

EFFECTOS DEL SELLADO DEL SUELO EN LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MURCIA

EMILIO JOSÉ ILLÁN-FERNÁNDEZ ([id](#))¹
ASUNCIÓN ROMERO-DÍAZ ([id](#))¹
ALFREDO PÉREZ-MORALES ([id](#))¹

¹*Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, Calle Santo Cristo S/N, 30001 Murcia*

Autor de correspondencia: emiliojose.illan@um.es

Resumen. El cambio global es uno de los grandes desafíos a los que nos enfrentamos ya y que, previsiblemente, será más importante en un futuro próximo. La artificialización del suelo, al igual que lo hacen los gases efecto invernadero, contribuye al calentamiento atmosférico y, sobre todo, a la sensación de disconfort por parte de la población, lo que pone de manifiesto la necesidad de adaptación ante esta nueva realidad. Este trabajo pretende comprobar cuál es el efecto del sellado del suelo en el aumento de la temperatura media y, además, evidenciar si existen diferencias entre distintos tipos de coberturas. Para ello, se emplean datos de temperatura del aire proporcionados por el programa Copernicus (modelo UrbClim) para el periodo 2008-2017 asociados a los usos del suelo clasificados mediante una metodología propia. El área de estudio se centra en la ciudad de Murcia, una de las 9 ciudades españolas disponibles. Los resultados muestran cómo la temperatura es mayor en las coberturas sellantes en comparación con las naturales. A su vez, se evidencia una tendencia ascendente en ambos tipos de coberturas, siendo esta levemente superior en las áreas urbanizadas.

Palabras clave: sellado del suelo, cambio global, cambio climático, Copernicus, UrbClim, Murcia.

IMPACTS OF SOIL SEALING ON AIR TEMPERATURE IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHANGE

Abstract. Global change is one of the major challenges we are already facing and which is likely to become more important in the near future. The artificialisation of the soil, as well as greenhouse gases, contributes to global warming and, above all, to the population's feeling of discomfort, which highlights the need to adapt to this new reality. The aim of this work is to test the effect of soil sealing on the increase in average temperature and, furthermore, to show whether there are differences between different types of cover. Air temperature data provided by the Copernicus programme (UrbClim model) for the period 2008-2017 has been used, associated with land use land cover classification using our own methodology. The study area focuses on the city of Murcia, one of the 9 Spanish cities available. The results show how the temperature is higher in the sealed covers compared to the natural ones. At the same time, an upward trend is evident in both types of cover, being slightly higher in urbanised areas.

Keywords: soil sealing, global chance, climate change, Copernicus, UrbClim, Murcia.

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta está experimentando, en las últimas décadas, el mayor cambio de usos del suelo experimentado hasta la fecha. Como resultado, las proyecciones pronostican que cerca del 70% de la población mundial residirá en áreas urbanas para finales de este siglo (United Nations, 2019), lo que pone de manifiesto la necesidad de conocer cómo todo ello afecta al bienestar humano y a la calidad de vida urbana.

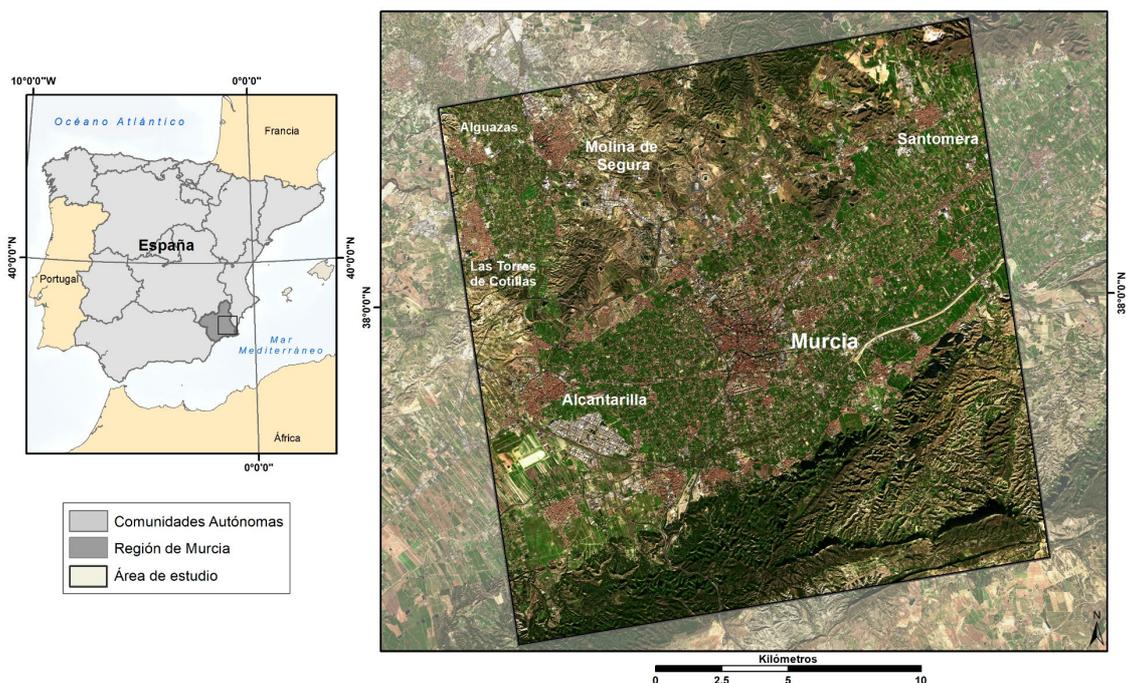
La urbanización es un fenómeno global que se ha incrementado rápidamente durante el siglo XX (Cohen, 2004) por todo el mundo, pero especialmente en las regiones mediterráneas (Tombolini *et al.*, 2016). La continua modificación de nuestro entorno más próximo, no solo es notable de forma visual, sino que esta transformación también conlleva una serie de consecuencias, a priori, menos evidentes pero que, finalmente, acaban repercutiendo tanto a la sociedad como al conjunto de la naturaleza a diferentes escalas. Su impacto es sumamente relevante, pues se estima que cerca de 290.000 km² de hábitats naturales serán convertidos en áreas urbanizadas en 2030 (McDonald *et al.*, 2020). Así, y en relación a esta masiva conversión de usos y coberturas naturales a artificiales, aparece el término cambio global, el cual hace referencia a todos aquellos cambios ambientales originados a partir de la actividad humana y que, ya sea de manera local o regional, terminan por afectar a todo el sistema terrestre (Duarte *et al.*, 2006).

