

CARTOGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE EN ESPAÑA: VARIABILIDAD TERRITORIAL

Alberto GONZÁLEZ GRAÑA^{1,3}, Francisco MORA POSADA¹, Pablo ESTÉVEZ
DOMARCO¹, Belén ACOSTA GALLO^{1,3}, Javier MONTALVO RODRÍGUEZ^{1,2}

¹ *Fundación Matrix, Investigación y Desarrollo Sostenible. Plaza Miralles, Local
A5, Campus Universitario de Vigo, 36310 Vigo, España.*

² *Departamento de Ecología y Biología animal, Universidad de Vigo, Campus
Universitario de Vigo, 36310 Vigo, España.*

³ *Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución, Universidad Complutense
de Madrid, C/ José Antonio Novais, 12, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid,
España*

alberto.gonzalez@fundacionmatrix.es, jmontalvo@uvigo.es, galloa@bio.ucm.es

RESUMEN

La magnitud del cambio climático reciente en España es variable espacialmente, y susceptible de cartografía con muy alta resolución espacial (100 x 100 m) y evaluación con alta fiabilidad. Se usan datos de más de 1.000 estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología de 1961 a 2020. Se emplean modelos de regresión lineal múltiple para explicar la variabilidad geoespacial de los valores medios de temperatura máxima anual y mínima anual, y kriging universal como método de inferencia espacial. Entre 1961-1990 ('clima pasado') y 1991-2020 ('clima reciente') existe en el territorio nacional un incremento medio (\pm desviación estándar) de la temperatura máxima anual media y la temperatura mínima anual media de $0,75 \pm 0,15$ °C y $0,73 \pm 0,10$ °C, respectivamente. Este calentamiento es muy heterogéneo geográficamente, siendo el incremento térmico superior en primavera y verano que en otoño e invierno. Se discuten algunos factores asociados a este cambio y se identifica un calentamiento más acentuado en algunas áreas metropolitanas por el efecto de isla de calor urbana.

Palabras clave: adaptación al cambio climático, cartografía de alta resolución, temperatura media máxima, temperatura media mínima, vulnerabilidad.

ABSTRACT

The magnitude of recent climate change in Spain is spatially variable, and susceptible to mapping with very high spatial resolution (100 x 100 m) and high reliability assessment. Data from more than 1,000 stations of the State Meteorological Agency from 1961 to 2020 were used. Multiple linear regression models were used to explain the geospatial variability of the annual mean maximum and minimum temperature, and universal kriging as an inference method. space. Between 1961-1990 ('past climate') and 1991-2020 ('recent climate'), there was a mean increase (\pm standard deviation) in the annual mean maximum and minimum temperature of 0.75 ± 0.15 °C and 0.73 ± 0.10 °C, respectively. This warming is very heterogeneous geographically,

with a higher temperature increase in spring and summer than in autumn and winter. Some factors associated with this change are discussed and a more intense warming is identified in some metropolitan areas due to the urban heat island effect.

Key words: adaptation to climate change, high resolution mapping, maximum mean temperature, minimum mean temperature, vulnerability.

1. INTRODUCCIÓN

Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) el cambio climático global es un proceso inequívoco, y la generación de conocimiento científico un objetivo prioritario para la adaptación (IPCC, 2021). Entre 1850-1900 y 2011-2020, el incremento medio de temperatura del aire en la superficie de la Tierra ha sido de 1,09 °C (1,29 °C entre 1750 y 2019), y sobre las áreas terrestres 1,61 °C (IPCC, 2021). El proyecto CLIMVAC, apoyado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), contribuye al conocimiento del cambio climático reciente en España y la variabilidad y vulnerabilidad territorial asociada.

Dentro de la región mediterránea, España es un país especialmente vulnerable al cambio climático (Cramer et al., 2018; Olcina, 2009, 2021). Se espera un aumento de frecuencia de los eventos climáticos extremos y de sus impactos en Europa occidental mayor que en otras regiones del Planeta (Sherwood, 2020). La heterogeneidad climática de España es notable, ya que está condicionada por la dinámica atmosférica y factores geográficos locales o de influencia subregional (Castro et al., 2005). Por eso son previsibles diferencias territoriales acusadas en la magnitud del cambio climático.

