



Estudio comparativo de distintas metodologías para la evaluación de islas de calor urbanas A comparative study of urban heat island assessment methodologies

Jose Manuel Lorenzo Gallardo; Marta Lucas Bonilla; Beatriz Montalbán Pozas

Escuela Técnica Superior de Edificación Universidad de Extremadura, Cáceres, España

Resumen-- El calentamiento global es un fenómeno cada vez más estudiado, con interés en soluciones que reduzcan su impacto en el confort térmico en ciudades y edificios. Sin embargo, muchas propuestas se basan en datos climáticos antiguos. El efecto de isla de calor urbana, que genera diferencias de temperatura de hasta 5°C entre el centro urbano y las zonas rurales, es especialmente notable en grandes ciudades como Madrid o Málaga. No obstante, se desconoce si ocurre en ciudades más pequeñas como Cáceres, donde no predominan tráfico, contaminación o alta densidad de población.

Este estudio analiza las islas de calor urbanas en Cáceres utilizando datos climáticos históricos y mediciones locales más recientes. Se implementaron transectos urbanos en distintas horas del día, complementados con datos de redes ciudadanas y técnicas avanzadas como interpolación kriging, visualizando resultados en software como QGIS.

Las conclusiones presentan una comparación de metodologías, evaluando su precisión, temporalidad y validez según el caso. Algunas técnicas se validan entre sí, demostrando avances tecnológicos en la recolección de datos y la eficacia de métodos modernos. Este enfoque permite identificar posibles islas de calor y adaptar soluciones energéticas más efectivas.

Palabras clave— Isla de calor urbana; Transectos urbanos; Monitorización ciudadana; Datos satelitales; Evaluación.

Abstract— Global warming is increasingly studied, focusing on solutions to mitigate its impact on thermal comfort in cities and buildings. However, many proposals rely on outdated climate data. The urban heat island effect, causing temperature differences of up to 5°C between urban centers and rural areas, is well-documented in large cities like Madrid or Málaga. Yet, it is unclear if smaller cities like Cáceres, with less traffic, pollution, and population density, experience similar effects.

This study examines urban heat islands in Cáceres using historical climate data and updated local measurements. Urban transects were conducted at different times of the day, complemented by citizen monitoring networks and advanced techniques like kriging interpolation, with results visualized in QGIS software.

The conclusions compare methodologies, assessing their precision, temporal range, and validity. Some methods validate others, showcasing technological advancements in data collection and the efficacy of modern techniques. This approach identifies potential heat islands and supports more effective energy solutions.

Index Terms— Urban heat island; urban transects; citizen monitoring; satellite data; evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el incremento de las temperaturas es un hecho preocupante, pues según uno de los últimos comunicados realizados por la OMM (Organización Mundial de la Meteorología) la temperatura media mundial superó

1,15°C el promedio del periodo comprendido entre 1850 y 1900, y además se prevé que se incremente considerablemente en los próximos años (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2023). Según se desprende del mismo comunicado, este fenómeno, causado en su mayor parte por la contaminación, provoca la creación de nuevos escenarios de

verano, así como olas de calor y en consecuencia un aumento de la demanda energética de refrigeración (Psomas et al., 2016).

El incremento de las temperaturas es mayor aún en las urbes, donde el número de habitantes es más alto y con ello la contaminación, al no facilitar la disipación del calor. La variación de temperatura en el casco urbano respecto al campo se conoce como Isla de Calor Urbana o ICU. Se trata de un efecto geográfico influenciado tanto por factores de morfología urbana como por la presencia de elementos singulares (por ejemplo, grandes masas arboladas o de agua) (Núñez Peiró et al., 2016; Fernández Garcla et al., 2018). Su situación más notable se da durante la noche, en el momento en que la zona rural tiene más capacidad de enfriamiento, mientras que la zona urbana comienza a liberar el calor absorbido por el asfalto y los edificios durante las horas de radiación solar.

El resultado de esta isla de calor es la creación de un microclima urbano, que termina afectando principalmente a las condiciones de confort exterior y al comportamiento energético de los edificios y por tanto a la calidad de vida de los habitantes (Román et al., 217d. C.). Además, también genera problemas socioeconómicos como puede ser un incremento de la pobreza energética.

