

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE TREWARTHA EN LA ESPAÑA PENINSULAR Y BALEARES ENTRE 1953 Y 2022

David ORGAMBIDES GARCÍA¹, David CORELL CUSTARDOY¹, María José ESTRELA NAVARRO², Juan Javier MIRÓ PÉREZ²

¹*Departamento de física. Universidad de Valencia.*

²*Departamento de geografía. Universidad de Valencia.*

orgarda@uv.es, david.corell@uv.es, maria.jose.estrela@uv.es, javier.miro-perez@uv.es

RESUMEN

Analizamos la climatología de la España peninsular y Baleares mediante la clasificación climática de Köppen-Trewartha (KTC) empleando datos entre los años 1953 y 2022. El lapso de tiempo se divide a saltos de década en cinco períodos de treinta años. La clasificación KTC busca ajustarse con precisión a entornos áridos, a la vez que distingue fielmente entre entornos húmedos y mediterráneos en zonas subtropicales, si bien peca de falta de esa distinción en ambientes templados. A partir de datos mensuales y anuales para un total de 3.668 estaciones, se calcula la climatología KTC y se representan las estaciones y su clima en una serie de mapas temporales, que se comparan para evaluar la evolución temporal de la climatología en el área de estudio. Descubrimos que se ha producido una expansión del dominio climático subtropical a expensas del templado, mayormente en la Submeseta Sur y en partes de la costa norte. La aridez ha incrementado, de forma más notable en la Depresión del Ebro, donde la zona árida se ha duplicado y constriñe al ámbito templado, que solo aumenta en zonas de alta montaña. Los cambios en los climas reflejan la tendencia climática observada y coinciden en gran parte con otros estudios similares sobre clasificación climática en España.

Palabras clave: Köppen-Trewartha, clasificación climática, estaciones meteorológicas, España, cambio climático.

ABSTRACT

We analyze the climatology of peninsular Spain and the Balearic Islands through the use of the Köppen-Trewartha climatic classification (KTC) employing data between the years 1953 and 2022. The timespan of the study is divided by decades in order to produce five 30 year-long periods. The KTC classification aims to fit arid environments more precisely, while establishing a clear distinction between humid and Mediterranean environments in subtropical zones, albeit it lacks such a distinction for temperate environments. Using monthly and annual data for a total of 3,668 weather stations we calculate KTC climatology for each of them and visually represent the stations and their climate for each of the periods in order to evaluate the temporal evolution of the region's climate. We discovered the Mediterranean domain has grown at the expense of the temperate one, mostly in the Southern Subplateau and

parts of the north coast. Aridity has increased, most notably in the Ebro Depression, where the arid zone has more than doubled, and restrains temperate environments, that have only expanded in high elevation areas. Changes in climate type reflect observed climatic changes in the study region, and fit well with other climate classification works in Spain.

Key words: Köppen-Trewartha, climate classification, weather stations, Spain, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

La península ibérica, debido a su ubicación en el globo, se encuentra bajo la influencia de distintas masas de aire, que dan lugar a una importante variación regional de la climatología. Para poder clasificar a nivel espacial la climatología, suele recurrirse a clasificaciones climáticas, que emplean varios puntos de corte mediante variables climatológicas para diferenciar entre los distintos regímenes que pueden darse en un territorio. El primer gran ejemplo de clasificación climática fue propuesto por Köppen 1884, y revisada posteriormente, tanto por él, como por otros, para ajustar sus parámetros a la realidad de los biomas del globo. El uso de las clasificaciones permite no solo zonificar el clima, si no validar los resultados de modelos climáticos al comparar las predicciones con lo que se esperaría para un territorio (Peel et al, 2007; Beck et al, 2023).

Las clasificaciones también pueden emplearse como un indicador del efecto del cambio climático en una zona, ya que reflejan cambios en los regímenes de precipitaciones y en las temperaturas a lo largo del año, y al estar basadas mayormente en climas asociados a comunidades vegetales, permiten predecir el impacto que podría tener el cambio climático sobre la flora (Gavilán et al, 1998).

