

## 27. Isla de calor urbana y población vulnerable. El caso de Madrid

Sánchez-Guevara Sánchez, Carmen<sup>(1,\*)</sup>, Núñez Peiró, Miguel<sup>(1)</sup>, Neila  
González, Fco. Javier<sup>(1)</sup>

(1) (\*) Grupo de investigación ABIO. Universidad Politécnica de Madrid,  
carmen.sanchezguevara@upm.es, 913363889

### Resumen

El efecto de isla de calor urbana tiene como consecuencia el incremento de temperaturas en las zonas urbanas con respecto a las zonas rurales circundantes. Estudios previos han demostrado cómo estas diferencias pueden alcanzar los 8°C en los momentos más cálidos del verano de Madrid (Núñez Peiró et al. 2016). El impacto de este incremento de temperaturas sobre las condiciones de bienestar interior de las viviendas puede llegar a duplicar la demanda de refrigeración de las mismas (López Moreno et al. 2015).

Los hogares madrileños en situación de pobreza energética se ven afectados por este deterioro de las condiciones de habitabilidad en el interior de sus viviendas, lo cual tiene importantes consecuencias sobre su salud, entre las que se encuentra un incremento de la mortalidad entre los grupos de riesgo.

Esta investigación establece la conexión geoespacial entre la isla de calor y la población más vulnerable que habita la ciudad de Madrid. De este modo, es posible detectar y priorizar las áreas urbanas con mayores necesidades de intervención.

**Palabras clave:** Isla de calor urbana; indicadores urbanos; población vulnerable; ola de calor; pobreza energética.

### 1 Introducción

#### *1.1 Pertinencia de la investigación*

La isla de calor urbana (ICU) es un fenómeno reconocido por la comunidad científica por el cual se produce un incremento de las temperaturas en el centro de las ciudades en comparación con áreas de la periferia menos urbanizadas (Oke 1982). Estudios recientes de la ICU de Madrid han constatado que estas diferencias de temperatura pueden alcanzar los 8°C (Núñez Peiró et al. 2016).

Las proyecciones del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático señalan que este efecto se verá agravado en combinación con el incremento de temperaturas producido por el cambio climático (IPCC 2013). Además, y como consecuencia del cambio climático, para la Península Ibérica se espera un importante incremento en la frecuencia y duración de las olas de calor (Fischer & Schär 2010) las cuales serán más intensas en las áreas urbanas debido a la combinación con la isla de calor.

Como consecuencia la población se verá expuesta a temperaturas extremas: elevadas temperaturas diurnas junto con noches templadas a lo largo de numerosos días, lo cual tendrá un impacto importante sobre su salud. Estas consecuencias sobre la salud han sido ampliamente expuestas en la literatura existente y algunos grupos poblacionales han sido identificados como más vulnerables hacia este incremento de temperaturas. La edad de la población ha mostrado ser un factor importante, siendo los ancianos y los niños los más vulnerables frente al calor, así como personas con enfermedades crónicas o personas que viven en áreas muy densamente pobladas (Tomlinson et al. 2011; Culqui et al. 2013; Basu 2002; Díaz et al. 2002; Simon et al. 2005). En un informe reciente para la ciudad de Madrid, se han identificado algunos distritos como más vulnerables frente al cambio climático debido a sus temperaturas, su composición social y las deficiencias en la calidad de la edificación (Tapia et al. 2015).

A partir de esto la comunidad científica ha empezado a analizar si es posible establecer desigualdades sociales como consecuencia de la distribución del gradiente de temperaturas en la ciudad. Los resultados obtenidos en muchas de estas investigaciones han mostrado una correlación entre la localización dentro de la ciudad de las poblaciones más desfavorecidas y el registro de las temperaturas más altas (Harlan et al. 2015). Estos estudios se basan generalmente en la mortalidad asociada al calor y señalan algunos factores sociodemográficos como clave en la evaluación de esta vulnerabilidad: grupos de personas mayores de más de 60-65-70 años, bajo nivel de estudios, personas viudas, divorciadas o separadas que viven solas, rentas medias y bajas y viviendas de baja calidad (Wong et al. 2016; Klein Rosenthal et al. 2014). Hoy en día, en algunas ciudades se están desarrollando índices de vulnerabilidad al calor basados en la correlación entre las condiciones socioeconómicas y los riesgos a las altas temperaturas (Johnson & Wilson 2009; Johnson et al. 2012; Wolf & McGregor 2013).