Los estudios del cambio climático fundamentados en modelos climáticos de circulación general, con técnicas de regionalización y una resolución espacial moderada (decenas de kilómetros), estiman cambios de los valores medios de distintas variables e índices de valores extremos. Aunque valiosa, la cartografía derivada de las proyecciones de cambio climático carece de resolución espacial suficiente para realizar análisis espaciales detallados (Fonseca y Santos, 2018) que, además, para escalas temporales decenales y seculares están afectados por diferentes fuentes de incertidumbre (Amblar et al., 2017). Por ello, una evaluación de alta resolución espacial del cambio climático ya acontecido es una herramienta muy relevante para formular estrategias de adaptación.

Gran parte de los estudios científicos se centran en el conocimiento del clima futuro (proyecciones), no sobre el cambio climático reciente (observado). La generación de modelos espaciales sobre el cambio climático observado es una excelente oportunidad para la observación sistemática del clima del conjunto del país, tal y como recomienda el Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático 2021-2030 (MITECO, 2020).

La magnitud y las tendencias de cualquier variable climática dependen del periodo seleccionado en gran medida (González-Hidalgo et al., 2016). La Organización Meteorológica Mundial recomienda el uso de las normales climáticas como sistema de observación de los cambios en el clima (OMM, 2017). Son una referencia para comparar las observaciones recientes o presentes y para fundamentar la interpretación de anomalías basadas en numerosos conjuntos de datos climáticos. Su uso también

está generalizado para la evaluación de la variabilidad del clima a largo plazo y el seguimiento del cambio climático, que requiere un periodo de referencia relativamente representativo y estable (p. ej., Brázdil et al., 2022). Aunque las normales climáticas se calculaban cada 30 años, en un escenario de clima cambiante se recomienda cálculos más frecuentes. Disponer de bases de datos climáticas actualizadas y de calidad es un objetivo imprescindible para la vigilancia del clima. Este conocimiento es útil para detectar y evaluar las proyecciones regionalizadas del cambio climático, valorar nuevas vulnerabilidades y el seguimiento de los diversos impactos esperados.

Algunos estudios evidencian que las tendencias de los promedios estacionales de temperatura máxima y temperatura mínima en la Península muestran diferencias espaciales entre ambas variables (González-Hidalgo et al., 2016). Con esta hipótesis de trabajo, se exponen los resultados de una metodología innovadora para elaborar cartografía de alta resolución espacial aplicada a la evaluación del cambio climático entre dos periodos de normales climáticas para las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas a escala anual y estacional.

2. MÉTODOS

Para la presente investigación fue necesaria la recopilación de un conjunto numeroso de datos de temperatura diaria, suministrado por el Banco Nacional de Datos Climáticos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se partió de un total de 1.034 estaciones termométricas. Los datos suministrados corresponden al periodo 1961-2020, un total de 60 años. Para comparar dos periodos temporales, manteniendo la estabilidad estadística necesaria, se usan dos normales climáticas de 30 años cada una, conforme al reglamento técnico vigente de la OMM (OMM, 2017). Para evaluar el cambio climático reciente en el presente trabajo se definen los siguientes periodos de normales climáticas: periodo 1961-1990 ('clima pasado') y periodo 1991-2020 ('clima reciente').

En primer lugar, se realiza un proceso de homogenización de la base de datos asegurando la ausencia de valores no representativos, extremos o de valores perdidos. Las series climáticas de temperaturas se homogeneizan mediante el paquete CLIMATOL, un paquete del software R distribuido bajo la licencia GPL, desarrollado por José A. Guijarro, miembro de la AEMET (Guijarro, 2018). Contiene funciones para la homogeneización, control de calidad y relleno de datos faltantes. Las inhomogeneidades enmascaran los verdaderos cambios del clima y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas.

