

## VALORES DE PROBABILIDAD DE LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DE BARCELONA

Javier MARTÍN-VIDE, M<sup>a</sup> Carmen MORENO GARCÍA, M<sup>a</sup> José CORDOBILLA  
*Grupo de Climatología. Universidad de Barcelona.*  
**[jmartinvide@ub.edu](mailto:jmartinvide@ub.edu), [mcmoreno@ub.edu](mailto:mcmoreno@ub.edu), [mj.cordobilla@ub.edu](mailto:mj.cordobilla@ub.edu)**

### RESUMEN

En el contexto actual de cambio climático, la isla de calor urbana ha dejado de ser un fenómeno local curioso para convertirse en un nuevo riesgo meteorológico en las ciudades mediterráneas durante las olas de calor, por el plus térmico nocturno, reflejado en unas temperaturas mínimas muy altas que tienen efectos negativos en la salud. El objetivo es el cálculo de los valores de probabilidad de diferentes intensidades de la isla de calor de Barcelona. Los datos analizados son las temperaturas mínimas diarias de Barcelona-Vila Olímpica y Barcelona-Aeropuerto (AEMet) de la década 2004-2013. El método empleado ha sido el ajuste, mediante leyes de probabilidad, de las distribuciones empíricas de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los dos observatorios. Mediante ellas, se han obtenido los valores anuales, estacionales y mensuales de probabilidad de intensidades de isla de calor superiores a 1°C, 2°C, 3°C,... Algunas de las distribuciones de mejor ajuste han sido: Kumaraswamy, Johnson SU y Gumbel de mínimos. Uno de los principales resultados es que la probabilidad de una diferencia superior a 5°C es de 1,2% (la mayor intensidad registrada fue de 7,4°C).

**Palabras clave:** Barcelona, isla de calor urbana, probabilidad, temperatura mínima.

### ABSTRACT

In the current context of climate change, the urban heat island has ceased to be a curious local phenomenon to become a new meteorological risk in Mediterranean cities during the heat waves, because of the night thermal plus, reflected in very high minimum temperatures that have negative effects on health. The objective is the calculation of the probability values of different intensities of the Barcelona heat island. The data analyzed are the minimum daily temperatures of Barcelona-Vila Olímpica and Barcelona-Aeropuerto (AEMet) of the 2004-2013 decade. The method used has been the adjustment, by means of probability laws, of the empirical distributions of the differences between the minimum daily temperatures of the two meteorological stations. Through them, the annual, seasonal and monthly values of heat island intensities probability higher than 1°C, 2°C, 3°C,... have been obtained. Some of the distributions of better fit have been: Kumaraswamy, Johnson SU and Gumbel of minimums. One of the main results is that the probability of a difference greater than 5°C is 1.2% (the highest intensity recorded was 7.4°C).

**Key words:** Barcelona, minimum temperature, probability, urban heat island.

## 1. INTRODUCCIÓN

La isla de calor, o isla térmica, es el fenómeno más claro de modificación local del clima por causa urbana. Se trata de una anomalía térmica positiva, preferentemente nocturna, en el centro de las ciudades por contraste con su periferia. Es un fenómeno multicausal (Tabla 1), particularmente desarrollado en noches despejadas o poco nubosas, con viento en calma o flojo y condiciones de estabilidad atmosférica. Cuanto más populosa es la ciudad, más intenso suele ser el fenómeno, a igualdad de las condiciones anteriormente citadas. Desde un punto de vista geográfico, interesa conocer su forma, a partir de los campos de isotermas superficiales, su núcleo, o sector más cálido, generalmente en el corazón de la ciudad, y su intensidad.

La intensidad de la isla de calor se define como la diferencia, en un momento determinado, entre las temperaturas registradas en el sector más cálido de la ciudad, normalmente en el centro de la misma, y en un punto no urbano de su entorno, o de la periferia. La intensidad de la isla de calor es el indicador más simple y cuantitativo de la modificación térmica que impone la urbe sobre el territorio en el que se emplaza y de su calentamiento relativo respecto al medio rural circundante, en horario nocturno (Kim y Baik, 2002; Memon *et al*, 2009; Martín-Vide *et al*, 2015a). Al tratarse de un fenómeno nocturno, la diferencia entre las temperaturas mínimas de un observatorio urbano central y de uno periférico, como puede ser el del aeropuerto de la ciudad, es un buen estimador de la intensidad del fenómeno.