En línea con estos estudios, la investigación desarrollada por Moreno Jiménez (2003) ya mostraba una correlación entre la localización de las rentas bajas en la Comunidad de Madrid y las zonas urbanas menos confortables desde un punto de vista térmico. Publicaciones más recientes han mostrado cómo este incremento de temperaturas en el centro de Madrid puede llegar a duplicar la demanda de refrigeración de las viviendas (López Moreno et al. 2015). Si a esto le sumamos que casi el 24% de los hogares madrileños tienen problemas a la hora de mantener su vivienda a una temperatura adecuada (Sánchez-Guevara et al. 2014), se hace necesario comprobar si esta relación entre la localización de los grupos poblacionales

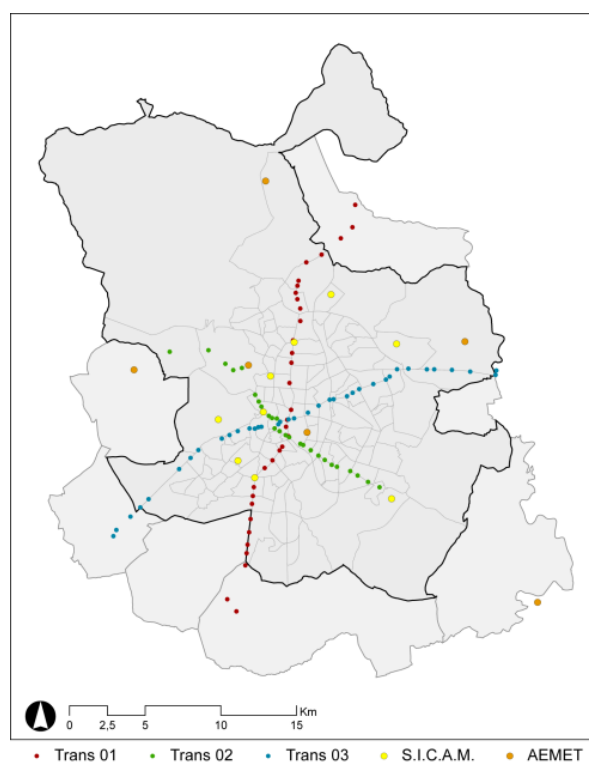
más desfavorecidos y el registro de temperaturas extremas se está produciendo en la ciudad de Madrid.

## 1.2 Objetivo

Este artículo explora la relación geoespacial entre la isla de calor de Madrid y la ubicación de la población más vulnerable frente a las altas temperaturas. El objetivo de la investigación es localizar dónde se encuentran estos barrios en los que viven los hogares con mayores necesidades y de este modo, establecer barrios prioritarios para la rehabilitación energética de viviendas así como las intervenciones a escala urbana.

## 2 Medios y métodos

### 2.1 La isla de calor de Madrid durante una ola de calor



**Fig. 1** Mapa de Madrid en el que se muestran los transectos realizados durante la noche del 15 de julio de 2015

Durante los años 2015 y 2016 se ha llevado a cabo en la ciudad de Madrid una campaña de mediciones de proximidad de temperatura ambiental, tal y como se refleja en la Figura 1. Éstas se registraron mediante la técnica de los transectos urbanos, metodología ya empleada en el primer estudio existente sobre la ICU de la ciudad (López Gómez et al. 1988). Los resultados que se muestran en este trabajo se corresponden a los obtenidos la noche de verano del 15 de julio de 2015, en condiciones de ola de calor y de máxima intensidad de isla de calor. Así, en esta investigación se ha trabajado con una instantánea del gradiente de temperaturas formado a partir de la combinación de ambos fenómenos.

## ***2.2 Indicadores de vulnerabilidad de la población hacia las altas temperaturas***

Investigaciones previas han demostrado que los indicadores socioeconómicos son clave en la detección de la vulnerabilidad hacia las enfermedades y el incremento de la mortalidad por altas temperaturas. Para llevar a cabo este estudio, se seleccionaron una serie de indicadores socioeconómicos del proyecto Urban Audit (Eurostat 2012). Este proyecto, que se comienza a llevar a cabo a finales de los 90, recoge datos estadísticos de distintas ciudades europeas que permiten la comparación entre sus niveles de vida. Este proyecto lo llevan a cabo la Dirección Regional de Política Regional y Urbana de la Comisión Europea y Eurostat.