Después, se definen dos variables climáticas para evaluar el cambio climático entre los dos periodos definidos. Se usan las variables temperatura máxima (T_x) y temperatura mínima (T_n). Se calcula la media a nivel mensual, estacional y anual a partir de los valores diarios para el conjunto de estaciones disponibles, aplicando como criterio de exclusión a aquellas con menos de 22,5 años de registros en ambos periodos. Finalmente, para la modelización espacial del cambio climático observado (diferencia de medias de T_x o T_n) se utilizan un total de 365 estaciones.

Por otra parte, se estima la altitud de las estaciones meteorológicas desde un Modelo Digital del Terreno (MDT), y desde imágenes ráster de latitud, sus distancias a la costa atlántica y mediterránea. Se utiliza un modelo estadístico de regresión lineal múltiple

para determinar la relación entre el cambio observado y dichas variables independientes y una interpolación por kriging ordinario sobre los residuos del modelo, completando así una malla de 133.940 puntos con una distancia entre puntos de $0,02^\circ$ que cubre todo el territorio (incluyendo los archipiélagos balear y canario), que se usan para la predicción espacial de las variables climáticas. A la aplicación conjunta de estas dos técnicas se le conoce como kriging universal (Varentsov et al., 2020). Finalmente, se realizó una interpolación adicional mediante un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.5). El ajuste de los modelos se llevó a cabo mediante la función `autoKrige` del paquete `Automap` de R, que realiza el proceso completo (ajuste del modelo de regresión, interpolación por kriging y predicción de cada punto de la malla). Este conjunto de procesos se aplica al conjunto de la España peninsular e Islas Baleares. Las Islas Canarias se tratan particularmente por su condición insular y su situación geográfica y peculiaridades. Para valorar la precisión de las predicciones del modelo en los puntos donde no se dispone de datos, se eliminan aleatoriamente un 10% de las estaciones, dividen los datos en dos subconjuntos, de entrenamiento y de test, y calculan los errores del modelo. Se usa el coeficiente de determinación (R^2) y el error absoluto medio (MAE) para evaluar la fiabilidad de las predicciones de cambio térmico.

El cambio de las variables climáticas entre periodos a escala nacional se estima mediante el promedio espacial de los valores predichos en una muestra del 1% de los puntos de la malla y su variabilidad mediante su desviación estándar. Las diferencias estadísticas en el cambio promedio espacial de las máximas y las mínimas se evalúan en esta muestra mediante el test de Mann-Whitney pareado.

3. RESULTADOS

3.1 Cambio en las temperaturas máxima y mínima anual media

España, por su peculiar situación geográfica y relativa gran extensión presenta una gran variedad de regímenes térmicos. Esta realidad según el proyecto CLIMVAC (resultados no mostrados) se manifiesta en los contrastes espaciales en la temperatura media de las máximas anual, desde los 17°C a 21°C del extremo norte peninsular hasta los más de 24°C de áreas de la submeseta sur peninsular y depresión del Guadalquivir. La elevada altitud media de la submeseta norte condiciona, además, valores más bajos que los de la submeseta sur. El área levantina, con veranos más cálidos, contrasta con los valores alcanzados en la franja cantábrica. Además, a grandes rasgos la isoterma de la temperatura máxima media de 15°C separa los ambientes estrictamente montañosos, donde la altitud condiciona los valores de temperatura máxima. Esta heterogeneidad espacial de regímenes térmicos también se observa en la temperatura mínima anual media.

El cambio de T_x anual y T_n anual entre los periodos 1961-1990 y 1991-2020 se representa en la Figura 1. Ambas variables han experimentado un incremento en la totalidad del territorio español. El incremento promedio espacial de la temperatura máxima anual media (\pm desviación estándar) estimado es $0,75\pm 0,15^\circ\text{C}$, equivalente a un ritmo de aumento de las máximas de $0,25^\circ\text{C}$ por década.