Uno de los principales efectos que aceleran este proceso degenerativo desde el punto de vista ambiental es el sellado de suelo antropogénico (SSA). Este proceso se puede definir como la cobertura de la superficie natural con un material impermeable, el cual limita las funciones ambientales básicas del suelo entre las que destaca la propia permeabilidad y la capacidad amortiguación del balance térmico (EEA, 2017). Lógicamente, el desarrollo urbanístico masivo (Scalenghe y Marsan, 2009) impulsado por dinámicas socioeconómicas intensas han favorecido la aceleración de esa desnaturalización (Zambon *et al.*, 2017; Masini *et al.*, 2019). Así, de la combinación de los efectos producidos por el incremento de las superficies impermeables y del aumento previsto de las temperaturas derivado del cambio climático, al menos en lo que concierne a los efectos que el SSA pueda generar en el ambiente futuro, a buen seguro, se agravarán los problemas relacionados con el clima urbano (Chapman *et al.*, 2017) haciendo que la situación en las ciudades sea más preocupante que en otras áreas.

Con la finalidad de conocer mejor la influencia del SSA sobre el medio, han surgido diferentes metodologías que sirven como herramientas útiles para analizar y evaluar, de forma más o menos precisa las tendencias de: el clima urbano (Masson *et al.*, 2020), el riesgo a eventos meteorológicos extremos de temperatura y precipitación (Zhao *et al.*, 2018; Feng *et al.*, 2021) o comprobar los beneficios que pueden aportar diversas formas de planeamiento urbano al confort de sus habitantes (Gunawardena *et al.*, 2017).

En este sentido, este trabajo concentra su esfuerzo en el estudio del efecto del SSA sobre la temperatura del aire. Se evalúa la evolución de la temperatura media en el entorno de la ciudad de Murcia para el periodo 2008-2017 y se comprueba si existe un comportamiento diferente en la evolución de la temperatura según el tipo de cobertura de suelo.

Figura 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El área de estudio (Figura 1) se corresponde con el entorno de la ciudad de Murcia, una de las nueve ciudades españolas seleccionadas por el programa Copernicus para la aplicación del modelo UrbClim desarrollado por VITO (De Ridder *et al.*, 2015). Se trata de un área de 20 km x 20 km (400 km²) donde aparecen los núcleos principales, así como otros secundarios y pedanías, de los municipios de Alcantarilla, Alguazas, Las Torres de Cotillas, Molina de Segura, Murcia y Santomera, todos en la Región de Murcia (España).

El aumento de los diferentes procesos de urbanización dentro del área de estudio ha sido notorio durante las últimas décadas, en detrimento de otros usos tradicionales como el cultivo (huerta de Murcia) o coberturas naturales de matorral, propias de un clima mediterráneo semiárido como el de la zona. Asimismo, la creación de nuevas áreas residenciales, la proliferación descontrolada de viviendas en áreas de cultivo, además del desarrollo de infraestructuras y nuevas áreas industriales, ha dado lugar a un incremento en el consumo de suelo para superficies artificiales e impermeables en detrimento de aquellas coberturas o usos naturales o semi naturales (Ros Sempere *et al.*, 2010).