El fenómeno de la isla de calor ha sido objeto de estudio durante mucho tiempo en ciudades de alta densidad de población como pueden ser Madrid, Málaga (Senciales-González et al., 2020), Sevilla (Jadraque Gago et al., 2020), Alicante (Martínez Martínez, 2014), Bilbao (Alvarez et al., 2021)(1513 hab/km², 1106 hab/km², 850 hab/km², 1199 hab/km² y 1104 hab/km² respectivamente (AUDES - Áreas Urbanas de España, 2012), y de menor como Salamanca (Alonso García et al., 2004) (con densidad de población de 644 hab/km² (AUDES - Áreas Urbanas de España, 2012). En este caso la investigación se ha centrado en un municipio de muy baja densidad de población, como es Cáceres.

Desde que comenzaron los estudios de ICU, se han recabado los datos mediante diferentes métodos. El primer método utilizado del que se tiene constancia consiste en la realización de transectos perpendiculares a la ciudad (Arroyo Ilera et al., 1991) seguidamente, se comenzaron a recabar datos mediante sensores fijos instalados en diferentes puntos de la ciudad (Tejedor et al., 2016) y finalmente, en la actualidad, se obtienen los datos mediante observaciones de satélites (Barrao et al., 2022)

Por todo lo expuesto anteriormente, se considera que la isla de calor precisa de soluciones que permitan estudiarla y así poder tomar medidas para reducir su efecto, es por ello por lo que el objetivo del presente estudio es la comparación y análisis de distintas metodologías para el estudio de las islas de calor urbanas, mediante diferentes fuentes de datos con las que poder analizar dichos fenómenos, y posteriormente obtener los parámetros que pueden influir en dicha isla de calor.

II. METODOLOGÍA

Este estudio se centra en el análisis de ICU en la ciudad de Cáceres (España). Se aportan algunos datos de esta: altitud

sobre el nivel del mar 459 m (con un desnivel entre su punto más alto y bajo de 125 m) población 95661 habitantes (INE 2021), extensión de casco urbano 1750 km². Además, hay un total de 50.293 viviendas (censo de población y vivienda INE 2011), y por tanto una densidad de vivienda de 29 viviendas/km² y de población de 55 hab/km².

La ciudad se encuentra en zona climática C4 (CTE) y Csa (clasificación Köppen), caracterizada por inviernos templados y veranos secos y cálidos, con la mayor parte de las lluvias en el periodo de invierno o en las estaciones intermedias. Los datos climatológicos normales, como media de los datos del período 1981- 2010 (Agencia Estatal de Meteorología, s. f.) muestran elevadas temperaturas en los meses de verano (junio, julio y agosto) y frías en los meses de invierno (enero, febrero y diciembre), mientras que son más cálidas en los meses de primavera y otoño.

Para estudiar la existencia de ICUs es necesario disponer de datos en un punto de referencia ubicado en una zona rural o alejada del casco urbano, ya que se intenta medir el clima creado por la liberación de calor de los elementos ubicados en la ciudad.

En este estudio se ha utilizado un análisis comparado a partir de distintas metodologías para la obtención de datos, cada una de ellas con distinto alcance, precisión y temporalidad. Como fuentes se cuenta con datos recogidos mediante mediciones móviles o bien en puntos fijos, que a su vez proceden bien de observatorios oficiales o de redes de monitorización ciudadana. Todas ellas se desarrollan en los siguientes apartados, describiendo los equipos utilizados, el procedimiento específico de cada una, y analizando posteriormente los resultados obtenidos.

A. Determinación de ICU mediante datos de AEMET

En Cáceres hay una única estación a las afueras de la ciudad (C. Arroyo de Valhondo, 1, 10004). Se aportan los valores normales de temperatura correspondientes al mes de octubre (fecha utilizada en los siguientes métodos): media de 17°C, máxima de 22°C y mínima de 11,9°C, según los registros históricos 1981-2010 (Agencia Estatal de Meteorología, s. f.). Con este único registro es imposible determinar la ICU en Cáceres, sin embargo, otros datos que proporciona esta estación servirán de apoyo para el resto de los estudios, tal y cómo se reflejarán en los apartados posteriores.

