

EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ISOBIOCLIMAS DE LA ESPAÑA PENINSULAR Y LAS ISLAS BALEARES (1953-2022)

Christian David LORENTE BLANCO¹, María José ESTRELA NAVARRO², David CORELL CUSTARDOY¹, Juan Javier MIRÓ PÉREZ² y David ORGAMBIDES GARCIA¹

¹ Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Universidad de Valencia

² Departamento de Geografía. Universidad de Valencia.

christian.lorente@uv.es, javier.miro-perez@uv.es, majoesna@uv.es,
david.corell@uv.es, orgarda@uv.es

RESUMEN

Este estudio analiza la evolución espacio-temporal de las isobioclimas en la España peninsular y las Islas Baleares durante un período de siete décadas (1953-2022), empleando para ello una extensa base de datos de 3.668 estaciones meteorológicas, y aplicando el sistema de clasificación bioclimática WBCS (Worldwide Bioclimatic Classification System). Los resultados revelan cambios significativos en la distribución de las isobioclimas, identificándose un total de 75 isobioclimas diferentes a lo largo del período de estudio. Se ha observado una intensificación del macrobioclima Mediterráneo, que incrementó su presencia del 62,43% al 69,36% de las estaciones, mientras que el macrobioclima Templado se redujo del 37,57% al 30,64%. El 52,37% de las estaciones experimentaron cambios en su isobioclima, identificándose 246 tipos diferentes de transiciones, con una distribución espacial heterogénea concentrada principalmente en la franja norte peninsular, el litoral mediterráneo y los sistemas montañosos. Las transiciones más frecuentes indican una tendencia hacia condiciones más cálidas y áridas, sugiriendo un proceso de mediterraneización del territorio. Estos cambios podrían tener importantes implicaciones para la conservación de los ecosistemas y la gestión de la biodiversidad en la región, especialmente en las zonas de transición entre macrobioclimas.

Palabras clave: Bioclimatología, Cambio Climático, Península Ibérica, Isobioclimas.

ABSTRACT

This study analyzes the spatio-temporal evolution of isobioclimates in peninsular Spain and the Balearic Islands over seven decades (1953-2022), using an extensive database of 3,668 weather stations, and applying the Worldwide Bioclimatic Classification System (WBCS). Results reveal significant changes in isobioclimatic distribution, with a total of 75 different isobioclimates identified throughout the study period. We observed an intensification of the Mediterranean macrobioclimate, which increased its presence from 62.43% to 69.36% of stations, while the Temperate macrobioclimate decreased from 37.57% to 30.64%. A total of 52.37% of stations experienced changes in their isobioclimate, with 246 different types of transitions identified, showing a heterogeneous spatial distribution mainly concentrated in the

northern peninsular fringe, the Mediterranean coastline, and mountain systems. The most frequent transitions indicate a trend towards warmer and more arid conditions, suggesting a process of mediterraneization across the territory. These changes could have significant implications for ecosystem conservation and biodiversity management in the region, particularly in transition zones between macrobioclimates.

Keywords: Bioclimatology, Climate Change, Iberian Peninsula, Isobioclimates.

1. INTRODUCCIÓN

La Península Ibérica y las Islas Baleares, debido a su ubicación geográfica y características climáticas, se consideran regiones vulnerables al cambio climático. Situadas en la transición entre las zonas templadas y subtropicales, y con una orografía compleja, estas áreas experimentan una alta variabilidad climática que las hace sensibles a pequeñas alteraciones en los parámetros climáticos. Estudios recientes en esta región indican tendencias hacia la aridificación (Claro *et al.*, 2023), disminución de las precipitaciones (Páscoa *et al.*, 2021) y aumento de las temperaturas (Sandonis *et al.*, 2021), lo que podría exacerbar fenómenos como la pérdida de biodiversidad. En este escenario, el análisis de las isobioclimas se presenta como una herramienta valiosa para evaluar y monitorear los impactos del cambio en la región.