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mayor almacenamiento de calor durante el día por la alta capacidad calorífica de los materiales construcción.</li> <li>2. Producción de calor antropogénico.</li> <li>3. Disminución de la evaporación por la pavimentación y la eficacia de los sistemas de drenaje.</li> <li>4. Menor pérdida de calor sensible por la reducción de la velocidad del viento.</li> <li>5. Aumento de la absorción de radiación solar por su “captura” a causa de la geometría urbana (“cañones urbanos”).</li> <li>6. Disminución de la irradiación nocturna por un bajo SVF.</li> <li>7. Reemisión hacia la superficie de radiación de onda larga por causa de la atmósfera contaminada (efecto invernadero).</li> </ol> |
|--|

*Tabla 1: Causas de la isla de calor urbana. Fuente: Moreno García (1999) y Martín-Vide (2017).*

En el caso de Barcelona, a partir de 1985 se comenzó a estudiar el fenómeno mediante la realización de transectos térmicos, es decir, recorridos radiales de la ciudad, pasando por su centro, desde la periferia hasta el punto opuesto de la misma, más otros circulares, con registro de la temperatura y de la humedad relativa del aire. Ello permitió dibujar los primeros mapas de isotermas, que revelaron una configuración aproximadamente concéntrica y diferencias térmicas muy notables algunas noches (Martín Vide, 1987; Moreno-García, 1994). Al mismo tiempo, se analizaron las diferencias entre las temperaturas mínimas de dos observatorios, uno urbano y el del aeropuerto, que revelaron valores máximos de la intensidad de la isla de calor barcelonesa cercanos a 8°C (Moreno-García, 1994).

En aquel momento de inicio de los estudios de la isla de calor de las ciudades españolas, llevado a cabo principalmente por geógrafos (López Gómez *et al*, 1993), el fenómeno tenía un cierto carácter anecdótico en la consideración de la Climatología española, preocupada, entre otros intereses, por la clasificación y caracterización de los climas y por los catálogos sinópticos. Hoy, sin embargo, las islas de calor han adquirido una singular relevancia científica y por sus implicaciones económicas y ambientales, y en particular en lo que respecta a la salud de la población que habita los centros urbanos. Solo el dato de que más de la mitad de los humanos vivimos en ciudades, cuyos climas son modificaciones de los de la región donde se asientan, y que en 2050 el porcentaje se elevará a un 70%, recalca por sí solo la importancia de su estudio.

En el caso de las ciudades españolas de veranos calurosos, las mediterráneas litorales e insulares y de la mitad sur peninsular, la isla de calor puede hoy ser considerada con toda propiedad un nuevo riesgo climático. En el contexto del cambio climático, con el aumento ya observado de la temperatura y el proyectado, y la ocurrencia creciente de olas de calor, el plus térmico de las islas de calor durante estos episodios da lugar a noches con temperatura notablemente elevada. Un indicador de esto es el número creciente de noches tropicales (temperatura mínima mayor de 20°C) y de noches tórridas (temperatura mínima mayor de 25°C), que se está demostrando que producen un claro aumento de la morbilidad y la mortalidad de los ancianos y otras personas con enfermedades crónicas (TICCC, 2016).

En el presente trabajo se analiza la intensidad de la isla de calor barcelonesa a partir del ajuste probabilístico de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios oficiales de la AEMet de Barcelona y de su aeropuerto del decenio 2004-2013, con el objeto de establecer la probabilidad de ocurrencia de intensidades de la isla de calor iguales o superiores a 1, 2, 3 °C, ..., a resolución anual, estacional y mensual. El observatorio urbano se localiza en el barrio de la Vila Olímpica, junto al mar, a una altitud similar al del aeropuerto, que también está próximo al mar, por lo que los registros de ambos son comparables si la intención es revelar la intensidad de la isla de calor.