En el presente trabajo empleamos la clasificación climática de Köppen-Trewartha (KTC) descrita por Belda et al (2014) en una red de estaciones en la España peninsular y las Baleares, para obtener la climatología de las estaciones en 5 períodos móviles de 30 años que abarcan desde 1953 a 2023. El objetivo es detectar cambios en la climatología en el tiempo y estudiar el régimen climático de España mediante la clasificación empleada, comparándola con la tradicional Köppen-Geiger.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo consiste en la España peninsular y las islas Baleares. El territorio presenta una gran diversidad geográfica como resultado de su historia geológica, alternando tres tipos principales de relieve: valles/depresiones fluviales, mesetas, y sistemas montañosos. Los valles o depresiones son zonas bajas y llanas formadas por la erosión de cursos fluviales, y suelen proyectarse desde la costa al interior; las mesetas se ubican en el centro de la península, consistiendo en zonas llanas y elevadas, separadas por el Sistema Central. En la periferia de la península encontramos grandes elevaciones montañosas, como la Cordillera Cantábrica y el Pirineo por el norte, o el Sistema Bético al sur, además de Sierra

Morena y el Sistema Ibérico en el interior. La figura 1 muestra la zona de estudio, destacando las principales unidades del relieve mencionadas en el trabajo.

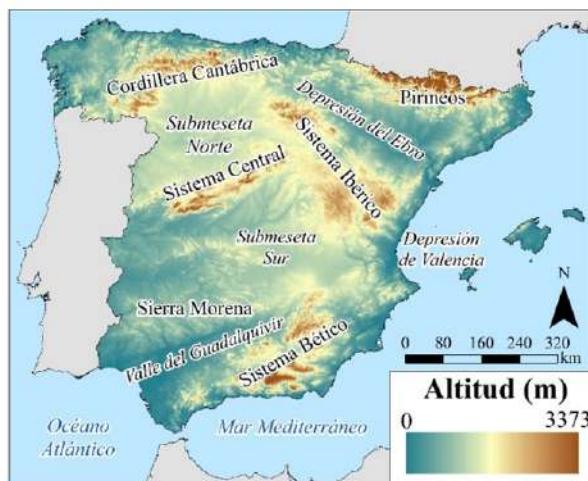


Fig. 1: Área de estudio, mostrando la topografía del territorio y resaltando los principales elementos del relieve.

Estas diferencias de relieve son clave para entender la climatología. Las cadenas montañosas, debido a su altura, dan lugar a climas más fríos, e impiden el paso de las precipitaciones, por lo que los frentes atlánticos no consiguen penetrar en zonas como la Depresión del Ebro o al este del Sistema Bético. En la costa norte predominan climas húmedos, con una precipitación más cuantiosa y distribuida a lo largo del año, mientras que las precipitaciones en el resto del territorio siguen un carácter mediterráneo. El régimen térmico es subtropical en la mayoría de zonas bajas, pero transiciona a un régimen templado en las mesetas y sistemas montañosos.

2.2. Clasificación climática de Köppen-Trewartha

Este trabajo emplea la clasificación climática propuesta por el estadounidense Glenn Thomas Trewartha, publicada originalmente en 1966, y modificada posteriormente. Esta clasificación es una derivada de la clasificación propuesta originalmente por Köppen. Trewartha modifica el criterio de aridez empleando una fórmula diferente que únicamente incluye la temperatura media anual y el porcentaje de precipitación en verano (de abril a septiembre); además de subdividir los climas templados de Köppen-Geiger (C) en climas subtropicales (C) y templados (D). La variante concreta de la clasificación de Köppen-Trewartha (KTC) utilizada en este estudio es la mostrada por Belda et al. (2014), que establece criterios extra para un clima mediterráneo, como aquellos subtropicales con menos de 890 mm de precipitación anual. Para el criterio de aridez se emplea la fórmula propuesta por de Castro et al. (2007), que presenta un mayor ajuste a las comunidades vegetales del globo. Las abreviaturas de los climas empleadas en este estudio corresponden a: BW (desértico),

BS (estepario), Cf (subtropical húmedo), Cs (mediterráneo), Do (oceánico), Dc (continental) y Eo (subpolar).

2.3. Fuentes de información

La base de datos empleada en este trabajo consiste en datos de precipitaciones y temperaturas (máximas y mínimas) para un conjunto de estaciones entre 1953 y 2022. Las estaciones pertenecen a las redes de AEMET, a nivel nacional, y AVAMET, a nivel de la Comunidad Valenciana. De entre todas las estaciones disponibles, únicamente se han tomado aquellas con al menos 7 años de datos en ambas variables. Las estaciones se han tratado utilizando la metodología descrita por Miró et al. (2015) para llenar huecos, eliminar valores anómalos, y homogeneizar las series. En total, se dispone de valores diarios para 3.668 estaciones, de las cuales 3.616 pertenecen a AEMET y 52 a AVAMET.