Dentro de la clasificación bioclimática definida por Rivas-Martínez *et al.* (2011), la *Worldwide Bioclimatic Classification System* (WBCS), las isobioclimas proporcionan una caracterización holística de las condiciones climáticas al integrar en sí mismas varias unidades bioclimáticas. Su estudio permite identificar tanto cambios climáticos como inferir las posibles respuestas de los ecosistemas a dichas alteraciones.

En la última década se ha producido una aceleración de los indicadores de cambio climático, con nuevos récords de temperaturas globales y eventos extremos. En la Península Ibérica, estos cambios se han manifestado en forma de sequías prolongadas, olas de calor más frecuentes e intensas, y alteraciones en los patrones de precipitación (AEMET, 2020). Estos fenómenos subrayan la necesidad de actualizar los estudios previos sobre la evolución de las isobioclimas en esta región. La rápida evolución del clima en la última década sugiere que los patrones bioclimáticos podrían haber experimentado cambios desde entonces. En este contexto, el presente estudio se propone analizar la evolución espacial y temporal de las isobioclimas de la región peninsular española y de las Islas Baleares para un período de siete décadas, empleando datos climáticos actualizados hasta el año 2022.

2. MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

La región de estudio engloba la España peninsular y las Islas Baleares, abarcando un área total de aproximadamente 498.884 km². La Península Ibérica se caracteriza por una marcada heterogeneidad geográfica y climática, fruto de su posición entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, su proximidad al continente africano y su orografía compleja, la cual incluye sistemas montañosos significativos como los Pirineos, la Cordillera Cantábrica o el Sistema Central, entre otros. Esta variedad

topográfica y geográfica genera una gran diversidad de bioclimas y, consecuentemente, una rica variedad de ecosistemas. Por su parte, las Islas Baleares, debido a su carácter insular y variedad de microclimas, poseen una gran biodiversidad taxonómica y filogenética dentro de la región mediterránea, destacando sus regiones montañosas. Desde una perspectiva bioclimática, el área de estudio presenta dos macrobioclimas: el Mediterráneo y el Templado (Rivas-Martínez *et al.*, 2017).

2.2. Base de datos, Período de estudio y Tratamiento de datos

Para llevar a cabo este estudio se ha empleado una extensa base de datos climáticos compuesta por registros diarios de temperaturas mínimas (°C), temperaturas máximas (°C) y precipitación (mm), procedentes de un total de 3.668 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio, obteniendo con ello una densidad media aproximada de una estación por cada 136 km². De estas estaciones, 3.616 pertenecen a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), y 52 a la Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET). Estos datos abarcaron un período comprendido entre 1953 y 2022. Dicho intervalo se dividió en dos subperíodos de 35 años cada uno (1953-1987 y 1988-2022) con el fin de realizar análisis comparativo de la evolución de las isobioclimas.

Para garantizar la calidad y coherencia temporal de los datos, se implementó un riguroso proceso de control y homogeneización. Se seleccionaron estaciones con más de 8 años completos de observaciones originales, aplicando a continuación técnicas estadísticas basadas en el enfoque NLPCA-EOF-QM para completar las lagunas de datos, siguiendo la metodología descrita por Miró *et al.* (2017). Sin embargo, para las temperaturas, el proceso de llenado de datos con mejor rendimiento fue VBPCA-QM, el cual también se describe entre los probados por Miró *et al.* (2017). Así mismo, para garantizar la homogeneidad temporal de las series temporales obtenidas, se aplicó el método ACMANT, desarrollado por Domonkos (2014, 2015).

