



## VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA CIUDAD DE ZARAGOZA (ESPAÑA)

JOSÉ M. CUADRAT<sup>1,2,\*</sup>, ROBERTO SERRANO-NOTIVOLI<sup>3</sup>,  
SAMUEL BARRAO<sup>1,2</sup>, MIGUEL ÁNGEL SAZ<sup>1,2</sup>,  
ERNESTO TEJEDOR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España.

<sup>2</sup>Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, Universidad de Zaragoza, España.

<sup>3</sup>Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, España.

<sup>4</sup>Department of Atmospheric and Environmental Sciences, University at Albany, United States.

**RESUMEN.** En este artículo se analiza la intensidad y la variabilidad temporal de la isla de calor urbana (ICU) de la ciudad de Zaragoza (España) y se evalúa la acción del viento como importante factor atmosférico condicionante de la misma. A partir de los datos horarios proporcionados por la red meteorológica urbana de mesoescala de la ciudad, se calculó la diferencia de temperatura entre dos observatorios, uno urbano (Plaza Santa Marta) y otro en las afueras del área urbana (Ciudad Deportiva), en el periodo 2015-2020. Los resultados indican que la temperatura en el centro de la ciudad es, con mucha frecuencia, 1º o 2ºC más elevada que en el entorno, y en ocasiones ha llegado a superar los 8ºC. La ICU es más intensa en verano (promedios horarios de 2,5ºC) que en invierno (promedio de 2,2ºC) y es más intensa durante la noche que durante el día. El valor máximo de la ICU se alcanza en situaciones de calma atmosférica; en cambio, se debilita claramente con vientos de más de 10 km/h y llega prácticamente a desaparecer con velocidades superiores a 50 km/h.

### *Temporal variability of the urban heat island in Zaragoza (Spain)*

**ABSTRACT.** We analyse the temporal intensity and variability of the urban heat island (UHI) in the city of Zaragoza (Spain), and assess the role of wind as an important atmospheric conditioning factor. Based on the time data provided by the city's urban mesoscale meteorological network, the temperature difference between two observatories, one urban (Plaza Santa Marta) and one located on the outskirts of the urban area (Ciudad Deportiva), was calculated for the 2015-2020 period. The results indicate that the temperature in the city centre is very frequently 1º or 2ºC higher than in the surroundings, sometimes even more than 8ºC higher. The UHI is more intense in summer (an average of 2.5ºC per hour) than in winter (an average of 2.2ºC per hour) and more intense during the night than during the day. The maximum UHI value is reached in calm atmospheric situations; however, this value is very limited with winds over 10 km/h and it practically disappears with wind speeds over 50 km/h.

**Palabras clave:** clima urbano, isla de calor urbano (ICU), velocidad del viento, Zaragoza, España.

**Key words:** urban climate, Urban Heat Island (UHI), wind speed, Zaragoza, Spain.

Recibido: 8 Febrero 2021

Aceptado: 30 Junio 2021

## 1. Introducción

Es bien conocido que las ciudades transforman el medio físico donde se asientan. Su masa compacta de edificios supone una alteración profunda del paisaje natural, la cubierta vegetal es sustituida por un substrato impermeable y las actividades de sus habitantes son una fuente considerable de calor y contaminación. Estos cambios afectan al conjunto de sus condiciones ambientales, pero de manera especial al clima, cuya consecuencia más perceptible es el desarrollo de la denominada isla de calor urbano (ICU), que se define por la mayor temperatura del aire del centro de la ciudad en relación con el espacio rural circundante (Oke, 1995). La ICU es un fenómeno de escala local o, a lo sumo regional, que puede suponer diferencias térmicas, en noches de viento en calma o muy débil y cielo despejado, de más de 7-8°C en las grandes urbes: p. ej. New York (Gedzelman *et al.*, 2003), Londres (Kolokotroni y Giridharan, 2008), París (APUR, 2012), Moscú (Lokoshchenko, 2014) o Berlín (Fenner, 2014). Por el contrario, al aumentar la velocidad del viento la ICU disminuye y llega hacerse prácticamente imperceptible. Algunos autores han sugerido la existencia de una “velocidad límite del viento” a partir de la cual la ICU es nula (Oke y Hannell, 1970). Las velocidades del viento de 35-40 km son valores de referencia de este límite crítico encontrado para ciudades muy desiguales como Seúl (Kim y Baik, 2002) y Salamanca (Alonso *et al.*, 2007). En Zaragoza es superior, y se parece más al límite de 50 Km/h encontrado en otras ciudades, como por ejemplo Buenos Aires (Camilloni y Barrucand, 2012). No obstante, se trata de valores muy dispares, no siempre fáciles de precisar, que están relacionados con las características morfológicas de cada ciudad. La intensidad de la ICU y su configuración tienen que ver con el tamaño, la población y la latitud de la ciudad (Hogan y Ferrick, 1988), y por lo general, es mayor en verano que en invierno (Morris *et al.*, 2001). Es muy evidente durante la noche, y puede llegar a desaparecer durante el día (Jauregui, 1997; Steinecke, 1999).