## 2. DATOS Y MÉTODOS

### 2.1. Fundamentos

Uno de los objetivos principales de la mayoría de estudios sobre la isla de calor urbana es establecer su intensidad en determinadas noches o, incluso, si el número de observaciones es suficientemente amplio, su intensidad máxima y su intensidad media. Como se ha dicho anteriormente, la intensidad de la isla de calor,  $\Delta T_{u-r}$ , es:

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

donde  $T_u$  es la temperatura de un punto del centro cálido de la ciudad y  $T_r$ , la temperatura de un punto no urbano próximo a la ciudad.

La expresión anterior de la intensidad de la isla de calor se fundamenta en el esquema o modelo aditivo de Lowry (1977), que, simplícidamente, se resume del siguiente modo:

$T_u$ , la temperatura medida en el punto urbano cálido es función del clima de la región (C) en la que se localiza más el efecto de los factores geográficos locales del lugar de medida urbano ( $G_u$ ) y más la influencia de la urbanización (U):

$$T_u = C + G_u + U$$

$T_r$ , la temperatura medida en el punto no urbano es función del mismo clima regional más el efecto de los factores geográficos locales del lugar de medida no urbano ( $G_r$ ):

$$T_r = C + G_r$$

Si los factores geográficos locales son similares en ambos puntos, es decir,  $G_u = G_r$ , entonces la diferencia entre las dos temperaturas expresará el efecto de la urbanización:

$$U = T_u - T_r$$

Por tanto, es imprescindible, si se quiere dar un valor correcto y comparable de la intensidad de la isla de calor, elegir un punto no urbano con una altitud y una distancia al mar o a las masas de agua existentes comparables a las del punto urbano. Estos dos factores geográficos, altitud y distancia al mar, son los decisivos, mientras que otros, como la latitud, no aportan diferencias sustanciales entre los dos puntos. Si el punto no urbano se sitúa, por ejemplo, a varios centenares de metros por encima del urbano, su temperatura en promedio va a ser apreciablemente más baja, o episódicamente mayor si se da inversión térmica. En todo caso, el efecto urbano quedaría enmascarado al calcular la diferencia de temperaturas (Martin Vide *et al*, 2015). Es cierto, no obstante, que la disponibilidad de observatorios con registros fiables limita, muchas veces, la elección de los puntos urbano y no urbano.

En el presente estudio se ha elegido como punto urbano el observatorio oficial de primer orden de la Agencia Estatal de Meteorología en Barcelona, sito en la Vila Olímpica de Barcelona (41°23'26"N; 2°12'00"E; 25 m; indicativo 0201D), y como punto no urbano el observatorio de la misma institución del aeropuerto de Barcelona (41°17'34"N; 2°4'12"E; 4 m; indicativo 76), a una altitud similar y a una distancia al mar parecida. El primero no se localiza en el sector más cálido de la ciudad de Barcelona, que, por trabajos previos, estaría en la parte baja del Eixample (Moreno, 1993), en su contacto con el Raval, pero sus valores nocturnos difieren poco de los registrados en este sector, como se ha podido comprobar a partir de los registros del observatorio Barcelona-Raval (41°23'2"N; 2°10'39"; 33 m) del Servei Meteorològic de Catalunya de un período coincidente. Del mismo modo, el observatorio del aeropuerto de Barcelona tampoco se ubica en un ámbito rural, que prácticamente no existe en el área metropolitana de Barcelona, donde los tipos de superficies son, además de construidos e impermeabilizados, los correspondientes a espacios periurbanos y rururbanos, más que rurales. Habría que distanciarse mucho de Barcelona para encontrar espacios auténticamente rurales, con lo que no se cumplirían los requisitos del esquema de Lowry en cuanto al mismo clima de la región. El aeropuerto de Barcelona, a pesar de sus instalaciones, es un ámbito ampliamente abierto, con un "sky view factor" (SVF) muy elevado y, en consecuencia, con un enfriamiento nocturno marcado, que contrasta con el del centro de Barcelona. Además, como se ha dicho, su altitud y distancia al mar son similares a los de la parte baja de la ciudad de Barcelona.