2.2. Metodología

La metodología de este trabajo se divide en tres etapas secuenciales: la obtención de la información relativa a la temperatura del aire mediante modelización climática (2.2.1), la identificación de las coberturas y usos del suelo (2.2.2), y el análisis conjunto de ambos (2.2.3).

2.2.1. Modelo climático para áreas urbanas

Los datos de temperatura del aire empleada provienen del modelo UrbClim elaborado por el equipo climático de VITO y que ha sido cofinanciado por la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea para su desarrollo e implementación. UrbClim es un modelo de simulación de clima urbano que forma parte del servicio de Cambio Climático de Copernicus, el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea, el cual facilita estos datos procedentes de diversas ciudades de los países miembros.

A diferencia de otros modelos cuya escala suele ser regional o global, Urbclim posee una elevada resolución espacial (~100 m), lo cual es útil para el estudio del clima a escala urbana. Este modelo utiliza una serie de datos de entrada, como la topografía, la geometría urbana y otras características de la superficie terrestre como variables independientes para calcular la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento o la radiación solar. Está basado en diferentes ecuaciones físicas correspondientes al intercambio de calor entre los materiales y la capa más próxima de la atmósfera, por lo que tras su aplicación acaba generando mapas con información de temperatura, a 2 m, de forma horaria. UrbClim ha sido validado con datos horarios reales procedentes de varias ciudades repartidas por toda Europa con diferentes tamaños, estructuras urbanas y climas (Londres, París, Bilbao, Amberes o Atenas, entre otras), teniendo como resultado una muy buena captación de las dinámicas temporales de la temperatura en estos entornos urbanos (De Ridder *et al.*, 2015).

Puesto que los datos de temperatura se encuentran en formato NetCDF con una estructura multidimensional (temperatura, fecha y coordenadas) desglosados por horas, se ha procedido al cálculo de las medias anuales por píxeles mediante Python en Jupyter Notebook. Una vez obtenidas, se han exportado en formato ráster para su manejo en un software GIS, en este caso mediante QGIS y ArcGIS.

2.2.2. Cuantificación de las superficies artificiales

Para obtener la superficie que ocupan las áreas selladas, se ha ejecutado una clasificación de los usos y coberturas del suelo mediante Google Earth Engine. Se trata de una plataforma de procesamiento y análisis de información geoespacial basada en la nube que permite acceder y analizar grandes conjuntos de datos de imágenes satelitales y otras fuentes geoespaciales. Ofrece una API de programación que admite multitud de herramientas de procesamiento y análisis de datos a través de código (Javascript), y su mayor ventaja es la capacidad de utilizar multitud de fuentes de información sin necesidad de descarga.

En este caso, se ha empleado una imagen Landsat 8 de 2013, año intermedio del periodo analizado (2008-2017). Se han seleccionado las áreas de la imagen que representan diferentes tipos de cobertura terrestre y se han etiquetado como datos de entrenamiento para cobertura. Además, se han calculado diferentes índices, como el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) o el índice de suelo desnudo (BSI) para ayudar al modelo de clasificación a detectar, de forma más eficiente, aquellas zonas que puedan ser confundidas por ser semejantes espectralmente. Para su clasificación, se ha aplicado el algoritmo Random Forest, ampliamente empleado en estudios de esta índole. Ya obtenida la clasificación, se ha ejecutado la validación de los datos, así como un filtrado para eliminar el efecto sal y pimienta, es decir, la existencia de píxeles aislados dentro de otras categorías a las que realmente no pertenecen (Hirayama *et al.*, 2019). Tras ello, se han podido distinguir, con una resolución espacial de 30 m, los siguientes usos/coberturas del suelo: bosque, suelo urbano, agua, cultivos (regadío), suelo desnudo, vías de comunicación, suelo industrial y áreas de matorral.