La ICU es una característica climática observada científicamente desde el siglo XIX en los trabajos pioneros de Howard (1818) sobre la ciudad de Londres. Desde entonces la preocupación por el conocimiento del clima urbano ha ido en aumento, y en la actualidad ocupa un lugar privilegiado como tema de estudio por la trascendencia económica y social que tiene el fenómeno urbano y la incidencia del clima sobre el confort, la salud humana y la calidad de vida (p. ej. Alcoforado y Matzarakis, 2010; Taylor *et al.*, 2015; Román *et al.*, 2017). Este interés aplicado es el que está en el origen de las primeras investigaciones del clima de la ciudad de Zaragoza, centradas primero en el análisis de la relación clima-contaminación atmosférica (Ascaso, 1969) y más tarde en las características bioclimáticas y confort urbanos (Calvo-Palacios, 1976).

Los trabajos siguientes han progresado en dos niveles de análisis: uno inicial, de estudio de los rasgos generales y patrones espaciales de las islas de calor y de sequedad, y otro más reciente, que contempla los principales factores que influyen sobre el clima de la ciudad (Cuadrat *et al.*, 1993; De la Riva *et al.*, 1997; Cuadrat *et al.*, 2005; López Martín, 2011; Cuadrat *et al.*, 2015). La metodología de trabajo se apoyó en los datos procedentes de los observatorios meteorológicos, los transectos urbanos en automóvil y el uso de imágenes de satélite. Sin embargo, esta información no permite un seguimiento continuo de la ICU, ni conocer la acción relevante que sobre la misma tienen buen número de factores, como es el caso particular del viento en Zaragoza, donde sopla con reiteración e intensidad. Para avanzar en la investigación, el año 2015 se monitorizó la ciudad con una amplia red de sensores termohigrométricos ubicados en lugares seleccionados del interior urbano y área rural circundante que permiten un examen más preciso de muchos rasgos del clima urbano todavía poco estudiados. Con estos nuevos datos, el objetivo de esa investigación es analizar en detalle la intensidad y la variabilidad en el

De estos valores se concluye, asimismo, otro rasgo muy común en los núcleos urbanos: en el interior de Zaragoza hay menor contraste térmico, pues las amplitudes diarias son menores; por el contrario, en el medio rural se comprueba una mayor amplitud, ya que en los momentos centrales del día las temperaturas suelen ser algo más altas y por la noche sensiblemente más frías.

La influencia del viento sobre la ICU es también muy evidente. En situaciones de calma atmosférica o ligera brisa la isla de calor alcanza su máxima intensidad, pero se debilita claramente conforme aumenta la velocidad del viento. El valor de 50 km/h puede fijarse como referencia de límite crítico a partir del cual la ICU se vuelve nula; no obstante, siempre permanece una débil isla por el efecto abrigo que genera la ciudad frente al medio rural.

Un aspecto a resaltar es la importancia que tiene la selección adecuada de los observatorios meteorológicos utilizados para comparar las temperaturas de la ciudad y del espacio no urbano próximo. Posiblemente es una de las tareas más difíciles en el análisis de la ICU. En este estudio se han elegido dos puntos que consideramos térmica y geográficamente correctos, porque respetan los requisitos exigidos en este tipo de estudios: el primero está ubicado en un lugar central y denso de la urbe, y el segundo en un medio rural, abierto y alejado de la influencia urbana. Lógicamente, la elección de otros puntos de observación puede introducir pequeños cambios en los resultados finales, sin embargo, los rasgos fundamentales de la isla de calor están bien definidos en esta investigación.