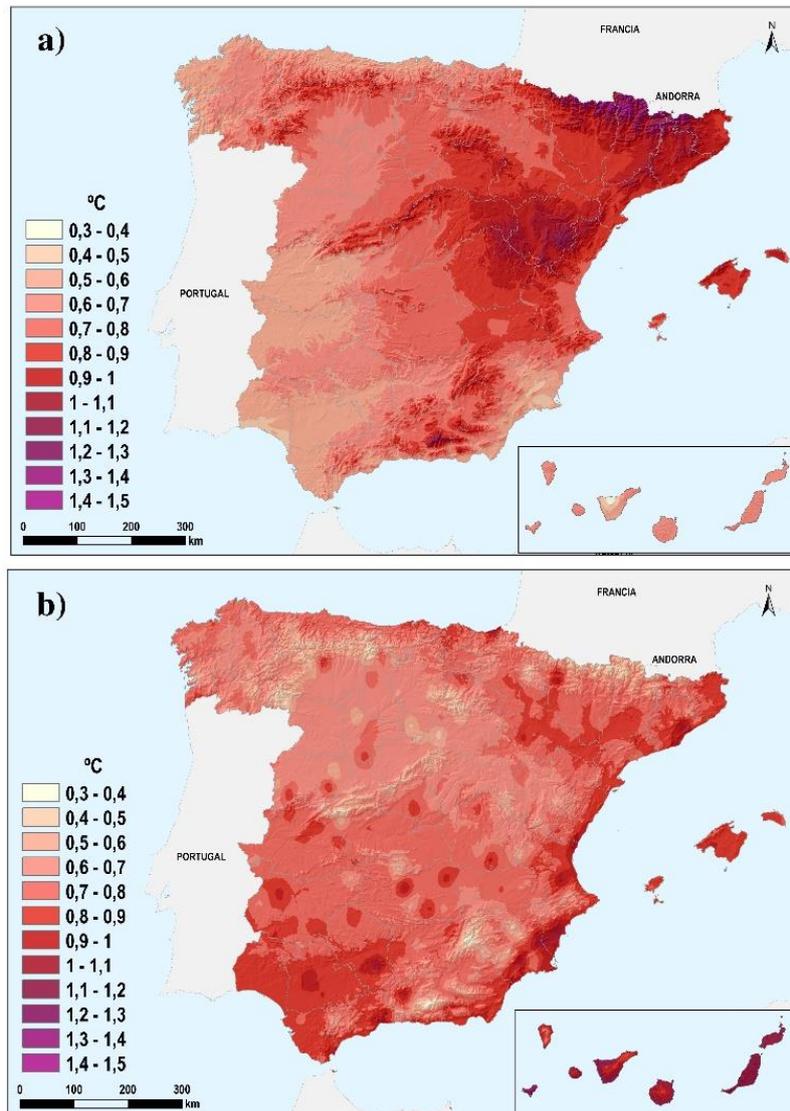


Fig. 1: Cambio estimado en (a) la temperatura máxima anual media y (b) la temperatura mínima anual media entre los periodos 1961-1990 y 1991-2020.

La distribución y magnitud del incremento térmico de las máximas es muy heterogénea, y presenta particularidades a nivel geoespacial (Fig. 1a). El modelo tiene una alta fiabilidad ($R^2 = 0,891$; MAE = 0,040). Destaca la mitad oriental peninsular frente al área cantábrica y el tercio suroeste peninsular. La frontera entre las áreas de influencia puramente atlántica y mediterránea la define la isoterma de cambio de 0,6 °C

La Figura 2a muestra el histograma de la proporción de superficie nacional afectada según diferentes rangos de incremento de Tx anual. El 17,7% del territorio español se encuentra en una franja de incremento entre 0,4 °C y 0,6 °C. La mayor parte del área cantábrica, la campiña extremeña y la depresión del Guadalquivir corresponde a este rango valores. La mayor proporción del territorio nacional, concretamente el 47,7%, muestra un incremento entre 0,6 °C y 0,8 °C. El extremo oriental del área cantábrica,

interior de Galicia y la práctica totalidad de la Meseta se encuentran en este rango de incremento. El 28,7% del territorio presenta un incremento entre 0,8 °C y 1 °C, corresponde a los rebordes montañosos de la Meseta y a todo el cuadrante nororiental peninsular. El área con un incremento por encima de 1 °C representa el 5,9% del territorio nacional y se reparte entre la cordillera pirenaica y las estribaciones orientales del Sistema Ibérico.

