperatura radiante de las superficies urbanas, lo que permite un análisis detallado de la distribución espacial de la misma y su correlación con variables urbanas.

### Líneas de investigación de la climatología urbana y su aplicación al área de Madrid

Los primeros estudios del clima urbano se centraron en la génesis y caracterización de la isla de calor, pero desde la segunda mitad del siglo pasado se han desarrollado otro tipo de estudios tendentes a evaluar sus impactos sobre la salud y el confort de los habitantes de las ciudades, así como en las

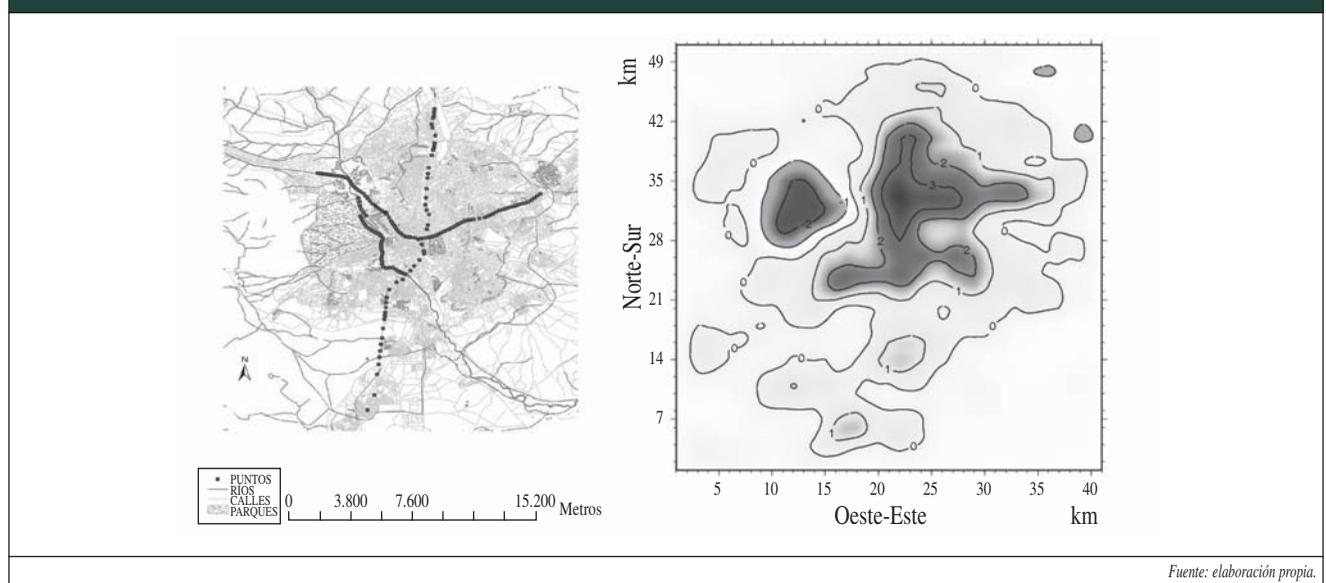
“ Desde la segunda mitad del siglo pasado se han desarrollado los estudios tendentes a evaluar sus impactos sobre la salud y el confort de los habitantes de las ciudades ”

estrategias para disminuir tales impactos. En la actualidad las principales líneas de investigación podemos resumirlas en:

- El análisis de la intensidad y frecuencia de la isla de calor, como indicativo de la magnitud del fenómeno urbano.
- La modelización espacial de la isla de calor atmosférica y superficial en diferentes situaciones meteorológicas, especialmente en eventos extremos como las olas de calor en el periodo estival.
- La evaluación de impactos sobre el confort térmico y el consumo energético.

Estas tres líneas se han desarrollado de forma sistemática en Madrid, desde los primeros estudios iniciados en 1984. Pasamos a presentar algunos de los resultados más significativos, como representativos de los temas que acabamos de exponer.