2.3. Metodología empleada

Para llevar a cabo este estudio se empleó el sistema de clasificación bioclimática definido por Rivas-Martínez *et al.* (2011): la WBCS. Dicho sistema, al integrar conceptos de climatología, ecología y biogeografía, constituye una robusta herramienta para la caracterización bioclimática de los territorios. Dentro de la WBCS, las isobioclimas representan unidades bioclimáticas sintéticas que integran el macrobioclima, el bioclima, la variante bioclimática, el termotipo y el ombrotípico, definiendo así espacios ambientales homogéneos capaces de albergar series de vegetación específicas. Dentro del área de estudio, se identifican los macrobioclimas Mediterráneo y Templado; sin embargo, como el nombre del bioclima incluye siempre el de su respectivo macrobioclima, no hace falta repetirlo al nombrar la correspondiente isobioclima. Por tanto, la estructura de identificación de una isobioclima es la siguiente: bioclima – variante bioclimática – termotipo – ombrotípico. El cálculo de estas unidades bioclimáticas implica la recopilación de datos climáticos mensuales de temperatura y precipitación, el cómputo de índices bioclimáticos como el índice de termicidad compensado (Itc) y el índice ombrotérmico anual (Io), y la determinación sucesiva y secuencial de las correspondientes unidades que componen cada isobioclima. La metodología de obtención de las correspondientes unidades bioclimáticas requeridas se detalla en Rivas-Martínez *et al.* (2011).

Los bioclimas identificados en este estudio han sido los siguientes: mediterráneo pluviestacional oceánico (mepo), mediterráneo pluviestacional continental (mepc), mediterráneo xérico oceánico (mexo), mediterráneo xérico continental (mexc), mediterráneo desértico oceánico (medo), mediterráneo desértico continental (medc), templado hiperoceánico (teho), templado oceánico (teoc), templado continental (teco), templado xérico (texe). Las variantes bioclimáticas identificadas en este estudio han sido las siguientes: normal (nrm), submediterránea (sbm) y esteparia (stp). Los termotipos identificados en este estudio han sido los siguientes: inframediterráneo (ime), termomediterráneo (tme), mesomediterráneo (mme), supramediterráneo (sme), oromediterráneo (ome), infratemplado (ite), termotemplado (tte), mesotemplado (mte), supratemplado (ste) y orotemplado (ote). Los ombrotipos identificados en este estudio han sido los siguientes: árido (ar), semiárido (sa), seco (se), subhúmedo (su), húmedo (hu), hiperhúmedo (hh) y ultrahiperhúmedo (uhu).

3. RESULTADOS

En la tabla 1 pueden observarse las diferentes isobioclimas presentes en el área de estudio a lo largo de los dos períodos de tiempo definidos. Se identificaron un total de 75 isobioclimas, de las cuales 61 estuvieron presentes en el período 1953-1987, y 66 en el período 1988-2022. Durante el primer período, el macrobioclima Mediterráneo fue el dominante, presentando 22 isobioclimas, y abarcando el 62,43% de las estaciones meteorológicas (2.290 estaciones). Por su parte, el macrobioclima Templado presentó 39 isobioclimas, las cuales ocupaban el 37,57% de las estaciones restantes (1.378 estaciones). La dominancia del macrobioclima Mediterráneo se intensificó durante el segundo período, ocupando el 69,36% de las estaciones meteorológicas (2.544 estaciones). Las isobioclimas mediterráneas identificadas pasaron de 22 a 32, lo que supuso un aumento relativo del 45,45%. En contraposición, el macrobioclima Templado presentó 34 isobioclimas, lo que implicó una disminución relativa de las isobioclimas templadas en un 12,8%. Como consecuencia, el macrobioclima Templado pasó a ocupar el 30,64% de las estaciones (1.124 estaciones) durante el segundo período. Por tanto, a lo largo del período de estudio, el macrobioclima Mediterráneo aumentó su ocupación relativa de estaciones en un 11,11%, mientras que en el macrobioclima Templado esta disminuyó un 18,43%.