2.4. Tratamiento de datos

La base de datos se trata con lenguaje de programación MATLAB R2024a para obtener la temperatura media de las estaciones, y obtener los valores mensuales y anuales requeridos para el cálculo de la clasificación climática. En ese mismo lenguaje se creó un código que calcula la clasificación climática de cada estación, que fue ejecutado para calcular los climas en cada uno de los cinco períodos empleados (del 1 al 5: 1953-1982, 1963-1992, 1973-2002, 1983-2012 y 1993-2022). Los climas obtenidos fueron representados mediante el software ArcGIS 10.8 para generar los mapas, y las gráficas fueron generadas con MATLAB.

3. RESULTADOS

El cálculo de los climas a nivel de estación para los distintos períodos es visible en la figura 2. Independientemente del periodo se pueden apreciar algunas generalidades sobre la ubicación de los climas. Empezando por los áridos, únicamente el cabo de Gata presenta un clima desértico durante todos los períodos, con algunas estaciones en Almería, Murcia y Alicante presentando este clima de forma intermitente. Los climas esteparios predominan en el cuadrante sureste, a sotavento del Sistema Ibérico, y en el sector central de la Depresión del Ebro, donde el Sistema Ibérico y el Pirineo bloquean las precipitaciones. Algunas estaciones en la Submeseta Sur, la depresión de Valencia y valles intramontanos en el Sistema Ibérico también presentan este clima. El clima mediterráneo es predominante en el litoral este, entre la frontera francesa y la prolongación del Bético en Alicante, Baleares incluidas; además de en el cuadrante sudoccidental, siendo mayoritario en Extremadura y el Valle del Guadalquivir, y prolongándose hacia la Submeseta Sur. En décadas recientes, el clima mediterráneo se ha expandido hacia la Submeseta Sur, y aparece en algunas estaciones en Galicia y la costa cantábrica. El clima subtropical húmedo aparece únicamente en algunas zonas bajas del litoral norte, donde el requerimiento de meses por encima de 10 grados se cumple por escaso margen, así como en las estribaciones occidentales de Sierra Morena.

Con respecto a los climas templados, predomina el clima oceánico sobre el continental. El oceánico se distribuye en las zonas medias y altas de la costa norte, en

las elevaciones montañosas de toda la península, y se expande a la Submeseta Norte y partes de la Submeseta Sur. Cabe destacar que la diferenciación entre climas mediterráneos y húmedos, bajo la clasificación KTC, únicamente aplica en climas subtropicales y no en templados, por lo que a pesar de que muchas zonas de ambas submesetas cumplen con los criterios hídricos para ser considerados mediterráneos, no cumplen con los térmicos, por lo que se clasifican como oceánicos. En las partes altas de las montañas aparecen climas continentales, y en las zonas más elevadas del Pirineo y el Sistema Bético hay climas subpolares.