## 2.2. Datos

Se han utilizado los valores diarios de la temperatura mínima del período que va del 1 de enero de 2004 al 31 de diciembre de 2013 de los observatorios oficiales de la AEMet de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, anteriormente citados. Potencialmente, sin lagunas en los registros, hubieran sido 7.306 valores, desglosados así: 3.653 temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y otros tantos valores del aeropuerto de Barcelona. El número de datos realmente disponible ha sido de 3.300 temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y 3.637 de temperaturas mínimas del aeropuerto de Barcelona. El número de datos disponibles en fechas comunes en los dos observatorios ha sido de 3.285. Al ser la isla de calor un fenómeno nocturno, el análisis se ha concentrado en las temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y las correspondientes del aeropuerto, dado que estas temperaturas se registran muy mayoritariamente en horario nocturno o al amanecer. Por tanto, se ha analizado prácticamente el 90% (3.285 de 3.653) de las diferencias entre las temperaturas mínimas comunes posibles en el período de estudio. La calidad de los datos está garantizada por el organismo oficial del que provienen. Aun así, se han sometido a un control de calidad básico, con el objeto de detectar posibles errores de transcripción, que han sido escasos. Complementariamente, se ha dispuesto de los valores diarios de las temperaturas mínimas del observatorio de Barcelona-Raval perteneciente al Servei Meteorològic de Catalunya del período que va del 11 de octubre de 2006, en que comienzan los registros, al 31 de diciembre de 2010. La diferencia entre las temperaturas mínimas de los observatorios de Barcelona-Vila Olímpica y Barcelona-Raval del citado período, más de 1.500 valores de cada lugar, es de 0,22°C favorable al segundo observatorio. Esto último refleja que el último se ubica más próximo al núcleo de la isla de calor de Barcelona.

### 2.3. Método

El primer paso metodológico es el cálculo de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de Barcelona ciudad y su aeropuerto, 3.285 valores. A continuación, se ha hallado la distribución de frecuencias de estas diferencias en clases de longitud 1°C y se ha construido su histograma. Igualmente, para cada estación y mes del año se han realizado las distribuciones de frecuencias y se han construido los correspondientes histogramas. Asimismo, para todo el período, así como para las estaciones y los meses, se han calculado los parámetros estadísticos descriptivos básicos: tamaño de la muestra, valores máximo y mínimo, rango, media, varianza, desviación típica, coeficiente de variación, error estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis y los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95.

Una vez descritas estadísticamente las muestras anual, estacionales y mensuales, en total 17 conjuntos estadísticos, se ha procedido a su ajuste mediante distribuciones de probabilidad. El paquete estadístico *EasyFit*, de Mathwave, especialmente indicado para el ajuste de muestras mediante distribuciones de probabilidad (contiene más de medio centenar de leyes de probabilidad), ha sido la herramienta empleada. Se ha elegido la distribución de mejor ajuste, salvo cuando desde un punto de vista metodológico tal elección fuera incongruente con la naturaleza de los datos analizados. Entre las distribuciones usadas están, aparte de la Normal: Pearson 5, Johnson SU, Kumaraswamy y Gumbel de mínimos (Martín-Vide *et al.*, 2015b). Finalmente, con las distribuciones de probabilidad seleccionadas en cada caso se han

hallado las probabilidades de que las diferencias entre las temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y de su aeropuerto sean positivas y sobrepasen 0, 1, 2, 3, 4°C.... De este modo se dispone de unos valores de probabilidad de la intensidad de la isla de calor barcelonesa.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Diferencias

Para el conjunto de los valores analizados, en la tabla 2 se presentan los valores de sus parámetros estadísticos básicos.