Isobioclima	1953-1987 (Nº de estaciones)	1988-2022 (Nº de estaciones)	Diferencia (Nº de estaciones)	1953-1987 (% de estaciones)	1988-2022 (% de estaciones)
(1) mepo - nrm - mme - se	843	728	-115	22,98	19,85
(2) mepo - nrm - tme - se	430	521	91	11,72	14,2
(3) teoc - sbm - mte - su	209	209	0	5,7	5,7
(4) mepo - nrm - mme - su	198	235	37	5,4	6,41
(5) teoc - sbm - ste - hu	170	143	-27	4,63	3,9
(6) mepo - nrm - sme - se	170	99	-71	4,63	2,7
(7) teoc - sbm - mte - hu	161	175	14	4,39	4,77
(8) mexo - nrm - tme - sa	153	263	110	4,17	7,17
(9) teoc - sbm - ste - su	134	72	-62	3,65	1,96
(10) teho - sbm - tte - hu	120	22	-98	3,27	0,6
(11) mexo - nrm - mme - sa	112	105	-7	3,05	2,86
(12) mepo - nrm - sme - su	111	119	8	3,03	3,24

(13) mepo - stp - mme - se	97	84	-13	2,64	2,29
(14) texe - sbm - mte - se	97	28	-69	2,64	0,76
(15) mepo - nrm - tme - su	58	37	-21	1,58	1,01
(16) teoc - nrm - ste - hu	51	40	-11	1,39	1,09
(17) teoc - nrm - mte - hu	43	42	-1	1,17	1,15
(18) texe - sbm - ste - se	34	2	-32	0,93	0,05
(19) teho - sbm - mte - hu	34	2	-32	0,93	0,05
(20) mepo - nrm - mme - hu	33	31	-2	0,9	0,85
(21) teoc - nrm - ste - hh	33	25	-8	0,9	0,68
(22) teoc - sbm - ste - hh	32	29	-3	0,87	0,79
(23) teoc - nrm - ote - hh	29	12	-17	0,79	0,33
(24) texe - sbm - tte - se	28	6	-22	0,76	0,16
(25) teoc - sbm - tte - su	27	67	40	0,74	1,83
(26) teoc - sbm - tte - hu	24	98	74	0,65	2,67
(27) teoc - nrm - mte - hh	23	20	-3	0,63	0,55
(28) teoc - nrm - tte - hu	18	55	37	0,49	1,5
(29) teho - sbm - tte - su	17	39	22	0,46	1,06
(30) mepo - stp - sme - se	17	3	-14	0,46	0,08
(31) mexo - stp - mme - sa	16	11	-5	0,44	0,3
(32) teho - nrm - tte - hu	16	2	-14	0,44	0,05
(33) teoc - sbm - mte - hh	13	7	-6	0,35	0,19
(34) medo - nrm - tme - ar	12	15	3	0,33	0,41
(35) teho - nrm - mte - hu	12	0	-12	0,33	0
(36) teho - sbm - mte - hh	11	0	-11	0,3	0
(37) mepc - nrm - mme - se	9	111	102	0,25	3,03
(38) teho - nrm - mte - hh	9	2	-7	0,25	0,05
(39) teoc - sbm - ote - hh	8	3	-5	0,22	0,08
(40) mexo - nrm - ime - sa	7	19	12	0,19	0,52
(41) mepo - nrm - ime - se	6	13	7	0,16	0,35
(42) mepo - nrm - sme - hu	6	13	7	0,16	0,35
(43) teho - nrm - tte - hh	4	0	-4	0,11	0
(44) mepc - nrm - mme - su	3	13	10	0,08	0,35
(45) medo - nrm - ime - ar	3	13	10	0,08	0,35
(46) mepc - stp - mme - se	2	10	8	0,05	0,27
(47) mexc - stp - mme - sa	2	8	6	0,05	0,22
(48) teoc - stp - mte - su	2	2	0	0,05	0,05
(49) teoc - nrm - ste - su	2	1	-1	0,05	0,03
(50) teoc - nrm - ste - uhu	2	1	-1	0,05	0,03
(51) teho - sbm - mte - su	2	1	-1	0,05	0,03
(52) teoc - stp - ste - su	2	0	-2	0,05	0
(53) teoc - sbm - ote - hu	2	0	-2	0,05	0
(54) teho - sbm - tte - hh	2	0	-2	0,05	0
(55) teho - nrm - ste - hh	2	0	-2	0,05	0
(56) mepo - nrm - ime - su	2	0	-2	0,05	0
(57) teoc - nrm - mte - su	1	8	7	0,03	0,22
(58) teoc - nrm - ote - uhu	1	2	1	0,03	0,05
(59) teoc - nrm - ote - hu	1	2	1	0,03	0,05
(60) teho - nrm - ste - hu	1	1	0	0,03	0,03
(61) teoc - sbm - ote - su	1	0	-1	0,03	0
(62) mexc - nrm - mme - sa	0	50	50	0	1,36
(63) mepo - stp - mme - su	0	19	19	0	0,52
(64) mepo - stp - sme - su	0	8	8	0	0,22
(65) mexc - nrm - tme - sa	0	7	7	0	0,19
(66) teoc - nrm - tte - hh	0	3	3	0	0,08
(67) mepc - nrm - tme - se	0	3	3	0	0,08
(68) teco - sbm - mte - su	0	2	2	0	0,05
(69) teho - sbm - ite - hu	0	1	1	0	0,03
(70) mexo - nrm - sme - sa	0	1	1	0	0,03