B. Determinación de ICU mediante transectos urbanos

Para estudiar el efecto de ICU se ha utilizado un área de muestreo elegida como base, o transecto, en este caso esta área tiene forma lineal o alargada y se ha realizado mediante la toma de medidas en un recorrido predefinido por la zona urbana de la ciudad en el que se recopilan los datos higrótérmicos de manera sistemática.

Con el objetivo de evitar la diferencia de temperatura que va sucediendo durante el día se realizan recorridos de ida y vuelta por los mismos puntos para hacer posteriormente la media en cada punto. Para poder referenciar de forma correcta los puntos se ha utilizado la aplicación Wikiloc (*Wikiloc*, s. f.).

Este estudio se ha realizado de forma puntual y experimental

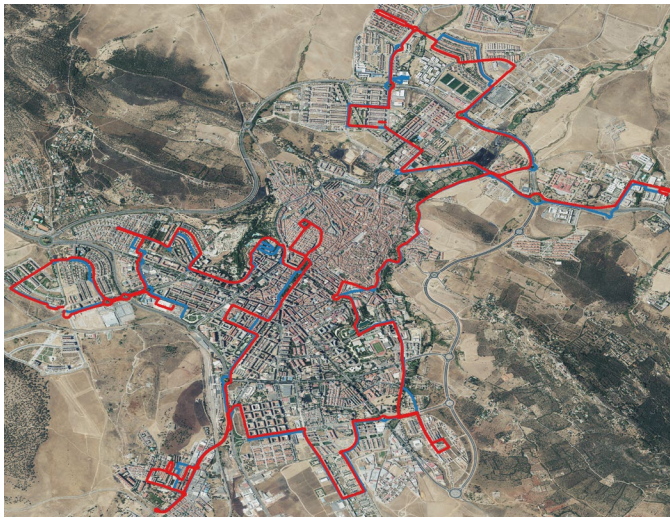


Fig. 1. Recorridos de transectos urbanos, trayecto de ida (en color azul) y trayecto de vuelta (en color rojo) realizado el día 11/10/23

el día 11 de octubre de 2023, que corresponde a un día de otoño muy caluroso (AEMET). Si se comparan con los registros de 1981-2010, la media, máxima y mínima correspondiente a este día son 6,0°C, 9,2°C y 2,8°C mayores.

La temperatura máxima registrada por AEMET el día 11 de octubre fue de 31,2°C a las 15:00h y la mínima de 14,7°C a las 06:10h. Por otro lado, el primer transecto se realizó entre las 10:30h y 14:10h, mientras que el segundo se realizó entre las 17:30h y las 20:15h.

El dispositivo utilizado para tomar datos ha sido un medidor EXTECH SD800 (Tabla 1), que se ha situado en el techo de un vehículo, convenientemente protegido de la radiación solar directa dentro de una caja y permitiendo el flujo de aire para disipar el sobrecalentamiento que pudiera producirse en el interior. Este equipo, se encuentra equipado con una tarjeta SD en la que se registran los datos higrotérmicos con una periodicidad de 5 segundos.

Una vez terminado el recorrido se extraen los datos de la tarjeta en un archivo *.xlsx, del mismo modo se descargan las coordenadas de la ruta seguida en Wikiloc. Se utiliza la hora de registro del dato para cruzar ambos archivos, combinando los

TABLA I
 ESPECIFICACIONES DE MEDIDOR EXTECH SD800 Y COLOCACIÓN DE ESTE

	Humedad (%)	Temperatura (°C)
Rango de Medición	10 - 90	0 - 50
Precisión	± 4	± 0,8



datos higrotérmicos con los geográficos.

A continuación, se calcula la diferencia de temperatura entre la facilitada por el observatorio de AEMET en Cáceres durante el día y la registrada durante el transecto para obtener el incremento de temperatura en cada punto. De este modo, se consigue la diferencia de temperatura entre la zona urbana y la zona rural. Estos datos se guardan en un archivo ESRI, que contendrá las coordenadas de estos puntos, así como, la temperatura y el incremento de esta.

Finalmente se carga el archivo de datos, anteriormente creado, en Qgis para su visualización obteniendo las imágenes de la Fig. 2 para cada transecto realizado.

Una vez obtenidos y procesados los datos, se procede al estudio de estos. Los valores más significativos se recogen en la Tabla 2. Se observa que los valores registrados durante estos recorridos son mucho más elevados que los valores normales establecidos por AEMET en Cáceres. La temperatura media recogida por el sensor difiere en 1,5°C a la de AEMET en el caso de la mañana y en 2,2°C por la tarde, esto reporta una diferencia media del orden de 2°C a la medida por AEMET.