<i>Estadístico</i>	<i>Valor</i>	<i>Percentil</i>	<i>Valor</i>
Tamaño de la muestra	3.285	Mín	-3,5
Rango	10,9	5%	-0,4
Media	1,71	10%	0,1
Varianza	1,77	25% (Q1)	0,9
Desviación estándar	1,33	50% (Mediana)	1,6
Coef. de variación	0,779	75% (Q3)	2,6
Error estándar	0,023	90%	3,5
Asimetría	0,130	95%	4
Curtosis	0,302	Máx	7,4

*Tabla 2: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, en el período 2004-2013. Fuente: Martín-Vide et al (2015b).*

En el 91,9% de los días del decenio analizado la temperatura mínima en la metrópoli barcelonesa ha sido igual o mayor en la ciudad que en su aeropuerto, lo que habla a las claras de la frecuencia de la anomalía térmica positiva de la ciudad con relación a su entorno. La clase modal es la 1,0-2,0, con 1.060 casos. Como intensidades máximas de la isla de calor se han superado, en el período de análisis, los 7,0°C en un caso, concretamente 7,4°C, los 6,0°C en dos y los 5,0°C en treinta y cinco.

La media de las 3.285 diferencias entre temperaturas mínimas es 1,7°C, o, lo que es lo mismo, las noches en el corazón de la ciudad son, en promedio, cerca de 2°C más cálidas que en el aeropuerto. En esta afirmación se tiene en cuenta, además, los 0,22°C en que el observatorio complementario de Barcelona-Raval supera al de Barcelona-Vila Olímpica. Estos cerca de 2°C constituyen la intensidad media de la isla de calor barcelonesa, valor muy notable. El coeficiente de variación es elevado, 0,78, lo que delata un notable contraste en las diferencias de las temperaturas mínimas de los dos observatorios entre unas noches y otras. Finalmente, el histograma es muy poco asimétrico (no presentado) y la distribución es algo leptocúrtica. La regularidad de la distribución y su histograma avalan el tamaño de la muestra. Por último, en el 10% de

los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 3,5°C (percentil 90).

Al realizar el análisis por estaciones del año, se concluye que el invierno, seguido por el otoño, es la estación en que la isla de calor en Barcelona se manifiesta de forma más intensa y frecuente. Por meses, se aprecia que el porcentaje de noches con diferencias positivas a favor del aeropuerto de Barcelona disminuye de 14,64% en junio a 2,19% en enero, o, lo que es lo mismo, las islas de calor en Barcelona son más frecuentes en el mes central del invierno, y, en conjunto, en la mitad fría del año, que en verano, o la mitad cálida del año. Respecto a las mayores diferencias térmicas, de noviembre a marzo ha habido noches con diferencias entre Barcelona y su aeropuerto que han rebasado los 5°C. Uniendo frecuencia e intensidad, puede concluirse que es a partir de octubre cuando se inicia el período de las islas de calor más frecuentes e intensas, que llega hasta marzo.

### 3.2. Valores de probabilidad

Los valores de probabilidad de las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios analizados iguales o superiores a diferentes umbrales enteros se presentan en la tabla 3.

$\Delta T$ (°C)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Año
< 0	0,0836	0,1453	0,0790	0,0385	0,09714
$\geq 0$	0,9164	0,8547	0,9210	0,9615	0,90286
$\geq 1$	0,6898	0,5139	0,7476	0,8824	0,68943
$\geq 2$	0,3574	0,0779	0,3939	0,7214	0,39811
$\geq 3$	0,1145	0,0039	0,1331	0,4491	0,16729
$\geq 4$	0,0218	0,0003	0,0402	0,1500	0,05149
$\geq 5$	0,0025	2,95E-05	0,0120	0,0274	0,01193
$\geq 6$	0,0002	4,15E-06	0,0036	0,0048	0,00215
$\geq 7$	6,92E-06	7,32E-07	0,0011	9,57E-04	3,14E-04
$\geq 8$	1,83E-07	1,54E-07	3,18E-04	2,22E-04	3,80E-05
$\geq 9$	3,17E-09	3,77E-08	9,47E-05	5,86E-05	3,94E-06

Tabla 3: Valores de probabilidad de las diferencias entre las temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y Barcelona-Aeropuerto iguales o superiores a 0°C, 1°C, 2°C, ..., en el período 2004-2013.