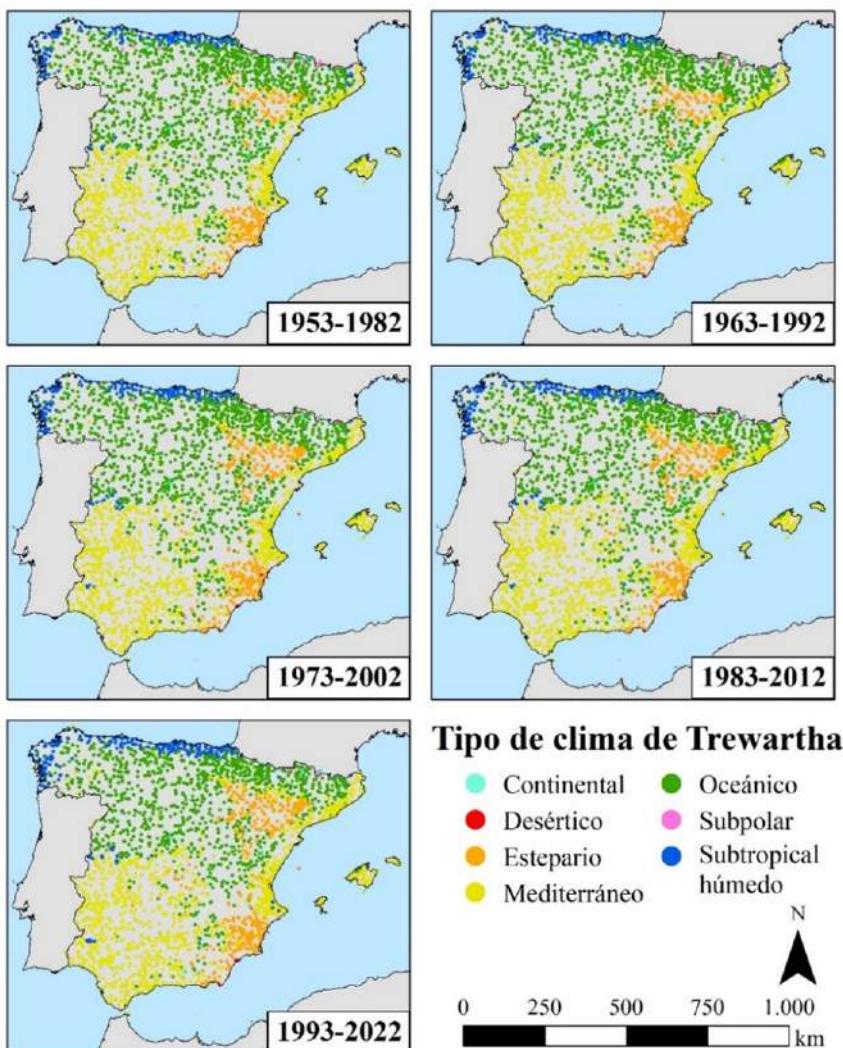


Fig. 2: Evolución de la clasificación climática de Trewartha a nivel de estación para los períodos 1953-1982, 1963-1992, 1973-2002, 1983-2012 y 1993-2022.

Al comparar los periodos 1 y 5 para ver los cambios de clima, obtenemos que 3126 estaciones (un 85,2%) no han experimentado cambio de clima. De entre las 542 estaciones que han cambiado de clima, el cambio mayoritario ha sido de Do a Cs, con 244 estaciones, seguido del cambio de Do a BS con 104, y de Cs a BS con 54. Estos cambios nos indican un incremento de la temperatura, al pasar de climas templados a subtropicales, pero también de la aridez a nivel general, tanto por cambios en el patrón de precipitaciones como por una reducción de esta. 4 estaciones han experimentado un incremento de precipitación suficiente para dejar de ser esteparias (3 pasan a Cs y 1 a Do), y 3 se han enfriado lo bastante para pasar de subtropical a templado (todas oceánico). El mayor incremento se observa en el clima BS, que incrementa su número de estaciones en un 44%, mientras que los climas Dc y Eo descienden en un 45% y 54% respectivamente, y desaparecen de las estaciones en ciertas zonas montañosas. Con respecto a la evolución temporal de los distintos climas, la figura 3 muestra que estaciones han experimentado un cambio de clima entre el periodo 1 y el 5. En la zona norte se observa una tendencia al incremento de temperaturas, pasando una cierta cantidad de estaciones de un régimen templado a uno subtropical, pero también se observa que en algunos puntos comienza a extenderse un clima mediterráneo, ya que al pasar al ámbito subtropical se puede realizar una distinción. Las zonas de montaña, a rasgos generales, muestran los cambios más universales, en especial en el Pirineo, donde gran parte de las estaciones que poseían un clima subpolar en el periodo 1 han transicionado a un clima oceánico.

En el litoral mediterráneo al norte de Alicante se aprecia un incremento de la aridez, en el que estaciones con clima oceánico pasan a ser mediterráneo, y el clima estepario comienza a extenderse por la depresión de Valencia y hasta en algunas zonas de Cataluña. En la Depresión del Ebro es donde los cambios son más aparentes. El número de estaciones que registraban clima estepario en el periodo 1 se ha duplicado para el periodo 5, con una expansión de la aridez desde la zona central hacia los bordes. La expansión de la aridez afecta también a los climas oceánicos circundantes, por lo que muchos de ellos han pasado a ser mediterráneos, al igual que en el interior de Cataluña, lo que apunta tanto a un descenso de precipitación como a un aumento de temperatura en toda la zona este. Este cambio constriñe el ámbito territorial de los climas templados hacia altitudes cada vez más elevadas. Otra zona con cambios importantes es la Submeseta Sur, donde el incremento de temperatura entre el periodo 1 y el 5 ha provocado que muchas estaciones fronterizas entre clima Do y Cs superaran el límite de 8 meses por encima de 10°C para ser consideradas subtropicales. Esto provoca que los climas mediterráneos avancen hacia el este, aunque algunas estaciones pasan a tener clima BS cerca de Toledo y en Albacete. La Submeseta Norte y el Valle del Guadalquivir destacan por apenas tener cambios en la climatología de sus estaciones.