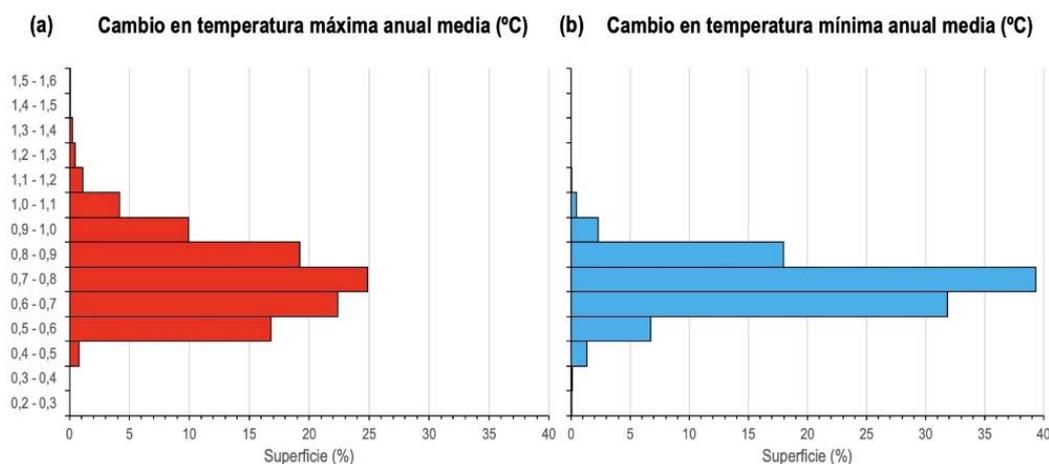


Figura 2: Histograma de la proporción del área nacional afectado según diferentes rangos térmicos de incremento de (a) temperatura máxima anual media y (b) temperatura mínima anual media.

El cambio en la temperatura media mínima anual se representa en el mapa de la Figura 1b. El promedio espacial del cambio estimado entre periodos es $0,73 \pm 0,10$ °C (equivalente a un ritmo de aumento de 0,24 °C por década). Al igual que para la Tx anual, se observan contrastes espaciales muy relevantes. El modelo tiene una alta fiabilidad ($R^2 = 0,754$; MAE = 0,028). La Figura 2a muestra que el cambio en las mínimas está más concentrado (menor variabilidad territorial) que el cambio en las máximas. El 8,2% del territorio presenta un incremento menor de 0,6 °C, y la mayor parte de las grandes cordilleras de la Península corresponden a esta clase de incremento. El 89,1% del territorio presenta un incremento entre 0,6 °C y 0,8 °C. Todo el norte peninsular, ambas submesetas y sus rebordes se encuentran en este rango de incremento, a excepción de áreas urbanas concretas del centro peninsular, como Madrid, y del área cantábrica, como Bilbao, San Sebastián o Santander. El 2,7% del territorio restante experimenta un incremento de Tn anual superior a 0,8 °C. Destaca el área del levante peninsular, el centro de la depresión del Ebro y la depresión del Guadalquivir, así como las ya citadas áreas urbanas.

El incremento de Tn anual superior a 1 °C se localiza en áreas urbanas o metropolitanas concretas como San Sebastián, Barcelona, Valencia o Córdoba. Este hecho revela que la magnitud del cambio en la temperatura mínima es más acentuado en las áreas más urbanizadas. Por otro lado, se observa un marcado patrón de aumento de la magnitud del cambio térmico hacia el oriente peninsular, que se acentúa tanto en el levante mediterráneo como en los principales sistemas montañosos de la mitad este peninsular (Pirineos y las estribaciones orientales del Sistema Ibérico).

El incremento promedio de Tx es superior al de Tn, y aunque es una diferencia ligera, es estadísticamente significativa ($p < 0,001$). Sin embargo, los cambios en ambas variables están desacoplados en el territorio y muestran una relación inversa; el incremento de las máximas tiende a aumentar con la altitud y lo contrario sucede en las mínimas (resultados no mostrados).