En líneas generales, las estimaciones probabilísticas no difieren sustancialmente de los porcentajes empíricos, por el buen ajuste de las distribuciones de probabilidad seleccionadas para el año y cada estación del mismo. Anualmente, cabe destacar que casi en el 40% (39,8%) de las noches la ciudad es al menos 2°C más cálida que el aeropuerto; en una de cada 6 (16,7%), al menos 3°C; en un 5,1%, al menos 4°C, y en 1,2%, al menos 5°C, umbral que se corresponde con islas de calor que pueden calificarse de intensas en el área metropolitana barcelonesa. Por encima de las diferencias citadas, intensidades de la isla de calor de 6°C o más se dan en un 0,2% de las noches.

Por estaciones, existen diferencias significativas entre el otoño y el invierno, y el verano. En las dos primeras estaciones la probabilidad de que la intensidad de la isla

de calor barcelonesa sobrepase los  $7,0^{\circ}\text{C}$  es de  $0,1\%$ , es decir, en cada una de las dos estaciones, cada mil días, poco más de 10 otoños o de 10 inviernos, habrá una noche con tan alta intensidad del fenómeno. Por el contrario, en verano intensidades iguales o superiores a  $5^{\circ}\text{C}$  tienen una probabilidad de ocurrencia muy baja. Mensualmente, como ejemplos contrastados, se presentan dos de las distribuciones de mejor ajuste, para enero (Johnson SU) y para junio (Gumbel de mínimos) (Fig.1).

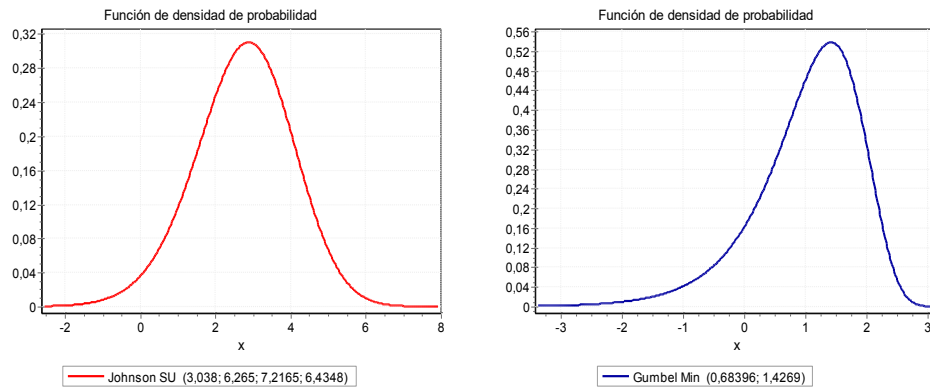


Figura 1: Distribuciones de probabilidad de ajuste de las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios en enero y junio.



Figura 2: Edificio de Barcelona con una fachada totalmente cubierta por vegetación. Foto: Javier Martín Vide.



#### 4. DISCUSIÓN

La diferencia entre las temperaturas mínimas de un punto de la parte cálida del centro de la ciudad representativo del núcleo habitual de la isla de calor y uno del entorno no urbano o poco urbanizado de la periferia es un buen indicador de la intensidad de la isla de calor, si sus altitudes son similares y sus distancias a las masas de agua, como el mar, parecidas. Aunque el observatorio urbano en el caso de estudio no se sitúa en el centro de la ciudad, sino en un barrio litoral, es representativo del efecto urbano en el clima, por las notables diferencias térmicas en horario nocturno que presenta respecto al observatorio periférico, el del aeropuerto de la ciudad, en un ámbito con un elevado SVF. El promedio de las intensidades de la isla de calor se acerca a 2°C, si se considera el observatorio urbano complementario más céntrico.

Los resultados a resolución anual obtenidos no difieren sustancialmente de los hallados por Moreno García (1994), con islas de calor que pueden llegar a sobrepasar una intensidad de 7°C, en sintonía con los estimados a partir de las rectas de regresión usando el logaritmo del número de habitantes de ciudades europeas (Oke, 1987) y españolas (Moreno García, 1998). Igualmente, si se considera la superficie urbanizada del municipio, la alta densidad urbana de Barcelona explica las elevadas intensidades de la isla de calor barcelonesa (Zhou *et al*, 2013).