2.2.3. Análisis de la temperatura media por píxel y cobertura

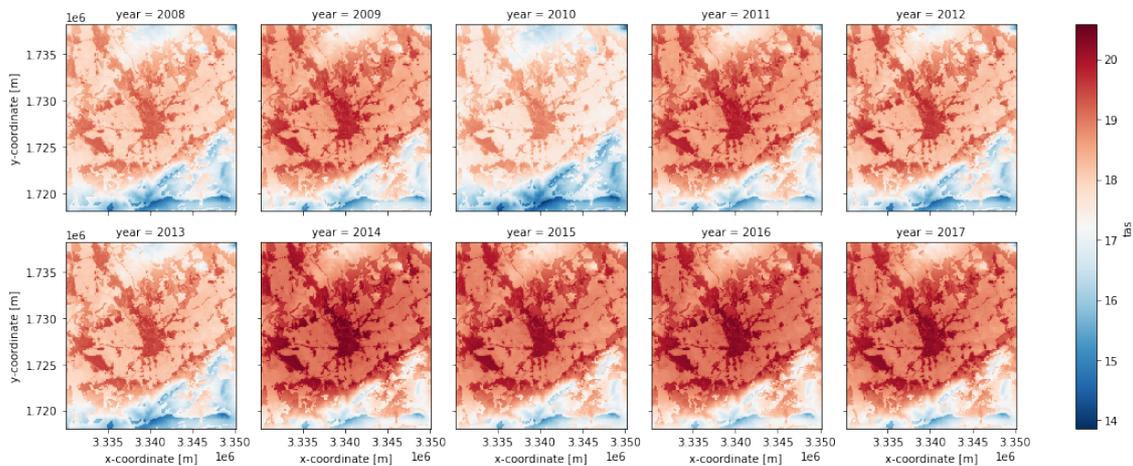
Para evitar la distorsión en los datos de temperatura que puede generar la diferencia altitudinal dentro del área de estudio, se han seleccionado aquellas coberturas y datos térmicos que se sitúan por debajo de los 200 m sobre el nivel del mar, ya que el rango es de menos de 50 m hasta los más de 600 m. La mayor parte de las superficies artificiales se encuentran por debajo del nivel escogido, para que los resultados no se vean influenciados por elevadas diferencias de altitud. A su vez, el área superior a 200 m tiene una extensión reducida (18,2 % del total), concentrándose la mayoría de datos por debajo de dicha cota.

De esta forma, se ha procedido a calcular la temperatura media de cada tipo de cobertura a partir de los datos del modelo UrbClim. Es necesario señalar que la diferencia en cuanto a la resolución entre ambas fuentes (100 m del modelo y 30 m la clasificación) puede hacer que píxeles de diferentes coberturas estén representados por un único valor térmico, pudiendo influir en los resultados. No obstante, este hecho habría sido minimizado al haber aplicado un filtro en la propia clasificación de coberturas. Teniendo esto en cuenta, se ha obtenido la temperatura media según tipo de cobertura y, posteriormente, se ha comprobado la diferencia en diferentes supuestos: entre áreas selladas-suelo natural por un lado y entre urbano-cultivo/matorral/suelo desnudo.

3. RESULTADOS

A grandes rasgos, el cálculo de la temperatura media anual por píxel muestra una disminución de la temperatura en función de la altitud (Figura 2). Los límites de los núcleos urbanos, así como de otras coberturas sellantes (industrial, vías de comunicación) son identificables en la mayoría de casos, aunque la resolución sea de 100 m. A su vez, es posible distinguir los años más fríos y cálidos, siendo estos 2010 y 2014, respectivamente.

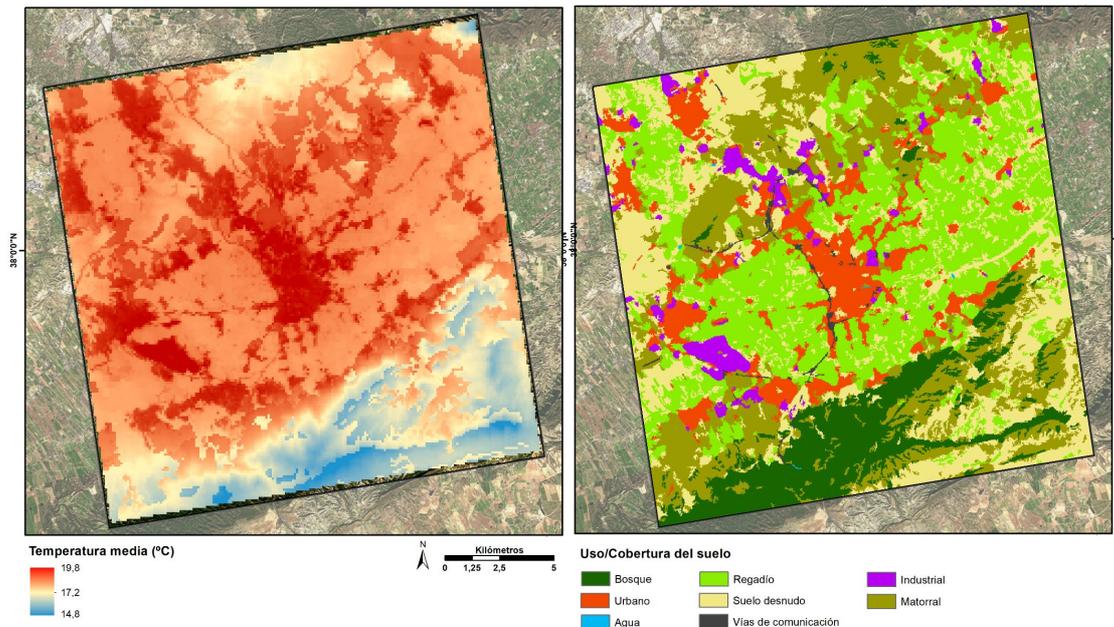
Figura 2. Temperatura media anual por píxel a partir del modelo UrbClim



Fuente: Elaboración propia.