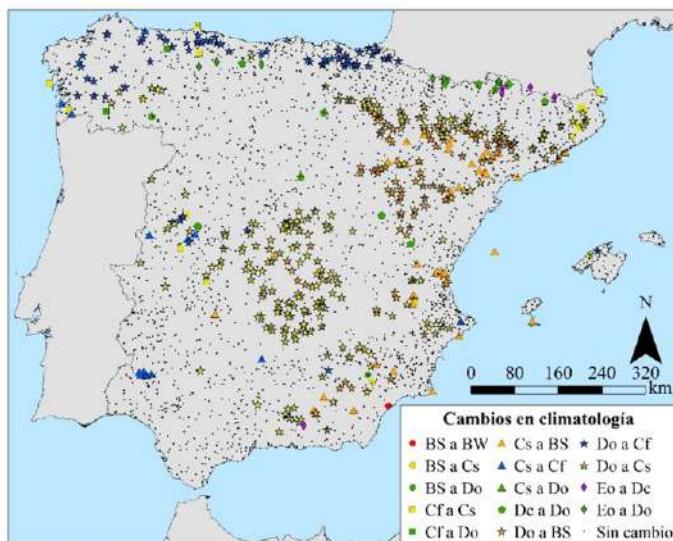


Fig. 3: Ubicación de las estaciones que han experimentado un cambio de clima entre el Periodo 1 (1953-1982) y el Periodo 5 (1993-2022). El color de denota el tipo de clima final (P5), mientras que la forma denota el tipo de clima inicial (P1).

Si analizamos la distribución de los climas en los diferentes períodos se observa el paulatino crecimiento de climas mediterráneos en detrimento de los oceánicos. En el período 1 los climas oceánicos representaban el 46,5% de las estaciones, que ha descendido hasta un 35,7% para el período 5; mientras que el mediterráneo pasa de un 35% a un 40,3% del total de estaciones. Se observa que la mayoría de cambios se producen entre los períodos 1 y 3, mientras que el cambio en los períodos 4 y 5 es menor, especialmente en climas subtropicales húmedos y esteparios, que permanecen estáticos, entorno a un 9,5% y un 13,6% de las estaciones, respectivamente. Estas tendencias parecen apuntar a un incremento de la temperatura entre los períodos 1 y 3, que empujaría estaciones oceánicas hacia el régimen subtropical, acompañado de un incremento de la aridez, que provocaría la expansión del clima mediterráneo.

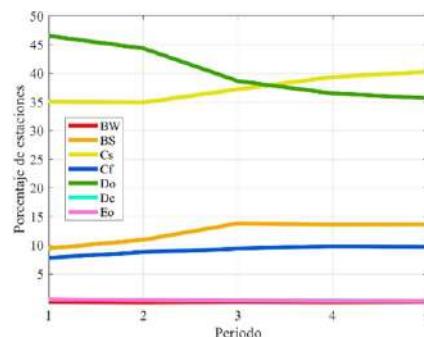


Fig. 4: Porcentaje de estaciones pertenecientes a cada tipo de clima en cada uno de los períodos descritos.

4. DISCUSIÓN

La clasificación de la Submeseta Norte y amplias zonas de la Submeseta Sur bajo un régimen oceánico resulta problemática, ya que las condiciones de la zona son más similares a las de un entorno mediterráneo que a las de un clima oceánico al uso. Esto se debe a que la clasificación de Trewartha no posee un tipo de clima “mediterráneo templado”, y únicamente tiene en cuenta climas mediterráneos cuando su régimen es subtropical. En estudios como el de Chazarra Bernabé et al (2023), que emplea la clasificación de Köppen-Geiger (que no separa templado de subtropical y aplica “mediterraneidad” a ambos), se observa que la Submeseta Norte y Galicia corresponde, precisamente, a un clima mediterráneo templado, que Trewartha asigna a oceánico. Por ende, una inclusión del criterio de “mediterraneidad” de los climas C podría extenderse a los D para generar un tipo de clima Ds que se ajustara a la realidad del terreno.