Los valores a resolución estacional también muestran a las claras que el otoño y el invierno son las estaciones con islas de calor más intensas en Barcelona, mientras que en el verano el fenómeno es más débil, tal como ya se conocía (Moreno García, 1999) o como ocurre en otras ciudades ibéricas (López Gómez *et al*, 1993; Montávez, 2000). Esta pauta estacional no es ni mucho menos general, dado que en un buen número de ciudades de latitudes o climas similares y de otras zonas es el verano la estación en que la isla de calor se manifiesta con una mayor intensidad, como ocurre, por ejemplo, en Santiago de Chile (Sarricolea y Martín-Vide, 2014). El análisis por meses recalca la pauta estacional mencionada.

Finalmente, el plus térmico de las islas de calor en los centros urbanos durante las olas de calor se erige en un claro factor de desconfort climático, que puede en algunos casos derivar en un riesgo para la salud y la vida humana. Se impone el reverdecimiento ('greening') de las ciudades, aumentando la superficie de parques y jardines, así como el arbolado; el uso de cubiertas verdes y cubiertas frescas, y, en general, retornar, de alguna manera, el suelo asfaltado o pavimentado, y las mismas paredes de los edificios (Fig. 2), a unas condiciones más naturales, de suelos permeables y paredes vegetadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Proyecto CGL2017-83866-C3-2-R (CLICES) (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad); METROBS (Área Metropolitana de Barcelona y GECCC); Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA) (UB); Grupo de Climatología 2017 SGR 1362 (Generalitat de Catalunya); Víctor M. Artola, Marc Montlleó y Marc Prohom.

#### REFERENCIAS

- Basagaña, X.; Martínez, È.; Paaijmans, K.; Sunyer, J. (2016). Salut. In J. Martín-Vide (coord.), Tercer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya (437-464). Barcelona, Generalitat de Catalunya e IEC.
- Kim, Y.-H.; Baik, J.-J. (2002). Maximum urban heat island intensity in Seoul. *J. Appl. Meteorol.*, 41, 651–659.
- López Gómez, A.; Fernández, F.; Arroyo, F.; Martín Vide, J.; Cuadrat, J.M. (1993). El clima de las ciudades españolas. Madrid: Cátedra.
- Lowry, W. P. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *J. Appl. Meteorol.*, 16, 129–135.
- Memon, R. A.; Leung, D. Y. C.; Liu, C.-H. (2009). An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. *Atmos. Res.*, 94, 491–500.
- Martín Vide, J. (1987). El fenómeno de la “isla de calor”: el caso de Barcelona. *La Vanguardia. Ciencia*. 22-II-1987.
- Martin-Vide, J.; Sarricolea, P.; Moreno-García, M.C. (2015a). On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Front. Earth Sc.*, 3, 24.
- 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.
- Martín-Vide, J. (2017). Cambio climático y modificación local del clima en Barcelona. In D. Corbella (dir.), *L’aigua i l’espai públic. Anàlisi dels efectes del canvi climàtic* (21-32). Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona.
- Montávez, J.P.; Rodríguez, A.; Jiménez, J.I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *Int. J. Climatol.*, 20, 899-911.
- Moreno-García, M.C. (1994). Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *Int. J. Climatol.*, 14, 6. 705-710.
- Moreno García, M.C. (1998). Las investigaciones sobre el clima urbano de las ciudades españolas. In R.Cañada, E.Galán y F.Fernández (coord.), *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas* (177-196). Madrid: Parteluz.
- Moreno García, M.C. (1999). *Climatología urbana*. Barcelona: Univ. Barcelona.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Londres: Methuen.
- Sarricolea, P.; Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la isla de calor urbana de superficie del área metropolitana de Santiago de Chile con imágenes terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Rev. de Geografía Norte Grande* 57, 123–141.
- Zhou, B.; Rybski, D.; Kropp, J. P. (2013). On the statistics of urban heat island intensity. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 5486–5491.