No obstante, y a pesar de la influencia orográfica, se pueden advertir las diferencias de temperatura que se persiguen: la distribución espacial y la concentración de temperaturas más elevadas coinciden, según se observa en la Figura 3, con aquellas áreas donde los usos del suelo favorecen la retención del calor, es decir, en espacios urbanizados. De esta forma, es fácilmente distinguible la propia ciudad de Murcia en el centro de cada imagen, además de los diferentes núcleos de población y áreas industriales que se localizan en su entorno.

Figura 3. Clasificación de los usos y coberturas del suelo a partir de una imagen Landsat 8 (derecha) y comparación con los datos de temperatura media para el año 2012 (izquierda)



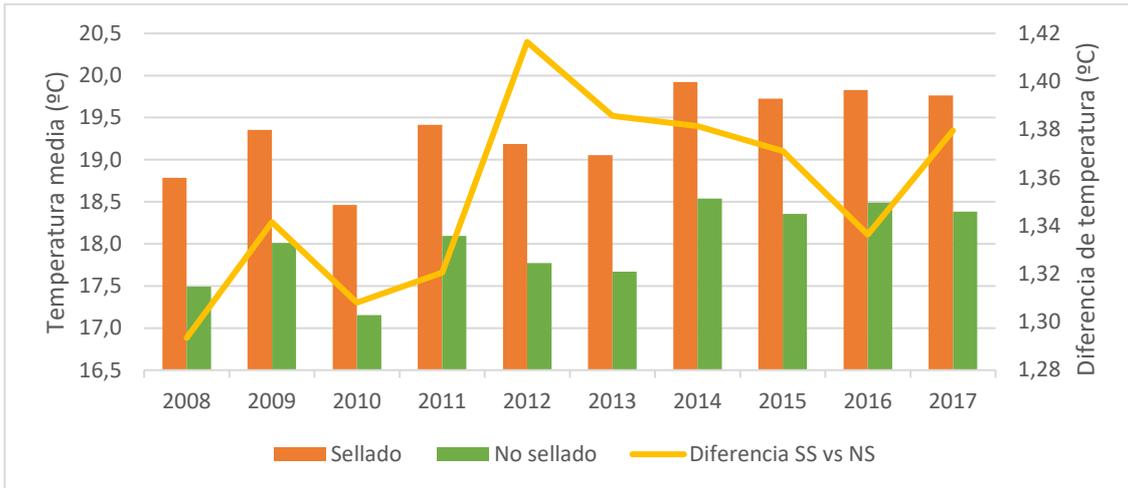
Fuente: Elaboración propia.

Se confirma que la variación espacial de la temperatura del aire se encuentra influenciada por las propiedades de la superficie urbana, por lo que es posible evidenciar gradientes térmicos en áreas con una altitud semejante. No obstante, la ciudad de Murcia, así como el resto de núcleos de población comparten una estructura urbana extremadamente densa, por lo que las variaciones de temperatura intraurbanas no serían tan comunes como en otras ciudades con una planificación distinta (Svensson y Eliasson, 2002).

Una vez obtenidas las dos fuentes de información, se procede a analizar la temperatura media según el tipo de cobertura. En ambos casos, únicamente se tienen en cuenta los valores que se encuentren por debajo de 200 m de altitud para evitar distorsión en la temperatura, ya que a partir de dicha cota apenas hay ningún tipo de edificación. Por otro lado, los usos y coberturas del suelo se dividen entre sellado y no sellado. Los resultados muestran la evidente influencia de los materiales artificiales sobre la temperatura del aire. Si se distingue entre coberturas sellantes y no sellantes (Figura 4), los datos revelan una desigualdad entre sus medias anuales: mientras que las primeras obtienen una media para el periodo de 19,35°C, las segundas apenas alcanzan los 18,0°C. Es decir, la diferencia media entre ambos tipos de superficies resulta en 1,35°C. Sin embargo, esta disparidad no es idéntica cada año, sino que depende de diferentes factores (nubosidad, precipitación, viento, etc.), por lo que varía entre 1,30°C y 1,42°C. No obstante, y aunque solo se tienen datos de una década, se observa una tendencia ascendente tanto en las medias como en la diferencia de temperaturas entre coberturas.