La información estadística para la ciudad de Madrid se encuentra desagregada por áreas urbanas denominadas *sub-cities* las cuales contienen entre 5.000 y 40.000 habitantes. Estas unidades son menores que los distritos y se forman mediante la agregación de secciones censales.

De la base de datos de Urban Audit se seleccionaron cuatro indicadores:

- Renta neta media anual de los hogares (€): representa la renta de los hogares y la construcción de este indicador se realiza en base a la colaboración del Instituto Nacional de Estadística y la Agencia Tributaria.
- Proporción de extranjeros sobre la población total (%): proporción de personas que no tienen la nacionalidad del país de residencia independientemente del país de nacimiento.
- Hogares unipersonales (%): proporción de hogares sobre el total formados por una sola persona.
- Bajo nivel educativo (%): proporción de la población entre 25 y 65 años con un máximo nivel educativo IDCED 0,1 o 2 de acuerdo con la clasificación de las Naciones Unidas; Nivel 0 para educación preescolar, Nivel 1 para educación primaria o primer ciclo de educación básica y Nivel 2 para primer ciclo de la educación secundaria o segundo ciclo de la educación básica.

En línea con la literatura existente que recoge a las personas mayores y los niños como población de riesgo hacia las altas temperaturas, los datos de estos gru-

pos se extrajeron de padrón municipal de 2011 y se incorporaron al estudio con el mismo nivel de desagregación espacial de las sub-cities:

- Ancianos (%): proporción de la población mayor de 70 años.
- Niños (%): proporción de la población de menos de 4 años.

Estos indicadores se estudiaron para los 142 sub-cities o barrios de Madrid y se establecieron diferentes niveles de vulnerabilidad en función de la presencia de porcentajes significativos de estos grupos de población. De este modo se establecieron umbrales de vulnerabilidad por cuartiles; valores por encima del cuarto cuartil o por debajo del primero, en función del indicador. Además de esto se establecieron umbrales para la vulnerabilidad severa con el objetivo de profundizar en el grado de necesidad de los barrios, empleando para ello el primer o noveno decil, en función de cada uno de los indicadores. La Tabla 1 muestra estos umbrales para cada uno de los indicadores considerados.

**Tabla 1** Umbrales de vulnerabilidad para los indicadores considerados

<b>Indicador</b>	<b>Umbral de vulnerabilidad</b>	<b>Umbral de vulnerabilidad severa</b>
<b>Renta neta media anual de los hogares (€)</b>	< 27.189,45€ (Q1)	< 23.863,83€ (D1)
<b>Extranjeros (%)</b>	> 21,08% (Q4)	> 25,31% (D9)
<b>Bajo nivel de estudios (%)</b>	> 37,66% (Q4)	> 47,69% (D9)
<b>Hogares unipersonales (%)</b>	> 31,82% (Q4)	> 35,71% (D9)
<b>Ancianos (%)</b>	> 17,16% (Q4)	> 19,04% (D9)
<b>Niños (%)</b>	> 5,43% (Q4)	> 7,15% (D9)

### **2.3 Herramienta de Sistema de Información Geográfica**

Con el objetivo de gestionar, analizar y representar toda esta información se ha empleado un Sistema de Información Geográfica (SIG), desarrollado con el *software* ArcGIS versión 10.3. En este proceso la unidad mínima de agregación que se ha empleado se corresponde con la *sub-city*, definida anteriormente, y que recoge todos los indicadores socioeconómicos seleccionados de la base de datos de Urban Audit. A cada una de estas unidades mínimas se les ha asociado, además, una temperatura de referencia, basada en las mediciones descritas en el *apartado*

2.1, y cuyo valor se corresponde con la media aritmética de todos los puntos contenidos en su interior. Para su cálculo se ha empleado el paquete de estadística zonal de ArcGIS. Finalmente, a través de estos indicadores se han podido superponer los distintos niveles de información y obtener los mapas de vulnerabilidad que se muestran en el apartado 3 *Resultados*.