FIGURA 2. TRANSECTOS TÉRMICOS Y ESTRUCTURA DE LA ISLA DE CALOR MEDIA EN MADRID



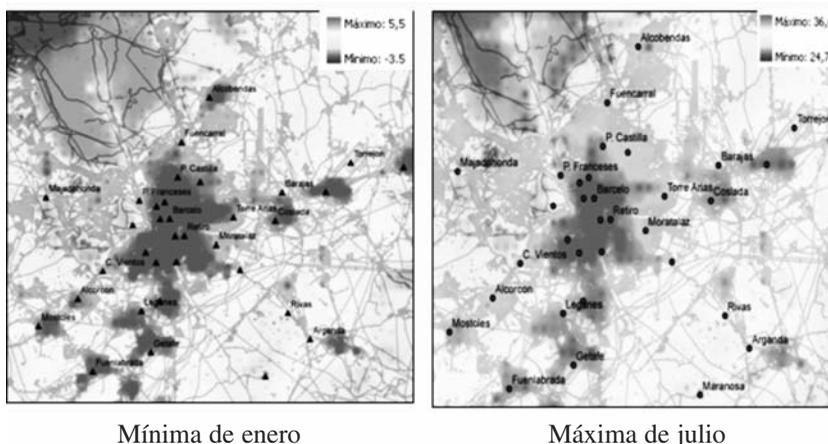
Fuente: elaboración propia.

**1.- La isla de calor durante los episodios cálidos.** Uno de los aspectos más preocupantes en la actualidad es la influencia urbana durante las olas de calor, cuyos efectos se ven agudizados como consecuencia de la isla de calor urbana. El calor estival es el rasgo dominante del verano en el área metropolitana madrileña y a fin de evaluar la incidencia de la ciudad durante las olas de calor, hemos comparado la frecuencia e intensidad de la isla de calor en el conjunto de los días estivales y en aquellos en los que la temperatura máxima supera los 36,5°C. La suma acumulada de la isla de calor horaria (figura 1), demuestra que durante los días más cálidos el excedente térmico urbano es 18°C superior a los días estivales normales lo que es un claro indicio de la agudización del efecto térmico durante estos periodos.

**2.- Modelización de la isla de calor.** En la figura 2 se muestra la estructura de la isla de calor madrileña, obtenida a partir de la relación existente entre la estructura térmica y morfológica de Madrid. La primera se ha obtenido a partir de más de 100 transectos agrupados en tres trayectos que cubren la mayor parte de la ciudad a diversas horas del día. Las isotermas presentan un trazado concéntrico desde el centro urbano, más cálido, hacia la periferia, más fría. La casa de campo, hacia el oeste y el parque del Retiro, en el interior de la ciudad aparecen como zonas frescas o frías, rompiendo la regularidad del trazado.

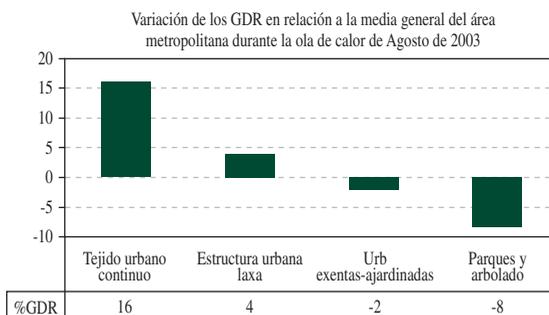
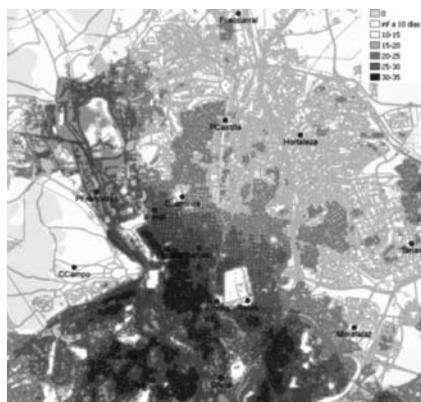
**3.- Caracterización del régimen de confort.** Uno de los impactos más negativos de la isla de calor es la agudización del estrés térmico con repercusiones muy importantes en la salud y el consumo eléctrico asociado al aumento de los ai-

**FIGURA 3. VALORES DE LA TEMPERATURA FISIOLÓGICA EN INVIERNO Y VERANO EN EL ÁREA METROPOLITANA MADRILEÑA**



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DÍAS EXTREMADAMENTE CÁLIDOS EN MADRID (2002-2004)**