(71) mexc - nrm - ime - sa	0	1	1	0	0,03
(72) mepo - nrm - tmc - hu	0	1	1	0	0,03
(73) mepo - nrm - ome - hu	0	1	1	0	0,03
(74) medo - nrm - mme - ar	0	1	1	0	0,03
(75) medc - nrm - mme - ar	0	1	1	0	0,03

Tabla 1: Isobioclimas identificadas en el periodo de estudio. En azul se indican las isobioclimas que mayor aumento han experimentado en cuanto al número de estaciones ocupadas, y en rojo las que mayor disminución han sufrido. Datos ordenados de mayor a menor en términos de porcentaje de estaciones ocupadas durante el primer periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia.

A lo largo del estudio, 35 isobioclimas aumentan su número de estaciones ocupadas, 37 lo pierden, y 3 no experimentan cambios. Entre ambos periodos, 9 isobioclimas que se encontraban presentes en el periodo 1953-1987 han desaparecido; así mismo, han aparecido 14 isobioclimas nuevas durante el periodo 1988-2022. Cabe destacar, sin embargo, que su respectiva representación es mínima (ver tabla 1). En la figura 1 puede observarse la evolución de las isobioclimas que mayor cambio (positivo / negativo) han experimentado a lo largo del periodo de estudio.

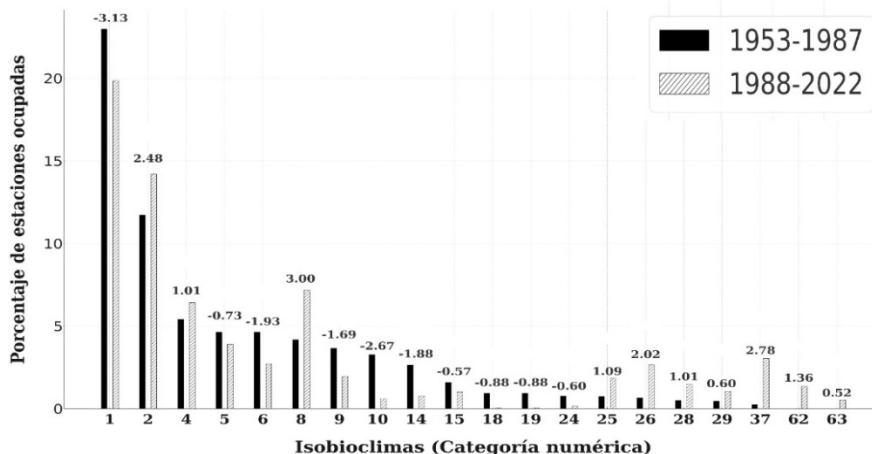


Fig. 1: Evolución de las isobioclimas que han experimentado un mayor cambio durante el periodo 1953-2022. Se observa su respectivo porcentaje de cambio total. Datos ordenados de mayor a menor en términos de porcentaje de estaciones ocupadas durante el primer periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Las isobioclimas que mayor pérdida han experimentado en cuanto a su respectivo número de estaciones son “mepo - nrm - mme - se”, “teho - sbm - tte - hu” y “mepo - nrm - mme - se”; mientras que las que mayor ganancia han experimentado son “mexo - nrm - tme - sa”, “mepc - nrm - mme - se” y “mepo - nrm - tme - se”. Se han producido 246 tipos de transiciones isobioclimáticas (cambio de una isobioclima a otra diferente durante el segundo periodo). Como resultado, 1921 estaciones (un 52,37% del total) presentan una isobioclima diferente respecto a su respectiva isobioclima inicial. La