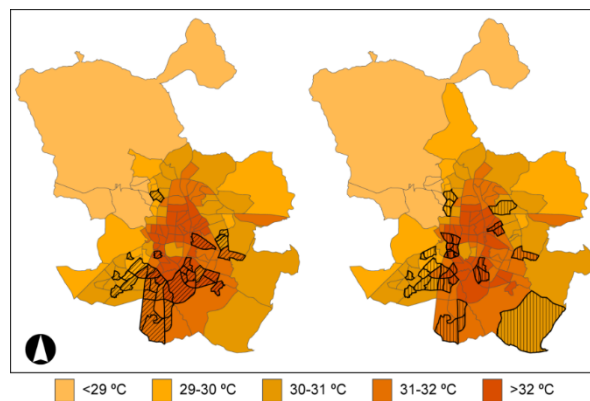
### **3 Resultados**

#### ***3.1 Indicadores socioeconómicos y la ICU de Madrid***

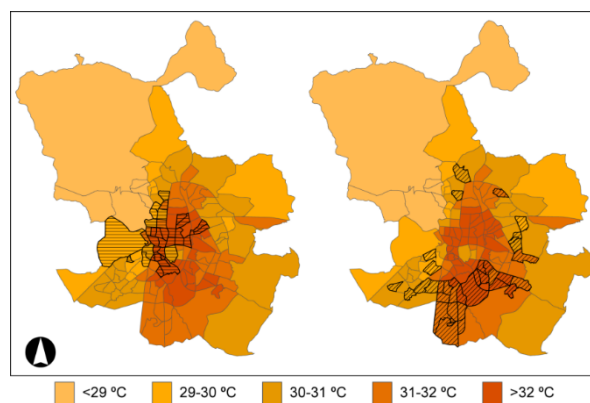
La primera parte del estudio ha consistido en analizar la relación entre el gradiente de temperaturas de la isla de calor y los indicadores socioeconómicos seleccionados. Para ello, se ha calculado el gradiente de temperaturas para cada una de las delimitaciones geográficas de las *subcities* o barrios, y así trabajar con áreas urbanas que se pudieran comparar. Se ha analizado por separado cada uno de los indicadores socioeconómicos comparándolo con el dato de temperatura de cada una de las áreas. Así, tal y como se puede observar en la Figura 2, los barrios cuya renta media se encuentra por debajo del primer cuartil se encuentran fundamentalmente en el sur de la ciudad, coincidiendo con las áreas en las que se registran mayores temperaturas. También en la Figura 2 se puede ver cómo muchos de los barrios con mayor índice de extranjeros se encuentran en algunas de las zonas de mayor temperatura, aunque en menor medida que los barrios de rentas bajas.

Las tasas más altas de hogares unipersonales se encuentran en las zonas centrales de la ciudad coincidiendo con las zonas donde se registraron las temperaturas más elevadas mientras que los barrios de menor nivel de estudios se concentran en el sur, como se muestra en la Figura 3. Finalmente, en la Figura 4 se muestra la relación entre los barrios más vulnerables por edad y la isla de calor de Madrid. Es posible detectar algunos de los barrios con mayor tasa de ancianos en áreas del centro de la ciudad donde mayores temperaturas se registraron, mientras que los barrios con mayor presencia de niños parecen localizarse en áreas un poco más periféricas de la ciudad y por tanto con mejores condiciones térmicas. Sí cabe destacar como excepción algunos barrios situados al sur de la ciudad con altas temperaturas y con importante presencia de niños.

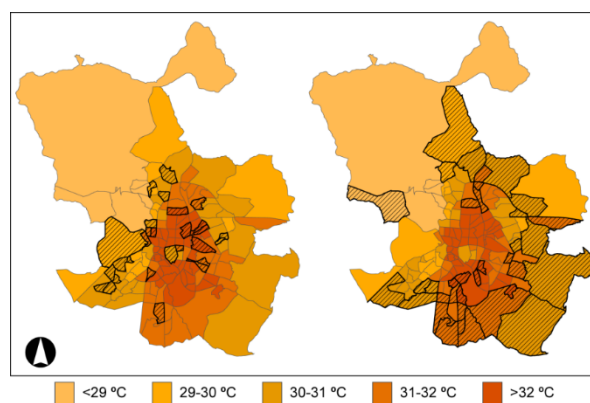
A partir de este primer análisis se puede establecer que existe una superposición clara entre la presencia de población más desfavorecida y aquellas zonas en las que se registran temperaturas más altas.