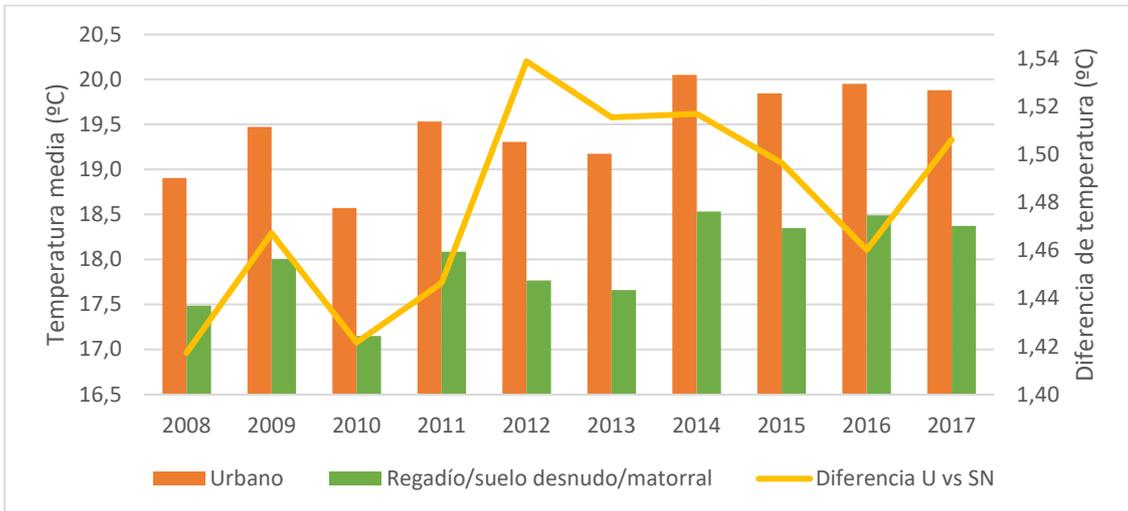
Además, si se analizan únicamente las áreas urbanas, la cobertura sellante más abundante, con respecto a aquellas no sellantes que las rodean (regadío, suelo desnudo, matorral), la diferencia entre ambas se exagera, variando entre 1,42°C y 1,54°C (Figura 5). Sin embargo, esta desigualdad se debe a la temperatura media de las zonas urbanas (19,47°C) en comparación con la de las áreas circundantes (17,99°C).

Figura 4. Evolución de la temperatura media según tipo de cobertura sellante (SS) o no (NS)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Evolución de la temperatura media considerando únicamente suelo urbano (S) y coberturas naturales predominantes en su entorno (SN)



Fuente: Elaboración propia.

A modo de conjunto espacio temporal, se ha observado como el aumento de temperatura es claro en el periodo analizado. Así, a tenor de la Figura 4 y la Figura 5, la situación es clara en cuanto a la tendencia. Por un lado, se evidencia un incremento de 1,1°C y 1,0°C para las áreas selladas y no selladas, respectivamente, para los 10 años de estudio. Y, por otro lado, la diferencia entre ambos tipos de cobertura se incrementa a un ritmo de 0,1°C por década.

Finalmente, desde el punto de vista espacial, al estar tratando exclusivamente sobre la relación entre la temperatura media y las coberturas, pueden existir zonas donde esta diferencia térmica entre áreas selladas y no selladas sea mayor. Dicho aumento en torno a 1°C, así como las medias obtenidas, no muestran los valores extremos que se pueden encontrar dentro de cada cobertura, pues el comportamiento de la temperatura dentro de cada una de ellas no ha de ser siempre homogéneo. Por tanto, habrá áreas donde dicho contraste térmico sea aún mayor, o incluso que no queden reflejados en el modelo debido a su resolución espacial.

En la Figura 6 se puede comprobar este hecho concreto. A modo de ejemplo, dentro de las áreas urbanas existe una mayor variabilidad respecto a otro tipo de coberturas como pueda ser el suelo industrial. Esto se debe a que, en el caso de las ciudades, la variedad de coberturas en un espacio reducido hace que la temperatura sea distinta por la existencia de espacios abiertos, parques, áreas de baja densidad, presencia de láminas agua, etc., todo ello dentro del contexto de que se trata de un espacio con una temperatura superior a la de su entorno. Sin embargo, las áreas industriales presentan una mayor

homogeneidad en este aspecto, ya que suelen ser zonas desarrolladas específicamente para ese tipo concreto de uso y suelen carecer de zonas con vegetación. Al mismo tiempo, también se observa como núcleos de población más pequeños tienen una influencia menor en la temperatura, pero, aun así, nada despreciable. Por otro lado, los espacios con predominio de la vegetación, como es la zona de huerta, suelen tener un comportamiento no excesivamente variable, con un ascenso en las áreas más próximas a las áreas selladas, hasta observar el efecto borde entre lo urbano y no urbano.

Figura 6. Ejemplo de transecto térmico en torno al casco urbano de la ciudad de Murcia, de oeste (izquierda) a este (derecha) para el año 2014.



Fuente: Elaboración propia.