localización espacial de estas estaciones se observa en la figura 2. La distribución espacial de las estaciones que han experimentado cambios durante el período de estudio muestra un patrón espacial heterogéneo, pero con tendencias identificables.



Fig. 2: Distribución espacial de las estaciones que han mostrado cambios en su isobioclima inicial a lo largo del período de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Transición		Nº de estaciones en las cuales se ha producido esta transición	Porcentaje respecto del total de estaciones que han cambiado	Porcentaje respecto del total de estaciones del área de estudio
Isobioclima Período 1953-1987	Isobioclima Período 1988-2022			
mepo - nrm - mme - se	mepo - nrm - tme - se	121	6,30	3,30
mepo - nrm - tme - se	mexo - nrm - tme - sa	98	5,10	2,67
mepo - nrm - mme - se	mepo - nrm - mme - se	87	4,53	2,37
mepo - nrm - mme - su	mepo - nrm - mme - se	74	3,85	2,02
mepo - nrm - sme - se	mepo - nrm - mme - se	51	2,65	1,39
mepo - nrm - mme - se	mexo - nrm - mme - sa	45	2,34	1,23
mexo - nrm - mme - sa	mepo - nrm - mme - se	45	2,34	1,23
mepo - nrm - mme - se	mepo - nrm - mme - su	42	2,19	1,15
mepo - nrm - tme - su	mepo - nrm - tme - se	41	2,13	1,12
teho - sbm - tte - hu	teoc - sbm - tte - hu	41	2,13	1,12
teoc - sbm - ste - su	teoc - sbm - mte - su	35	1,82	0,95
mepo - nrm - mme - se	mepo - stp - mme - se	32	1,67	0,87
teoc - sbm - mte - hu	teoc - sbm - mte - su	31	1,61	0,85
mepo - nrm - mme - se	mexo - nrm - tme - sa	30	1,56	0,82
texe - sbm - mte - se	mepo - nrm - mme - se	29	1,51	0,79
teoc - sbm - ste - hu	teoc - sbm - mte - hu	28	1,46	0,76
teho - sbm - tte - hu	teoc - sbm - tte - su	27	1,41	0,74
teoc - sbm - mte - su	mepo - nrm - mme - su	26	1,35	0,71
mepo - nrm - sme - se	mepo - nrm - sme - su	25	1,30	0,68
teho - sbm - tte - hu	teho - sbm - tte - su	25	1,30	0,68
teoc - sbm - ste - su	mepo - nrm - sme - su	25	1,30	0,68
teoc - sbm - mte - su	texe - sbm - mte - se	22	1,15	0,60
mepo - nrm - mme - se	mexo - nrm - mme - sa	21	1,09	0,57
mepo - nrm - sme - su	mepo - nrm - sme - se	20	1,04	0,55
Total		1021	53,13	27,85

Tabla 2: Transiciones de isobioclimas más comunes producidas a lo largo del período de estudio. Fuente: Elaboración propia

Se observa una concentración de cambios en la franja norte peninsular (especialmente en la cornisa cantábrica y los Pirineos), el litoral mediterráneo (particularmente en la región catalana) y en las Islas Baleares. También se aprecia una notable densidad de cambios en los sistemas montañosos del interior peninsular, especialmente en el Sistema Ibérico. Por el contrario, las zonas centrales de ambas mesetas, así como áreas de Extremadura y Andalucía occidental muestran una menor densidad de cambios, sugiriendo una mayor estabilidad bioclimática.