Por otro lado, se estudia la distribución de los valores

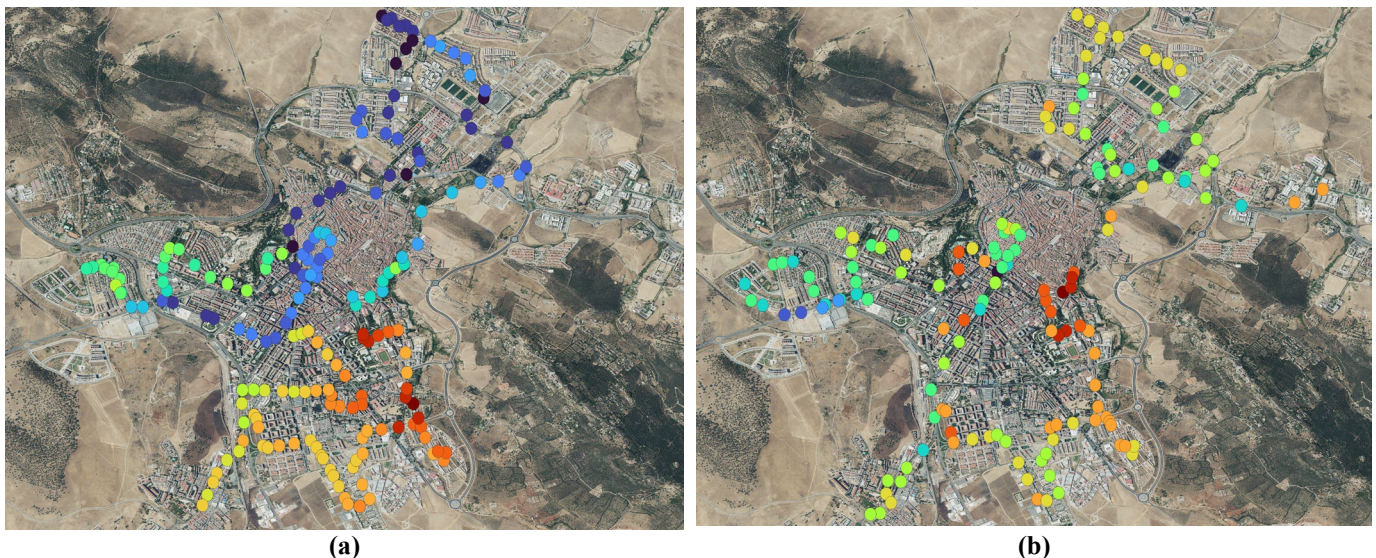


Fig. 2. Mapa de puntos de registro de temperaturas en transecto realizado el día 11 de octubre de 2023 en Cáceres (a) de 10:30 a 14:00 h y (b) de 17:30 a 20:15 h

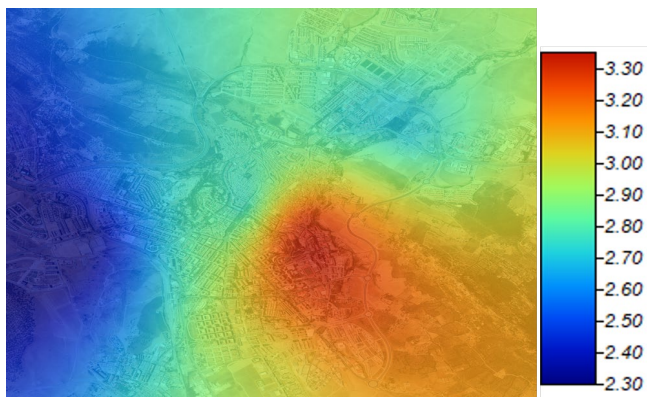


Fig. 3. Mapa de ICU de la ciudad de Cáceres según transecto urbano realizado el 11/10/2023

obtenidos en ambos transectos, observando que las temperaturas más registradas durante el recorrido de la mañana son 26°C (66%), seguida de 25 y 27°C (19% y 14%), mientras que por la tarde las más registradas son 29 y 30°C (41% y 47%).