**Fig. 2** Mapa de la ICU de Madrid junto con los barrios cuya renta se encuentra por debajo del primer cuartil (izqda) y barrios con una tasa de extranjeros por encima del tercer cuartil.



**Fig. 3** Mapa de la ICU de Madrid junto con aquellos barrios con una tasa de hogares unipersonales superior al tercer cuartil (izqda) y barrios con una tasa de población bajo nivel de estudios superior al tercer cuartil (drcha.).



**Fig. 4** Mapa de la ICU de Madrid junto con aquellos barrios con una tasa de mayores de 70 años superior al tercer cuartil (izqda.) y barrios con una tasa de menores de 4 años superior al tercer cuartil (drcha.).

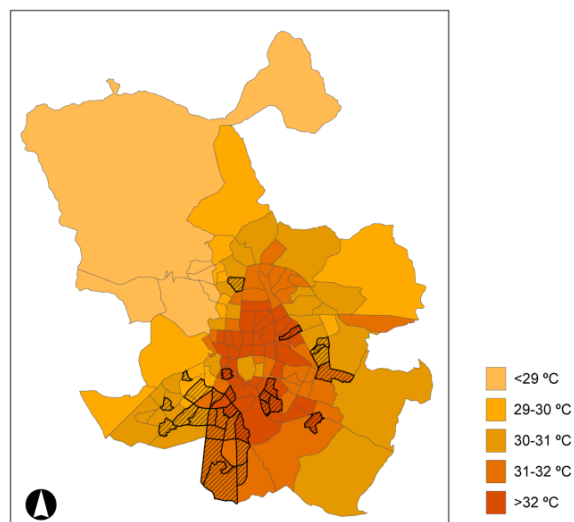
### ***3.2 Barrios vulnerables y la ICU de Madrid***

Tras analizar los indicadores de vulnerabilidad socioeconómica de manera individual y compararlos con los valores de temperatura de la ICU, se delimitaron aquellos barrios en los que al menos tres de estos indicadores superaran los umbrales de vulnerabilidad establecidos, permitiendo delimitar así de manera más precisa, aquellos barrios con mayor concentración de población desfavorecida. La Figura 5 muestra la superposición de estos barrios con las temperaturas de la isla de calor de Madrid. Estos barrios se concentran especialmente en la zona sur de la ciudad.

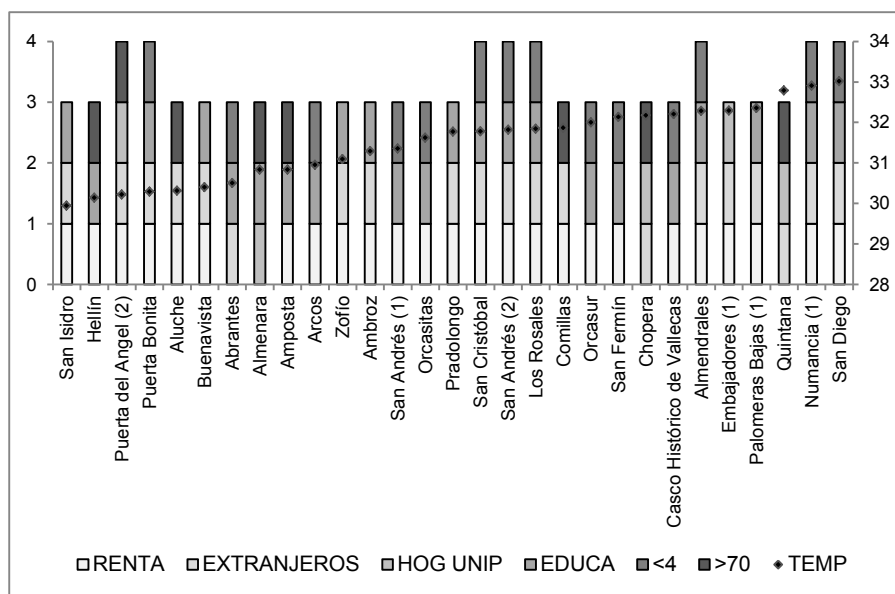
La Figura 6 muestra los barrios delimitados como vulnerables y permite comprobar qué indicadores superan cada uno ellos. Además de esto, se superpone la temperatura media registrada en cada una de las áreas. A la luz de estos resultados se puede considerar que los barrios de San Cristóbal, San Andrés, Los Rosales, Almendrales, Numancia y San Diego son aquellos barrios que más problemas pueden estar sufriendo para hacer frente a las altas temperaturas.