Cabe destacar que la mayoría de las transiciones producidas son minoritarias. De hecho, el conjunto de las 25 transiciones más comunes (aquellas cuyo porcentaje de cambio respecto del total de estaciones que han cambiado es superior al 1%) engloba más de la mitad de las estaciones que han experimentado cambios en su respectiva isobioclima inicial. En concreto, estas 25 transiciones engloban 1.021 estaciones, es decir, un 53,13% del total de estaciones que han experimentado cambios.

Estas 25 transiciones isobioclimáticas pueden observarse en la tabla 2. Así mismo, en la figura 3 se detallan sus respectivas localizaciones espaciales.

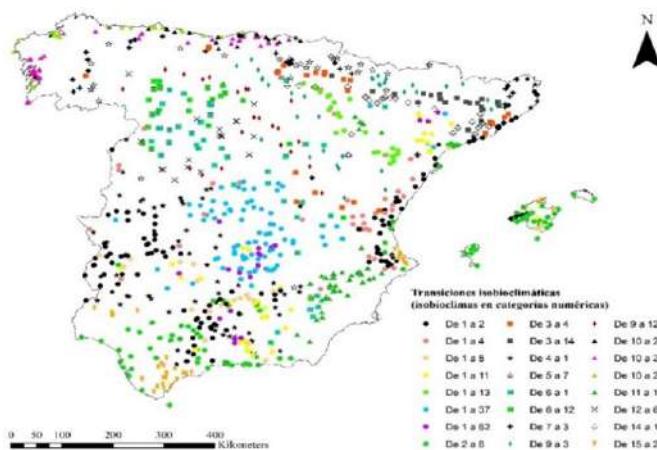


Fig. 3: Distribución espacial de las transiciones isobioclimáticas más comunes a lo largo del período de estudio. Fuente: Elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos revelan cambios en la distribución espacio - temporal de las isobioclimas en la Península Ibérica y las Islas Baleares durante el período 1953-2022, evidenciando una tendencia la cual también fue observada por López-Fernández *et al.* en su estudio de 2016. Destaca el incremento observado en la predominancia del macrobioclima Mediterráneo, que ha pasado de ocupar el 62,43% de las estaciones al 69,36%. Dicha expansión se ha producido a expensas del macrobioclima Templado, evidenciando un proceso de "mediterraneización", en coherencia con las tendencias de cambio climático observadas en el área de estudio (Páscoa *et al.*, 2021; Sandonis *et al.*, 2021). Este cambio se complementa, así mismo, con una tendencia hacia la homogeneización bioclimática de las regiones templadas, manifestada no solo en la

pérdida neta de diversidad isobioclimática dentro del macrobioclima Templado, sino también en la simplificación de los gradientes bioclimáticos, destacando la reducción de los bioclimas “teho” y “texe” en favor del bioclima “teoc”, siendo particularmente notoria la disminución de las isobioclimas “teho-sbm-tte-hu” y “texe-sbm-mte-se”.

A lo largo del período de estudio, las isobioclimas “mepo - nrm - mme - se” y “mepo - nrm - tme - se” se mantienen como las dominantes. No obstante, presentan dinámicas opuestas: negativa en la primera, y positiva en la segunda. Esta tendencia sugiere un desplazamiento hacia condiciones más cálidas y una posible aridificación dentro del área ocupada por el macrobioclima Mediterráneo, concordando con las proyecciones de aridificación estimadas para Península Ibérica en el contexto del cambio climático (Claro *et al.*, 2023). Así mismo, el aumento de isobioclimas como “mexo - nrm - tme - sa” y “mepc - nrm - mme - se” indica una tendencia hacia condiciones más continentales y extremas en el macrobioclima Mediterráneo.

Por otro lado, las transiciones isobioclimáticas producidas, observadas en el 52,37% de las estaciones, reflejan una elevada dinámica de cambio en la configuración bioclimática del territorio. La existencia de una gran variedad de tipos diferentes de transiciones (246 en total), así como su heterogeneidad espacial, indica que los cambios producidos no son uniformes. El análisis detallado de las transiciones isobioclimáticas revela un patrón de termificación y xerificación. La transición más frecuente, “mepo – nrm – mme – se” → “mepo – nrm – tme – se”, implica un incremento térmico; mientras que la segunda más común, “mepo – nrm – tme – se” → “mexo – nrm – tme – sa”, representa una intensificación de la aridez.