A continuación, se combinan los archivos de coordenadas con los de incremento de temperatura y se representan gráficamente en un mapa utilizando la interpolación kriging, obteniendo como resultado el mapa de calor de la Fig. 3, en el que se representa la diferencia de temperatura respecto a la estación de referencia de AEMET.

En la Fig. 3 obtenida se observa una zona más cálida de hasta 3.3°C en la zona este de la ciudad que coincide con una zona de elevación media teniendo en cuenta el desnivel de la ciudad (440m sobre el nivel del mar), y en el oeste la zona más fría con 2,3°C de diferencia, que resulta ser la una de las más elevadas (470m sobre el nivel del mar).

C. Determinación de ICUs mediante datos de redes ciudadanas

Hoy en día la utilización de dispositivos personales de medición de parámetros en las viviendas está ampliamente extendida, algunos permiten la publicación de datos en webs públicas, con lo cual se abre la posibilidad de usar estos registros para la determinación de las ICUs.

Se han utilizado los registros de la red ciudadana Netatmo (<https://weathermap.netatmo.com/>). Se ha realizado el análisis de datos en la misma fecha que se realizó el transecto urbano, 11 de octubre de 2023, en el que se observan activos en la plataforma de publicación de datos un total de 11 sensores.

En el análisis de datos se ha añadido los registros de la estación meteorológica de AEMET para ese día. Se observan las diferencias de temperatura registradas entre ellos comprendidas entre 8,6°C a las 13:00h, y un 0,2°C a las 00:00h

TABLA II
E VALORES REPRESENTATIVOS OBTENIDOS EN LOS TRANSECTOS

Parám. de temperatura (°C)	Prom.	Mín.	Máx.	Rango	Desv. estándar
Transecto de mañana	25,44	23,8	26,65	2,85	0,51
Transecto de tarde	29,08	27,15	30,40	3,25	0,63
AEMET	26,92	22,40	30,90	8,50	3,28

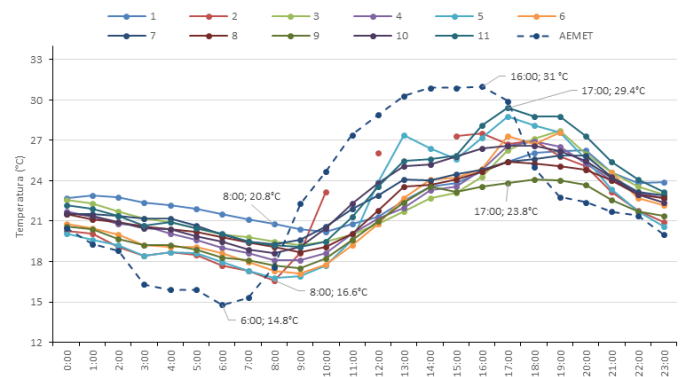


Fig. 4 Evolución de la temperatura del día 11/10/2023 registrada por los dispositivos Netatmo y por AEMET

entre unas zonas y otras, en la madrugada las temperaturas se unifican en general. El valor mayor se registra a las 16:00h según AEMET, y en el resto de los sensores entre 17:00h y 19:00h, respecto a las mínimas sucede algo parecido, en AEMET es a las 06:00h de la mañana y en los sensores se retrasa hasta las 08:00h (Fig. 4).

Tras este primer estudio, se representan los datos en un mapa de calor utilizando la interpolación kriging, obteniendo como resultado los mapas de calor recogidos en la Fig. 5. Se observa el fenómeno dinámico de la ICU, dándose con mayor intensidad a horas tempranas de la mañana (06:00h) con hasta 5,8°C de diferencia de temperatura en la zona más fría. Del mismo modo se observa también el desplazamiento que sufre esta isla a lo largo del día, avanzando la zona caliente ubicada en la parte sureste de la ciudad Fig. 5(a) hasta concluir en el centro en la Fig. 5(d).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de esta investigación se comprueba que cada metodología es válida para el estudio de ICUs pudiéndose utilizar de forma complementaria, por su precisión y alcance. Sería necesario, en cada caso, la validación y control de calidad riguroso de los registros. Se aportan a continuación las limitaciones de cada uno de los procedimientos:

- **AEMET:** El análisis y la creación de ICUs a partir de datos proporcionados por esta fuente oficial y contrastada resulta interesante debido a su fiabilidad y persistencia. Sin embargo, en este estudio, se observa que el número y ubicación de las estaciones no es representativo, lo que impide la identificación de las mismas. Se han utilizado los registros para completar los del resto de metodologías empleadas y, además, pueden ser útiles para predicciones.
- **Transectos urbanos:** Este procedimiento puede utilizarse para una caracterización previa abarcando amplias áreas de estudio, sin embargo, se observan las siguientes limitaciones:
 - El mejor momento para medir la ICU es justo antes de la salida de sol, ya que el ambiente se ha enfriado y los diferentes elementos han liberado el calor absorbido durante el día, horario que no se ha considerado en este estudio.
 - Para conseguir un correcto análisis del efecto

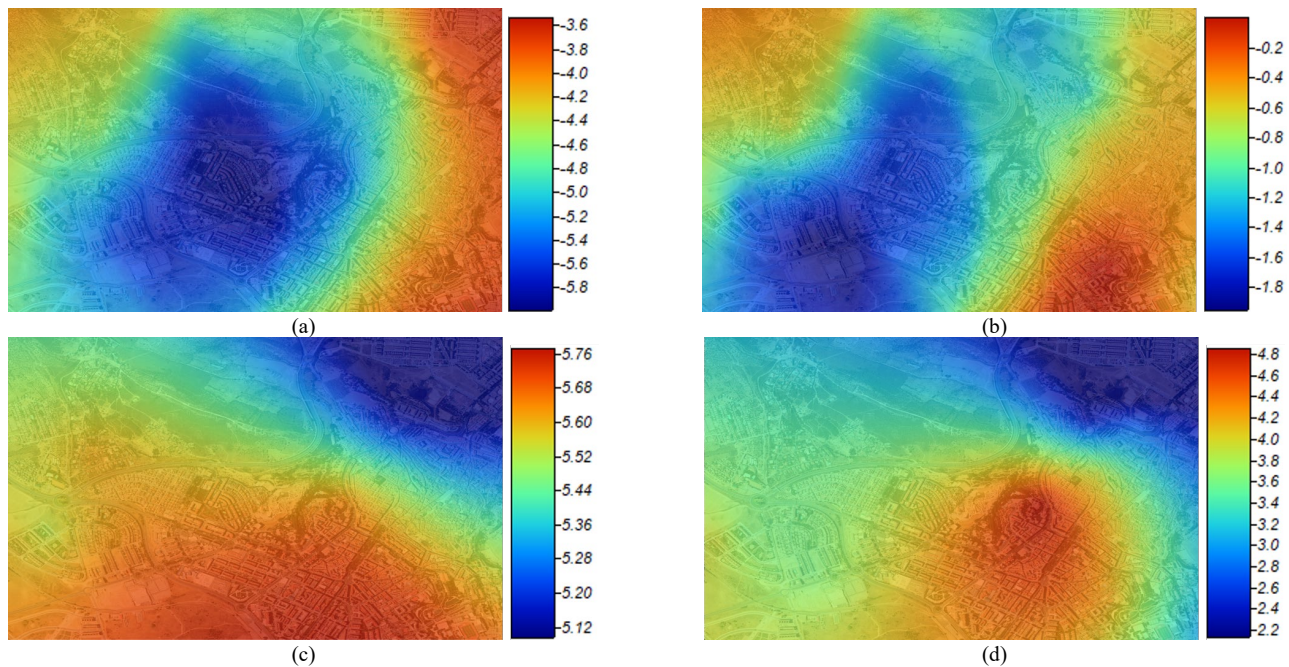


Fig. 5 Mapas de ICU de la ciudad de Cáceres (11/10/2023) (a) 06:00h, (b) 08:00h, (c) 16:00h y (d) 17:00h

convendría realizar la medición durante varios días, en varias estaciones del año, pero solo se ha realizado en un día de otoño.

- Es necesario realizar recorridos y no es un proceso de captación de datos automático.

• **Redes ciudadanas:** Esta metodología permite obtener datos aprovechando recursos ya existentes, se pueden mencionar las siguientes limitaciones:

- En algunos municipios, como en Cáceres el número de dispositivos no es suficiente
- Sería necesario repetir el procedimiento y caracterizar períodos más largos para comprobar que se cumple el patrón observado

Este procedimiento depende de un dispositivo comercial, por lo que nos es posible garantizar la persistencia de estos.