3.2 Cambio en las temperaturas máximas y mínimas estacionales medias

La Figura 3 muestra el resultado de la modelización del cambio observado en los valores estacionales de la temperatura máxima media (Fig. 3a) y mínima media (Fig. 3b). Existen notables contrastes intra-anales. El trimestre marzo-abril-mayo (primavera meteorológica) presenta el incremento de mayor magnitud, $1,37 \pm 0,24$ °C, y el de las mínimas $1,00 \pm 0,15$ °C, con un mayor incremento de las máximas en la mitad norte peninsular y los principales sistemas montañosos, y un patrón espacial más heterogéneo en las mínimas.

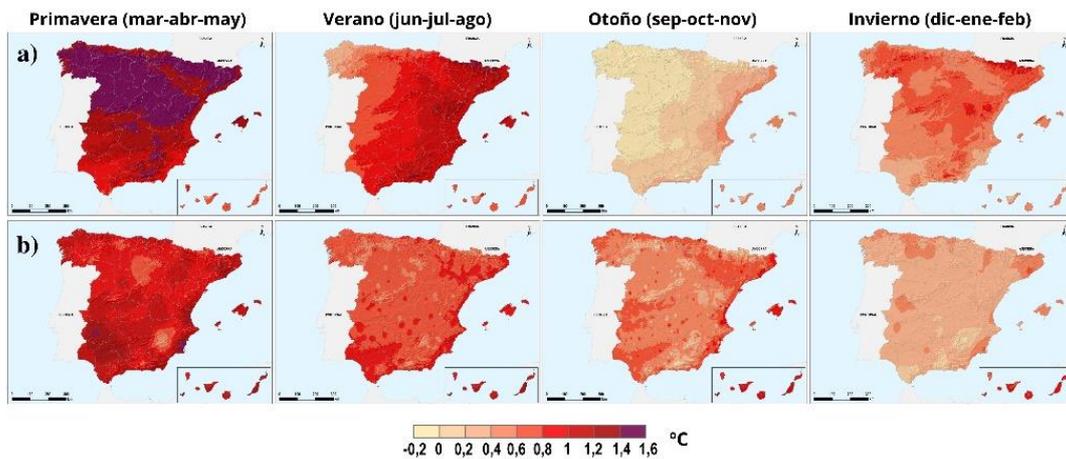


Fig. 3: Cambio estimado en los valores medios de (a) la temperatura máxima y (b) temperatura mínima estacional entre los periodos 1961-1990 y 1991-2018.

Le sigue el trimestre junio-julio-agosto (verano meteorológico), con un incremento medio de Tx de $0,90 \pm 0,22$ °C y de Tn de $1,00 \pm 0,20$ °C. El trimestre septiembre, octubre, noviembre (otoño meteorológico) presenta con un incremento medio de Tx de $0,54 \pm 0,15$ °C y de Tn de $0,04 \pm 0,19$ °C. Finalmente, el trimestre diciembre-enero-febrero (invierno meteorológico) muestra un incremento medio de la Tx de $0,58 \pm 0,13$ °C y de Tn de $0,33 \pm 0,10$ °C. El patrón espacial del cambio en primavera y en invierno presenta una mayor heterogeneidad que el de las restantes estaciones. No obstante, se mantiene un claro patrón de incremento de la temperatura máxima media relacionado con la altitud. El verano y el otoño delatan una tendencia espacial más nítida, con una clara dicotomía entre la vertiente mediterránea y atlántica, que se manifiesta más claramente en la media de las temperaturas máximas.

3.3 Efecto de las áreas urbanas sobre el cambio de la temperatura mínima anual media

La Figura 4 (a y b) muestra un detalle cartográfico del cambio térmico observado en la temperatura mínima anual media en las urbes de Madrid y Barcelona y sus respectivas áreas metropolitanas. En Madrid el efecto de la superficie artificial urbana se manifiesta en ligeras diferencias entre el incremento promedio de las mínimas observado entre el centro urbano y su periferia: sigue un gradiente desde 0,72 °C en el exterior del anillo urbano hasta 0,92 °C en la zona interior. Lo mismo sucede en el área de Barcelona, con una diferencia de hasta 0,32 °C más entre las zonas periféricas al sur y las situadas al norte del delta del Llobregat.