Además de lo ya expuesto y con el objetivo de profundizar más en el grado de vulnerabilidad de los barrios, se delimitaron aquellos, de entre los ya considerados como vulnerables, en los que al menos dos indicadores superaran los umbrales de vulnerabilidad extrema. Esto se muestra en la Figura 7, donde se puede ver la localización de estos barrios, fundamentalmente en la zona sur, donde además se registran algunos de los valores de temperatura más altos de la ciudad. En el gráfico de la figura 8 se recogen todos los barrios clasificados como vulnerables y se muestra qué indicadores de vulnerabilidad severa se superan en cada uno de ellos.

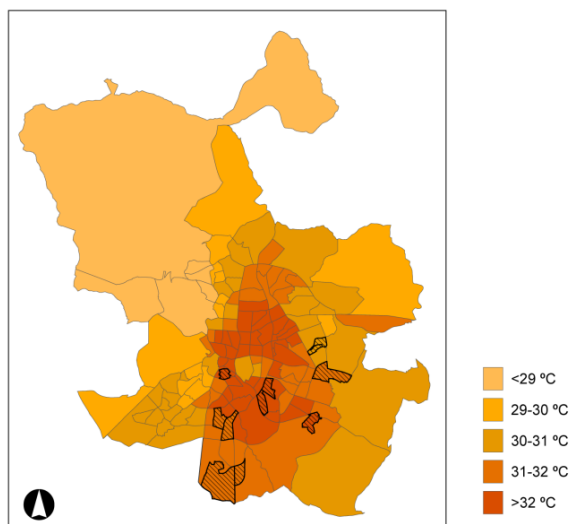




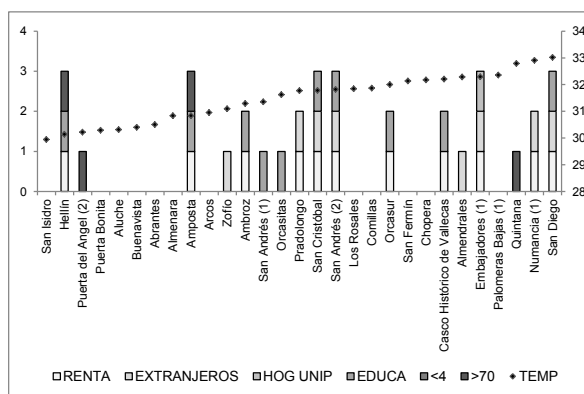
**Fig. 5** Mapa de la ICU de Madrid junto con los barrios delimitados como vulnerables por superar los umbrales de vulnerabilidad en al menos tres indicadores.



**Fig. 6** Indicadores de vulnerabilidad que han superado los umbrales fijados en cada uno de los barrios y temperatura registrada.



**Fig. 7** Mapa de la ICU de Madrid y la delimitación de barrios que superan los umbrales de vulnerabilidad severa en al menos dos indicadores.



**Fig. 8** Indicadores de vulnerabilidad severa que han sido superados en cada uno de los barrios anteriormente clasificados como vulnerables.

## 4 Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran, para la ciudad de Madrid, la existencia de barrios con una importante presencia de población vulnerable que habita las zonas más cálidas de la ciudad, lo cual supone un riesgo importante para su salud. La metodología empleada ha mostrado ser una herramienta útil para establecer distintos grados de vulnerabilidad y de este modo priorizar entre distintas actuaciones de intervención sobre la ciudad.

Los barrios delimitados como vulnerables frente a las altas temperaturas se encuentran, en su mayoría, incluidos en el “Mapa de Áreas Preferentes de Impulso a la Regeneración Urbana (APIRU)” (Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible. Dirección General de Estrategia de Regeneración Urbana 2016). Esto se debe fundamentalmente a que este informe se basa en estudios de delimitación de áreas desfavorecidas en los cuales se emplean indicadores socioeconómicos de la población además de otros relativos a la mala calidad de la edificación.