Los resultados de esta investigación suponen un paso más en el conocimiento de la ICU de Zaragoza y confirman la importancia del fenómeno en términos de calentamiento nocturno en el centro de la ciudad por contraste con el espacio periurbano. Buena parte de los estudios previos de la ICU zaragozana se han apoyado en los registros térmicos directos obtenidos en recorridos del área urbana y su periferia. Esta metodología utilizada hasta ahora ha servido para determinar la configuración de la isla de calor, conocer la ubicación de los valores máximos de la misma y observar la diversidad microclimática de la ciudad. La recién instalación de la red de sensores termohigrométricos amplía las posibilidades de estudio y ha permitido en esta investigación estimar con cierto detalle la intensidad de la ICU y analizar su variabilidad en el tiempo; además de explicar la importante acción condicionante del viento. La suma de todo este conocimiento facilita emprender nuevos objetivos por las implicaciones que esta característica climática urbana tiene sobre cuestiones ambientales relevantes como el confort térmico, la salud humana, el consumo de energía o la calidad de vida en nuestras ciudades.

## Referencias

- Alcoforado, M.J., Matzarakis, A. 2010. Planning with urban climate in different climatic zones. *Geographica* 57, 5-39. [http://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.201057808](http://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201057808)
- Alcoforado, M.J., Lopes, A., Lima, E., Canário, P. 2014. Lisboa Heat Island. Statistical study (2004-2014). *Finisterra* 98, 61-80. <https://doi.org/10.18055/Finis6456>
- Alonso, M.S., Fidalgo, M.R., Labajo, J.L. 2007. The urban heat island in Salamanca (Spain) and its relationship to meteorological parameters. *Climate Research* 34, 39-46. <https://doi.org/10.3354/cr034039>
- Ascaso, A. 1969. Contaminación y contaminadores atmosféricos. El problema en Zaragoza. *Las Ciencias* 1, 22-34.
- Barrao, S., Cuadrat, J.M., Saz, M.A., Serrano-Notivoli, R., Tejedor, E. 2020. Olas de calor y olas de frío en la ciudad de Zaragoza (España) y sus efectos sobre las enfermedades cardiorrespiratorias, 2011-2015. En: *Crisis y espacios de oportunidad. Retos para la Geografía*. Asociación Española de Geografía, Valencia, págs. 343-358. ISBN: 978-84-947 787-2-8.
- Calvo-Palacios, J.L. 1976. Aportación metodológica al estudio geográfico del microclima urbano. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica* 42, 95-110.
- Camilloni, I., Barrucand, M. 2012. Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 47-58. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0459-z>