La Figura 4 (c y d) muestra el promedio espacial del cambio circunscrito a las superficies artificiales de ambas áreas metropolitanas. En el caso de Barcelona alcanza 1,16 °C en la zona central urbana, mientras que este valor se reduce a 0,84 °C en zonas al norte y sur de la ciudad, en las comarcas del Maresme y el Garraf. En la ciudad de Madrid observamos un patrón espacial similar. El caso de Barcelona ilustra que el ritmo de incremento del cambio de las temperaturas mínimas de las áreas urbanas más extensas alcanza los 0,38 °C por década, un incremento un 60% superior al promedio del territorial nacional.

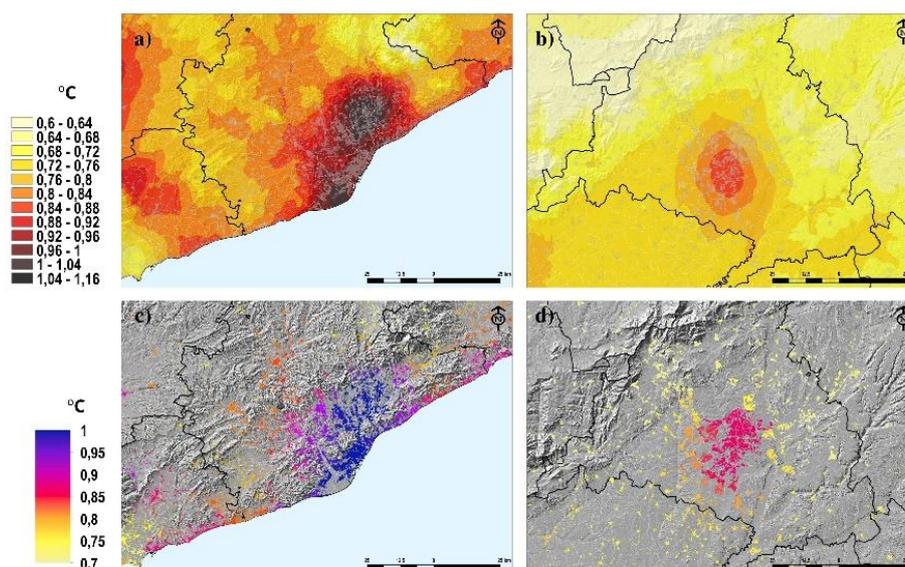


Fig. 4: Cambio estimado en el promedio espacial de la temperatura mínima anual media en las áreas metropolitanas de (a) Barcelona y (b) Madrid, y cambio circunscrito a las superficies artificiales de estas áreas, (c) Barcelona y (d) Madrid.

4. DISCUSIÓN

El presente trabajo expone los resultados de una metodología para la evaluación del cambio climático con alta resolución espacial entre dos periodos de normales climáticas, 1961-1990 y 1991-2020, partiendo de observaciones diarias de más de 1.000 estaciones de la AEMET. El clima reciente es más cálido: a escala anual la magnitud del cambio promedio observado no es muy diferente entre las medias de las máximas y mínimas (0,75 °C y 0,73 °C, respectivamente), y se basa en una modelización con un grado de fiabilidad muy satisfactorio. El incremento de ambas

variables está desacoplado a escala local, de forma consistente con estudios previos (p. ej. González-Hidalgo et al., 2016). Se han observado notables contrastes espaciales entre el área mediterránea y atlántica peninsular en el incremento de las medias de la temperatura máxima y mínima anual. También se han detectado diferencias notables en la magnitud del cambio entre estaciones. El cambio climático estimado entre ambos periodos muestra en España un mayor incremento térmico en primavera y verano que en otoño e invierno. Algunos autores suponen que en el hemisferio norte el incremento de la temperatura media es el resultado del incremento de la temperatura máxima, en especial en invierno (p. ej. Jones et al., 1999). Sin embargo, no existe un consenso acerca del comportamiento del incremento térmico a escala regional en el caso de estudios térmicos estacionales, ni sobre el diferente comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas.