Los hogares que habitan estos barrios son muy sensibles a los episodios de calor extremo bien sea por la mala calidad de la edificación en la que viven o por la falta de sistemas de climatización adecuados. Es por todo ello que se demuestra la importancia de incorporar las variaciones de temperatura en la escala urbana como un indicador a considerar en el proceso de toma de decisiones relativas a las actuaciones de regeneración urbana en los distintos barrios de la ciudad.

## 5 Referencias

- Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible. Dirección General de Estrategia de Regeneración Urbana, 2016. *Mapa de áreas preferentes de impulso a la regeneración urbana (APIRU)*, Madrid.
- Basu, R., 2002. Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), pp.190–202.
- Culqui, D.R., Díaz, J., Simón, F., & Linares, C., 2013. Impact of the Effects of Heat Waves on Mortality in the City of Madrid, Spain during the Period 1990-2009 / Análisis del impacto de las olas de calor sobre la mortalidad de la ciudad de Madrid durante el período 1990-2009. *Revista Española de Salud Pública*, 87(3), pp.277–282.
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J.C., Hernández, E., & Otero A., 2002. Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75(3), pp.163–170.
- Eurostat, 2012. *Methodological Manual on City Statistics*,
- Fischer, E.M. & Schär, C., 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6), pp.398–403.
- Harlan, S.L., Brazel, A.J., Jenerette, G.D., Jones, N.S., Larsen, L., Prasad, L., & Stefanov, W.L., 2015. In the shade of affluence: the inequitable distribution of the urban heat island. *Equity and the Environment*, 15, pp.173–202.
- Intergovernmental Panel of Climate Change, 2013. Working group I. Contribution to the IPCC fifth assessment report of climate change 2013: The physical science basis.
- Johnson, D.P., Stanforth, A., Lulla, V., & Luber, G., 2012. Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1-2), pp.23–31.
- Johnson, D.P. & Wilson, J.S., 2009. The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia. *Applied Geography*, 29(3), pp.419–434.
- Klein Rosenthal, J., Kinney, P.L. & Metzger, K.B., 2014. Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997-2006. *Health and Place*, 30, pp.45–60.

- López Gómez, A. et al., 1988. *El Clima urbano de Madrid: La isla de calor*, Madrid: CSIC.
- López Moreno, H., Sánchez-Guevara Sánchez, C., Román López, E. & Neila González, F.J., 2015. Thermal characterization of urban heat island according to urban morphology of Madrid. In *Proceedings of the III International Congress on Construction and Building Research*. Madrid.
- Moreno Jiménez, A. & Fernández García, F., 2003. *El confort climático en los entornos residenciales de las capas altas, medias y bajas de la Comunidad de Madrid: otra forma de desigualdad socioespacial. La distribución espacial de la renta en la Comunidad de Madrid*, Madrid.
- Núñez Peiró, M., Román López, E., Sánchez-Guevara Sánchez, C., Neila González, F.J., 2016. Hacia un modelo dinámico para la isla de calor urbana de Madrid = Towards a Dynamic Model for the Urban Heat Island of Madrid. *Anales de Edificación*, 2(1), p.49.
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), pp.1–24.
- Sánchez-Guevara, C., Sanz Fernández, A. & Hernández Aja, A., 2014. Income, energy expenditure and housing in Madrid: retrofitting policy implications. *Building Research & Information*, 3218(May 2015), pp.1–13.
- Simon, F., López Abente, G., Ballester, E. & Martínez, F., 2005. Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Eurosurveillance*, 10(7-9), pp.168–171.
- Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Fernández, J.G., Padró, A. & Castaño, J., 2015. *Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático en el Municipio de Madrid*, Madrid.
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. & Baker, C.J., 2011. Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case study for Birmingham, UK. *International journal of health geographics*, 10(1), p.42.
- Wolf, T. & McGregor, G., 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1(August 2003), pp.59–68.
- Wong, M.S. et al., 2016. Spatially analyzing the inequity of the hong kong urban heat island by socio-demographic characteristics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), pp.1–17.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Programa de I+D+I orientada a los retos de la sociedad “Retos Investigación” del Ministerio de Economía y Competitividad. Código BIA2013-41732-R, Proyecto MODIFICA: Modelo predictivo del comportamiento energético de edificios de viviendas bajo condiciones de isla de calor urbana. Los autores también desean agradecer a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y al Sistema Integral de Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid por los datos climáticos cedidos para el desarrollo de esta investigación.