Por último, el incremento en el número total de isobioclimas identificadas durante el segundo período de estudio sugiere una diversificación bioclimática, posiblemente asociada a los efectos del cambio climático. La aparición de 14 nuevas isobioclimas, mayoritariamente correspondientes a combinaciones características de condiciones más cálidas y secas, y la desaparición de 9 existentes en el primer período de estudio refuerza la hipótesis de una reconfiguración bioclimática, en respuesta a las variaciones climáticas recientes. Este aumento se ha producido a través de un incremento del número de isobioclimas mediterráneas y una disminución de las isobioclimas templadas. Esto podría tener implicaciones para la conservación de la biodiversidad, ya que representa la manifestación de condiciones ambientales potencialmente nuevas para las especies y comunidades vegetales existentes. Por otro lado, las nuevas isobioclimas identificadas en el segundo período, aunque con representación mínima, podrían estar actuando como indicadores tempranos de cambios más profundos en el sistema bioclimático de la región. La identificación y monitoreo de estas isobioclimas emergentes podría permitir anticipar posibles impactos ecológicos, así como diseñar estrategias de gestión y conservación eficaces. En conclusión, los resultados apuntan hacia una reconfiguración bioclimática en la Península Ibérica y las Islas Baleares en las últimas décadas, presumiblemente vinculada al cambio climático. Estos cambios podrían tener implicaciones sobre los ecosistemas y la biodiversidad de la región, por lo que requieren una atención especial en futuros estudios y en la formulación de políticas ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado en el marco 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

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2020). *Informe sobre el estado del clima de España 2020*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/informe_clima_2020_aemet-comprimido.pdf
- Claro, A. M., Fonseca, A., Fraga, H., & Santos, J. A. (2023). Susceptibility of Iberia to extreme precipitation and aridity: A new high-resolution analysis over an extended historical period. *Water*, 15(21), 3840. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/w15213840>
- Domonkos, P. (2014). The ACMANT2 software package. In *Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology, WMO WCDMP-84* (pp. 46–72). World Meteorological Organization (WMO).
- Domonkos, P. (2015). Homogenization of precipitation time series with ACMANT. *Theoretical and Applied Climatology*, 122(1), 303–314. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-014-1298-5>
- López-Fernández, M. L., Peña-Angulo, D., Marco, R., López-Fernández, M. S., & González-Hidalgo, J. C. (2016). Variaciones entre Isobioclimas (1951–1980 y 1981–2010) en la España peninsular. In *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Universidad de Alicante. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlacante2016-19>
- Miró, J. J., Caselles, V., & Estrela, M. J. (2017). Multiple imputation of rainfall missing data in the Iberian Mediterranean context. *Atmospheric Research*, 197, 313–330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.016>
- Páscoa, P., Russo, A., Gouveia, C., Soares, P., Cardoso, R., Careto, J. A. M., & Ribeiro, A. F. S. (2021). A high-resolution view of the recent drought trends over the Iberian Peninsula. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100320. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2021.100320>
- Rivas-Martínez, S., Rivas Sáenz, S., & Penas, A. (2011). Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany*, 1(1), 1–634.
- Rivas-Martínez, S., Penas, Á., Díaz González, T. E., Canto, P., del Río, S., Costa, J. C., Herrero, L., & Molero, J. (2017). Biogeographic units of the Iberian Peninsula and Balearic Islands to district level. In J. Loidi (Ed.), *The vegetation of the Iberian Peninsula: Volume 2* (pp. 131–188). Springer. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54784-8_5
- Sandonis, L., González-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., & Beguería, S. (2021). Mean temperature evolution on the Spanish mainland 1916–2015. *Climate Research*, 82(1), 177–189. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/cr01627>