IV. CONCLUSIONES

Se observan, aún en una ciudad de baja densidad, importantes diferencias de comportamiento térmico entre unas zonas y otras que requieren atención y una profundidad mayor de investigación. La localización de las ICUs es prioritaria para plantear de forma focalizada en las ciudades estrategias adecuadas que permitan la adaptación al aumento de temperatura de las ciudades.

Como futuras líneas de investigación se intentará complementar estas técnicas con datos satelitales y con sensores propios con la finalidad de poder obtener el mayor número de registros que representen la ICU en la ciudad de Cáceres, combinando todas las técnicas posibles.

AGRADECIMIENTOS

La publicación es parte del proyecto PID2022-138284OB-C33, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE. Resultados obtenidos a partir de la información cedida por la Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

REFERENCIAS

- AUDES - *Áreas Urbanas de España*. (2012, marzo 16). <https://alarcos.esi.uclm.es/per/fruiz/audes/index.htm>
- Agencia Estatal de Meteorología. (s. f.). *Valores climatológicos normales*. Cáceres. <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3469A&k=ext>
- Alonso García, M. S., Fidalgo Martínez, M. del R., & Labajo Salazar, J. L. (2004). El clima de las ciudades: isla de calor de Salamanca. *Revista de Salud Ambiental*, 4(1-2), 25-29. <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/344>
- Alvarez, I., Quesada-Ganuza, L., Briz, E., & Garmendia, L. (2021). Urban Heat Islands and Thermal Comfort: A Case Study of Zorrotzaurre Island in Bilbao. *Sustainability*, 13(11), 6106. <https://doi.org/10.3390/su13116106>
- Arroyo Ilera, F., López Gómez, A., López Gómez, J., & Fernández García, F. (1991). *El Clima urbano de Madrid: La isla de calor*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Barrao, S., Serrano-Notivoli, R., Cuadrat, J. M., Tejedor, E., & Saz Sánchez, M. A. (2022). Characterization of the UHI in Zaragoza (Spain) using a quality-controlled hourly sensor-based urban climate network. *Urban Climate*, 44, 101207. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2022.101207>
- Fernández Garcla, F., López Gómez, A., & López Gómez, A. (2018). La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal. *Estudios Geográficos*, 57(224), 473. <https://doi.org/10.3989/egeogr.1996.i224.682>
- Jadraque Gago, E., Etxebarria Berrizbeitia, S., Pacheco Torres, R., & Muneer, T. (2020). Effect of Land Use/Cover Changes on Urban Cool Island Phenomenon in Seville, Spain. *Energies*, 13(12), 3040. <https://doi.org/10.3390/en13123040>

- Martínez Martínez, J. (2014). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 62, 83. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.06>
- 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), 49. <https://doi.org/10.20868/ade.2016.3198>
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. (2023, mayo 17). *Las temperaturas mundiales batirán récords en los próximos cinco años*. <https://public-old.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/las-temperaturas-mundiales-batir%C3%A1n-r%C3%A9cords-en-los-pr%C3%B3ximos-cinco-a%C3%B1os>
- Psomas, T., Heiselberg, P., Duer, K., & Bjørn, E. (2016). Overheating risk barriers to energy renovations of single family houses: Multicriteria analysis and assessment. *Energy and Buildings*, 117, 138-148. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.02.031>
- Román, E., Gómez, G., & Luxán, M. (217d. C.). 24. La isla de calor en Madrid y su influencia en el confort urbano. En P. Mercader-Moyano (Ed.), *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-efficient Solutions* (pp. 497-508).
- Senciales-González, J. M., Rodrigo-Comino, J., & Smith, P. (2020). Surveying topographical changes and climate variations to detect the urban heat island in the city of Málaga (Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 46(2), 521-543. <https://doi.org/10.18172/cig.4228>
- Tejedor, E., Cuadrat, J. M., Saz, M. Á., Serrano Notivoli, R., López, N., & Aladrén, M. (2016). Islas de calor y confort térmico en Zaragoza durante la ola de calor de julio de 2015. En *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 141-151). Servicio de Publicaciones de la UA. <https://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-13>
- Wikiloc*. (s. f.). <https://es.wikiloc.com/>



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.