El incremento de la aridez en la depresión del Ebro se relaciona a un descenso general de la precipitación, pues el 75% de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río experimentaron un descenso de precipitación entre 1951 y el 2000 (De Luis et al, 2007), también visible en el Sistema Ibérico a fechas más recientes (Miró et al, 2023). En Valencia, la aridificación se asocia a un debilitamiento de las precipitaciones de frentes atlánticos y a un ligero incremento de las precipitaciones por ciclogénesis mediterránea (Estrela et al, 2024). Los cambios de clima concentrados en las primeras partes del estudio coinciden con un intervalo de incremento de las temperaturas medias entre 1970 y 1990 en España (Sandonis et al, 2021), y el incremento de temperatura ha condicionado los cambios de clima mayoritarios, de oceánico a subtropical húmedo.

Al comparar nuestros resultados con los obtenidos por Belda et al (2014), con la misma clasificación, se observan diferencias significativas. Si bien clasifican buena parte de ambas mesetas como oceánico, su modelo resulta en una amplia extensión de climas subtropicales húmedos en zonas de Extremadura y el Valle del Guadalquivir, que son mediterráneos en nuestro caso. Esto también ocurre en la costa oriental de la península, donde el modelo de Belda predice climas subtropicales húmedos y no detecta aridez en la Depresión del Ebro. Cabe destacar que los períodos de datos utilizados en los estudios no son idénticos, lo que puede haber influido en los resultados obtenidos.

Si se compara con resultados obtenidos para la clasificación Köppen-Geiger, se observan similitudes con los resultados obtenidos por Chazarra Bernabé et al (2023), en especial con respecto a la localización de las zonas con cambios. Cabe destacar que las clasificaciones no son directamente homologables, en especial con respecto a las zonas esteparias y desérticas, que son significativamente mayores en el caso de Köppen-Geiger. Otros estudios que emplean esta clasificación, como el de Beck et al (2023) muestran zonas esteparias significativamente mayores, que cubren el corazón de la Submeseta Norte, la práctica totalidad de la Submeseta Sur, la Depresión del Ebro, y la Comunidad Valenciana.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha llevado a cabo dentro del contexto de los proyectos de investigación PID2020-118797RB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033) del Ministerio de Ciencia e Innovación, y PROMETEO/2021/016 de la Generalitat Valenciana.

REFERENCIAS

- Beck, H.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N.J., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., Van Dijk, A.I.J.M. & Miralles, D.G. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific Data*, 10:724. doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. & Kalvová, J. (2014). Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research*, 59, 1-13, doi: <http://dx.doi.org/10.3354/cr01204>
- de Castro, M., Gallardo, C., Jylha, K. & Tuomenvirta, H. (2007). The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of regional climate models. *Climatic Change*, 81, 329-341, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-9224-1>
- Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Romero Fresneda, R. & Moreno García, J.V. (2023). Evolución de los climas de Köppen-Geiger en España (1951-2020). XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC): Retos del Cambio Climático: impactos, mitigación y adaptación.
- De Luis, M., Longares, M.A., Stepanek, P. & González-Hidalgo, J. C. (2007). Tendencias estacionales de la precipitación en la cuenca del Ebro 1951-2000. *Geographicalia*, 52(52), 53-78. doi: http://dx.doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2007521107
- Estrela, M.J., Miró, J., Pastor, F. & Millán, M. (2004). Precipitaciones por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana: Cambios y tendencias en las últimas décadas. XXVIII Jornadas Científicas de la AME.
- Gavilán, R.G., Fernández González, F. & Blasi, C. (1998). Climatic classification and ordination of the Spanish Sistema Central: relationships with potential vegetation. *Plant Ecology*, 139, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1009794219141>
- Miró, J.J., Estrela, M.J. & Olcina Cantos, J. (2015). Statistical downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia region (1948–2011). *Atmospheric Research*, 156, 189-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.003>
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Corell, D., Gómez, I. & Luna, M.Y. (2023). Precipitation and drought trends (1952-2021) in a key hydrological recharge area of the eastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Research*, 286:106695. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106695>
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. (2007). Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Sandonís, L., González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D. & Beguería, S. (2021). Mean temperature evolution on the Spanish mainland 1916–2015. *Climate Research*, 82, 177-189. doi: <https://doi.org/10.3354/cr01627>