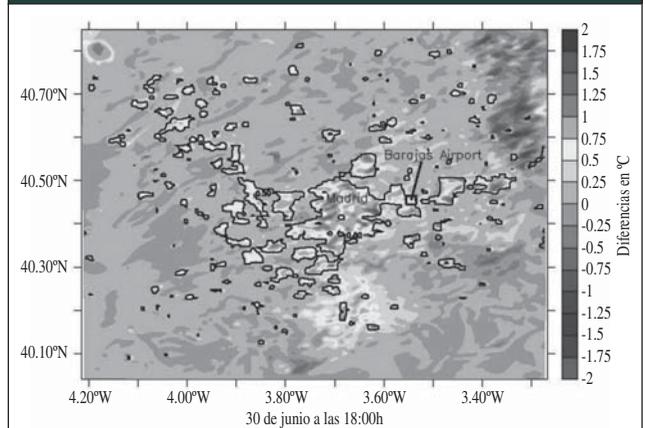
Fuente: elaboración propia.

res acondicionados. En la figura 3 se representa la temperatura fisiológica equivalente, resultante al combinar la temperatura del aire, la del suelo, la humedad y el viento. La influencia urbana queda claramente reflejada en el archipiélago de puntos cálidos asociados a los núcleos urbanos del área metropolitana.

En la figura 4, se representa la distribución espacial de los días extremadamente cálidos en la ciudad de Madrid y la variación porcentual de los grados días de refrigeración (GDR) en diferentes zonas. El hecho más destacable es la marcada influencia de las zonas verdes, dibujándose en el mapa de forma muy nítida la mancha fría en invierno y fresca en verano del parque del Retiro y el claro contraste entre el sector SW de la ciudad, de urbanización compacta y escasa vegetación, frente a las zonas más frescas del N y NE, donde predominan las urbanizaciones abiertas, viviendas unifamiliares y abundante vegetación en las calles y plazas.

Por último, en la figura 5, se representa la distribución de la isla de calor en el área metropolitana obtenida a partir de un modelo de simulación mesoescalar.

**FIGURA 5. DIFERENCIAS DE TEMPERATURA ENTRE UNA SIMULACIÓN CON LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EMITIENDO CALOR A LA ATMÓSFERA Y NO EMITIENDO**



Fuente: Salamanca et al. 2011.

**Para saber más...**

- Fernández- García, F. Galán-Gallego, E. y Cañada-Torrecilla, R. Coord. (1998): **Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas**. Madrid, Ed. Parteluz, 606 pp.
- Fernández-García, F., et al. (1999). *Airborne remote sensing as a tool to study the links between land use and urban heat island*, en **3rd Historical cities. Sustainable Development: The GIS as Design and Management Support**. Siracusa, Italy. 20-21 de abril de 1999. European Commission. Histocity Network.
- Fernández-García, F. (2001-2002): *El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico*. **Boletín de la Real Sociedad Geográfica**, pp. 169 a 185.
- Fernández-García, F. Montavez, J.P., et al. (2003): *A PCA analysis of the UHI form of Madrid (Spain)*, en **Fifth International Conference on Urban Climate**. Lodz (Polonia). 55-58.
- Fernández García, F. y Rasilla, D. (2009): *Urban enhancement of the heat waves in Madrid and its metropolitan area*, en **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 11, EGU2009-6123, 2009. EGU General Assembly 2009. *6th Annual Meeting of the EMS/6th ECAC*.
- Fernández-García, F (2009): *Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid*. **Investigaciones Geográficas**, 49:173-195.
- Fernández-García, F., et al. (2010). *Caracterización del régimen bioclimático medio del área metropolitana de Madrid mediante la aplicación de la temperatura fisiológica (PET)*, en **Clima, ciudad y ecosistemas** (Felipe Fernández, Encarna Galán y Rosa Cañada, eds.). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, 7:505-514.
- Fernández-García, F. and Martilli, A. (2011): Country Report: *Urban Climate Research in Spain. Urban Climate News\_ IAUC (International Association Urban Climate)*. Pp. 34-40.
- López Gómez, A., y Fernández García, F. (1984): La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. *Revista de Estudios Geográficos*, 174: 5-34.
- López Gómez, A, J, Fernández- García, F., y Moreno-Jiménez, A (1993a). *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid, Ministerio de Obras públicas y Transportes, Serie Monografías. 230 pp.
- López Gómez, A., Fernández García, F. et al. (1993b). **El clima de las ciudades españolas**. Madrid, Cátedra, 268 pp.
- Martilli, A., Clappier, A., Rotach, M.W. (2002). An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. **Boundary-Layer Meteorology** 104, 261-304.
- Salamanca, F., Martilli A., Yague C. (2011). A numerical study of the urban boundary layer over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies of the Urban Heat Island. **International Journal of Climatology**.