- Cuadrat, J.M., Vicente-Serrano, S., Saz, M.A. 2005. Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de la AGE* 40, 311-327. <https://bage.age-geografía.es/ojs/index.php/bage/article/view/2019>
- Cuadrat, J.M. 2004. Patrones temporales de la isla de calor urbana de Zaragoza. En: M.C. Faus (Coord.), *Aportaciones geográficas en homenaje al profesor Higuera*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, págs. 63-70. ISBN: 84-96214-32-X.
- Cuadrat, J.M. 1999. El clima de Aragón. Institución Fernando El Católico. Zaragoza. ISBN 84-88305-72-9.
- Cuadrat, J.M., De La Riva, J., López, F., Martí, A. 1993. El medio ambiente urbano en Zaragoza. Observaciones sobre la isla de calor. *Anales Universidad Complutense* 13, 127-138. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC9393110127A>
- Cuadrat, J.M., Vicente-Serrano, S., Saz, M.A. 2015. Influence of different factors on relative air humidity in Zaragoza, Spain. *Frontiers in Earth Science* 3 (10). <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00010>
- De La Riva, J., Cuadrat, J.M., López, F., Martí A. 1997. Aplicación de las imágenes Landsat TM al estudio de la isla de calor térmica de Zaragoza. *Geographica* 35, 24-36. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.1997351701](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1997351701)
- Fenner, D., Meier, F., Scherer, D., Polze, A. 2014. Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001-2010. *Urban Climate* 10, 308-331. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.02.004>
- Fernández, F. 2009. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas* 49, 173-195. <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.09>
- Fernández, F., Galán, E., Cañada, R. 1998. *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Editorial Parteluz, 215 p. Madrid, ISBN: 84-8230-016-4.
- Gedzelman, S.D., Austin, S., Cermak, R. N., Stefano, R., Partridge, S., Quesenberry, S., Robinson, D.A. 2003. Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City. *Theoretical and Applied Climatology* 75, 29-42. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0724-2>
- Hogan, A.W., Ferrick, M.G. 1988. Observations in nonurban heat islands. *Journal of Applied Meteorology* 37, 232-236. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1998\)037<0232:OINHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1998)037<0232:OINHI>2.0.CO;2)
- Howard, L. 1818. *The Climate of London*. Longman, London., 221 p.
- Jauregui, E. 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31, 3821-3831. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00136-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00136-2)
- Kim, Y.H., Baik, J.J. 2002. Maximum urban heat island intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology* 41, 651-659. <https://doi.org/10.1175/1520-0450>
- Kolokotroni, M., Giridharan, R. 2008. Urban heat island intensity in London: an investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy* 82, 986-998. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.004>
- Lokoshchenko, M.A. 2014. Urban heat island in Moscow. *Urban Climate* 10 (3), 550-562. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.008>
- Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M.J., Machete, R. 2013. Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. *Advances in Meteorology* 15, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2013/487695>
- López-Martín, F. 2011. *Clima urbano y ciudad. El caso de Zaragoza*. Universidad San Jorge-Colegio de Geógrafos. Zaragoza, 118 p. ISBN: 978-84-615-2098-5.
- Martín-Vide, J., Sarricolea, P., Moreno-García, M.C. 2015a. On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Frontiers in Earth Science* 3, 3 p. <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00024>
- Martín-Vide, J., Cordobilla, M.J., Artola, V.M., Moreno-García, M.C. 2015b. *La isla de calor en el Área Metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático*. Barcelona, Área Metropolitana de Barcelona. 120 p.

- Morris, C.J., Simmonds, I., Plummer, N. 2001. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology* 40, 169-182. <https://doi.org/10.1175/1520-0450>
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108, 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T.R. 1995. *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*. En: J.E. Cermak, A.G. Davenport, E.J. Plate, D.X., Viegas, (Eds.). *Wind Climate in Cities*. Kluwer-Academic Publ. Norwell, 81-107. ISBN 978-94-017-3686-2
- Oke, T.R. 1996. *Boundary layer climates*. 2nd ed. Routledge, London. ISBN 0-415-04319-0.
- Oke, T.R., Hannell, F.G. 1970. *The form of the urban heat island in Hamilton, Canada*. WMO Tech Note 108, págs. 113–126.
- Román, E., Gómez, G., de Luxán, M. 2017. *Urban Heat Island of Madrid and its influence over Urban Thermal Comfort*. En: P. Mercader-Moyano (Ed.). *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering*. Springer, Cham, pp 415-425. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-51442-0\\_34](http://doi.org/10.1007/978-3-319-51442-0_34)
- Steinecke, K. 1999. Urban climatological studies in the Reykjavík subarctic environment, Iceland. *Atmospheric Environment* 33, 4157-4162. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00158-2)
- Stewart, I., Oke, T.R. 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin American Meteorological Society* 93 (12), 1879-1900. <http://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stewart, I.D. 2010. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology* 31, 200-217. <https://doi.org/10.1002/joc.2141>
- Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M., Armstrong, B., Chalabi, Z., Mavrogianni, A., Symonds, P., Oikonomou, E., Bohnenstengel, S. 2015. Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Climate* 14, pp.517-528. <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.001>
- Tejedor, E., Cuadrat, J.M., Saz, M.A., Serrano-Notivol, R., López, N., Aladrén, M. 2016. *Islas de calor y confort térmico en Zaragoza durante la ola de calor de julio de 2015*. En: J. Olcina, A. Rico, E. Moltó (Eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Asociación Española de Climatología. Vol. 10. Alicante, págs. 141-152. <http://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-13>
- Yagüe, C., Zurita, E., Martínez, A. 1991. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atmospheric Environment* 25B, 327-332. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90004-X)