La magnitud del incremento térmico es más relevante en la mitad oriental peninsular, hecho que sugiere un efecto del calentamiento del mar Mediterráneo, que repercute especialmente en la temperatura mínima media (Olcina, 2021). En contraposición, la influencia atlántica es un factor regional que parece atenuar la magnitud del incremento térmico en las áreas más próximas a este océano.

Es bien conocido el efecto modificador de las áreas urbanas sobre los valores de temperatura diaria. La isla de calor urbana, definida como la diferencia de temperatura entre un núcleo urbano y sus alrededores, es un fenómeno común a todas las áreas urbanas del Planeta que se expresa fundamentalmente en las temperaturas nocturnas (Martín-Vide, 2020). Determina el calentamiento mayor observado en las grandes urbes, donde se manifiesta un cambio de alta resolución espacial. En áreas con más de un millón de habitantes la temperatura media anual puede superar en 1 o 2 °C la de las áreas rurales circundantes.

En conclusión, la investigación climática con mapas de alta resolución espacial genera herramientas excelentes para la detección de áreas más vulnerables, la toma de decisiones y la adaptación al cambio climático, sectorial y preventiva de riesgos sobre la población.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a una subvención del MITERD a la Fundación Matrix, Investigación y Desarrollo Sostenible para el proyecto de I+D CLIMVAC.

REFERENCIAS

- Amblar, P., Casado, M.J. Pastor, A. Calzado, P. y Rodríguez, E. (2017). Guía de Escenarios Regionalizados de Cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-Ar5. <https://doi.org/10.31978/014-17-010-8>
- Brázdil, R., Zahradníček, P., Dobrovolný, P., Řehoř, J., Trnka, M., Lhotka, O. Y Štěpánek, P. (2022). Circulation and Climate Variability in the Czech Republic between 1961 and 2020: A Comparison of Changes for Two “Normal” Periods. *Atmosphere*, 13(1), 137. <https://doi.org/10.3390/atmos13010137>
- Castro, M. D., Martín-Vide, J. y Alonso, S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. <http://hdl.handle.net/10261/35782>.

- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, M. A. et al (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Fonseca, A.R. y Santos, J.A. (2018). High-Resolution Temperature Datasets in Portugal from Geostatistical Approach: Variability and Extremes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(3), 627-644. doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0215.1>
- González-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M. y Cortesi C. (2016). Tendencia reciente de la evolución de la temperatura en la península (1951-2010): del calentamiento al hiato. *Int. J. Climatol.*, 36,2405–2416. <https://doi.org/10.1002/joc.4519>
- Guijarro, José. (2018). Homogenization of climatic series with *Climatol.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27020.41604>
- IPCC (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. y Rigor, I.G. (1999). Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37(2), 173-199. <https://doi.org/10.1029/1999RG900002>
- MITECO (2020). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid.
- Olcina, J. (2009). Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, 49 , 197-220 <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.10>
- Olcina, J. (2021). Cambio climático y riesgos en el ámbito mediterráneo. La necesidad de adaptación. *Territorium*, 28 (II), 5-12. https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_1
- OMM (2017) *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas*. OMM-N° 1203. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra.
- Varentsov, M., Esau, I. y Wolf, T. (2020). High-resolution temperature mapping by geostatistical kriging with external drift from large-eddy simulations. *Monthly Weather Review*, 148(3), 1029-1048.
- Vide, J.M. y García, M.C.M. (2020). La intensidad de la isla de calor urbana, nuevo riesgo en las ciudades mediterráneas con el calentamiento global: El caso de Barcelona. En: *Escribano et al. (coords.), Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía*, pp. 41-52). Universitat de València, Servei de Publicacions, València.
- Sherwood, S. C. (2020). Adapting to the challenges of warming. *Science*, 370 (6518), 782-783. <https://doi.org/10.1126/science.abe4479>