4. DISCUSIÓN

Los cambios en la superficie terrestre por parte del ser humano provocan un efecto en cadena en la modificación de las condiciones naturales. En el caso del SSA, este reduce la cantidad de suelo disponible para la vegetación y la infiltración de agua, lo que puede generar un aumento de la temperatura debido a la alteración de la evaporación y la transpiración de la vegetación, la reducción del albedo y la generación de energía extra en forma de calor (Taha, 1997; Alavipanah *et al.*, 2015; Zipper *et al.*, 2017). Además, los materiales con los que se impermeabiliza el suelo, tales como el asfalto, plástico, o cemento, tienen una capacidad de almacenamiento del calor considerablemente mayor que el suelo desnudo o con vegetación. Este hecho resulta en una acumulación de calor durante el día y que no siempre puede ser liberado completamente por la noche debido a la tipología de dichos materiales.

En este sentido, el aumento de la temperatura de áreas urbanas puede tener consecuencias significativas en la salud y el bienestar humano (Shahmohamadi *et al.*, 2011; Ezpeleta y Royé, 2021), como un mayor estrés térmico que deriva en problemas cardiovasculares o respiración. Además, una mayor temperatura ambiental potencia una mayor demanda de energía para climatización, un aumento de la mortalidad (Yow, 2007; Santamouris *et al.*, 2019) o el incremento de la concentración de contaminantes atmosféricos (Singh *et al.*, 2020; Ulpiani, 2021).

No obstante, para llevar a cabo este tipo de estudios es preciso tener en cuenta que se emplean fuentes de información que pueden presentar limitaciones. De esta forma, tanto el periodo de datos como la resolución espacial juegan un papel fundamental en el análisis y en sus resultados. Así, pese a que disponer de una serie temporal de temperatura más extensa sería lo ideal, este trabajado se ha ceñido a los datos diarios disponibles entre 2008 y 2017, los cuales ya muestran una tendencia. Sin embargo, el modelo

UrbClim, si bien tiene una elevada resolución espacial (100 m) en comparación con otros, puede no ser suficiente para distinguir correctamente todas las variaciones intraurbanas que pueden existir, además de posibles diferencias térmicas más extremas. Por ello, algunos autores (Sobrino *et al.*, 2012; Yin *et al.*, 2018) señalan que se deben de tratar con cautela los datos cuando se emplean modelos de baja resolución espacial, puesto que pueden subestimar la realidad y ofrecer una visión menos extrema de la real. Sobrino *et al.* (2012) recomienda utilizar fuentes de información de, al menos, 50 m de resolución. Creemos que una mayor resolución espacial puede ayudar considerablemente al entendimiento de esta problemática, ya que en ciudades cuya morfología urbana es densa y compacta, como la de esta investigación, puede que no se esté teniendo en consideración esta variabilidad interna de temperaturas que ayuden a comprender los efectos positivos de una naturalización de las ciudades.

5. CONCLUSIONES

En este estudio se han empleado datos de temperatura superficial (2 m) proporcionados por el modelo UrbClim para el entorno de la ciudad de Murcia. A partir de ellos, y tras una clasificación de los usos y coberturas del suelo, se ha analizado la variabilidad de temperaturas medias anuales comparando los valores térmicos entre aquellas clases impermeables y no impermeables. Se puede concluir que la influencia del SSA es evidente, pues los resultados muestran valores siempre superiores a 1,3°C sobre áreas selladas.

Además, este trabajo expone cómo el impacto de esta transformación de la superficie terrestre es desigual. Por un lado, las áreas industriales presentan una temperatura relativamente constante sin apenas variaciones internas, debido principalmente a su densidad en términos de edificación. Por otro lado, las ciudades presentan una mayor variabilidad térmica intraurbana, lo cual señala la presencia de diferentes factores (ríos, parques, arbolado urbano, etc.) que acaban ejerciendo una influencia notable en su entorno más próximo.

Adicionalmente se ha puesto de manifiesto que el comportamiento de la temperatura durante el periodo analizado ha sido semejante entre ambos grupos de coberturas y usos del suelo, aunque el incremento es ligeramente superior en el caso de las áreas urbanizadas. No obstante, esta diferencia en cuanto a la tendencia podría ser incluso superior, pues se ha de tener en cuenta la limitación de la resolución espacial empleada.

En conclusión, es necesario señalar la importancia de tener en consideración el SSA, como un agente responsable del cambio global y, consecuentemente en la planificación urbana actual y futura, con el fin de emplear técnicas de diseño urbano que minimicen sus efectos negativos. Entender y aplicar metodologías que mitiguen el impacto térmico en las áreas urbanas y que supongan un efecto enfriamiento, como el proporcionado por los espacios naturales, puede ser crucial a la hora de combatir las consecuencias del cambio climático.

Agradecimientos: Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España mediante las ayudas para contratos predoctorales para la formación de profesorado universitario (FPU) de la que el primer autor es beneficiario (FPU18/03622).

REFERENCIAS

- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., Koellner, T. (2015). The role of vegetation in mitigating urban land surface temperatures: A case study of Munich, Germany during the warm season. *Sustainability*, 7(4), 4689-4706. <https://doi.org/10.3390/su7044689>
- Chapman, S., Watson, J. E., Salazar, A., Thatcher, M., McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, 32, 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>
- Cohen, B. (2004). Urban growth in developing countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. *World development*, 32(1), 23-51. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.04.008>
- De Ridder, K., Lauwaet, D., Maiheu, B. (2015). UrbClim—A fast urban boundary layer climate model. *Urban Climate*, 12, 21-48. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.01.001>

- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., ..., Valladares, F. (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas. ISSN: 978-84-00-08452-3
- EEA (2017). *Landscapes in transition. An account of 25 years of land cover change in Europe*, EEA Report No 10/2017, European Environment Agency.
- Ezpeleta, A. M., Royé, D. (2021). Intensidad y duración del estrés térmico en verano en el área urbana de Madrid. *Geographicalia*, (73), 95-113. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2021735202
- Feng, B., Zhang, Y., Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106, 613-627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>
- Guliyeva, A., Averina, L., Grebennikov, O., Shpakov, A. (2021). Regional gap in human capital: Determinants of education and urbanization. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 301, p. 03004). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130103004>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584, 1040-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Hirayama, H., Sharma, R. C., Tomita, M., Hara, K. (2019). Evaluating multiple classifier system for the reduction of salt-and-pepper noise in the classification of very-high-resolution satellite images. *International journal of remote sensing*, 40(7), 2542-2557. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1528400>
- Masini, E., Tomao, A., Barbati, A., Corona, P., Serra, P., Salvati, L. (2019). Urban growth, land-use efficiency and local socioeconomic context: A comparative analysis of 417 metropolitan regions in Europe. *Environmental management*, 63, 322-337. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1119-1>
- Masson, V., Heldens, W., Bocher, E., Bonhomme, M., Bucher, B., Burmeister, C., ..., Zeidler, J. (2020). City-descriptive input data for urban climate models: Model requirements, data sources and challenges. *Urban Climate*, 31, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100536>
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., Voogt, J. (2020). Urban climates and climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 411-444. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623>
- McDonald, R. I., Mansur, A. V., Ascensão, F., Colbert, M. L., Crossman, K., Elmqvist, T., ..., Ziter, C. (2020). Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity. *Nature Sustainability*, 3(1), 16-24. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0436-6>
- Ros Sempere, Marcos, Sanz Alarcón, Juan Pedro, García Martín, Fernando Miguel. La gestión del territorio periurbano en la huerta de Murcia. En *I Congreso nacional de investigación aplicada a la gestión de la edificación (COIGE'10)*, 28-30 de junio de 2010. Alicante: Universidad, 2010, p: 292-316
- Santamouris, M., Ding, L., Osmond, P. (2019). Urban heat island mitigation. *Decarbonising the Built Environment: Charting the Transition*, 337-355. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6_18
- Scalenghe, R., Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Eteessam, I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M. (2011). Healthy environment: the need to mitigate urban heat island effects on human health. *Procedia Engineering*, 20, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.139>
- Singh, N., Singh, S., Mall, R. K. (2020). Urban ecology and human health: implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus. In *Urban Ecology* (pp. 317-334). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00017-3>
- Sobrinho, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Bianchi, R., Paganini, M. (2012). Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects. *Remote Sensing of Environment*, 117, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.042>
- Svensson, M. K., Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and urban planning*, 61(1), 37-54. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00076-2)
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), 99-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Tombolini, I., Munafò, M., Salvati, L. (2016). Soil sealing footprint as an indicator of dispersed urban growth: a multivariate statistics approach. *Urban Research & Practice*, 9(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/17535069.2015.1037340>

- Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *Science of the Total Environment*, 751, 141727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421)*.
- Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., Liu, Y. (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of the Total Environment*, 634, 696-704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.350>
- Yow, D. M. (2007). Urban heat islands: Observations, impacts, and adaptation. *Geography Compass*, 1(6), 1227-1251. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00063.x>
- Zambon, I., Serra, P., Grigoriadis, E., Carlucci, M., Salvati, L. (2017). Emerging urban centrality: An entropy-based indicator of polycentric development and economic growth. *Land Use Policy*, 68, 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.063>
- Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E., ..., Liu, X. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental research letters*, 13(3), 034003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f73>
- Zipper, S. C., Schatz, J., Kucharik, C. J., Loheide, S. P. (2017). Urban heat island-induced increases in evapotranspirative demand. *Geophysical Research Letters*, 44(2), 873-881. <https://doi.org/10.1002/2016GL072190>