

REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA SERIE CENTENARIA TERMOPLUVIOMÉTRICA DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO (MADRID, 1894-2024)

REVIEW AND ANALYSIS OF THE CENTENNIAL THERMOPLUVIOMETRIC SERIES FROM EL RETIRO METEOROLOGICAL OBSERVATORY (MADRID, 1894-2024)

Carlos Cano-Barbacid¹ y Javier Cano Sánchez²

Recibido: 05/08/2025 · Aceptado: 26/03/2026

DOI: <http://dx.doi.org/10.5944/etfvi.19.2026.45974>

Resumen

En mayo de 2017 la Organización Meteorológica Mundial reconoció como estación centenaria de observación a largo plazo el Observatorio Meteorológico de El Retiro, situado en la localidad de Madrid, por su serie climatológica de más de cien años. En este trabajo se hace un breve repaso histórico del Observatorio de El Retiro, cuyo origen daría lugar a la actual Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), y se analizan las series históricas de temperatura, precipitación, número de días cálidos, noches tropicales y días con helada, con el objetivo de detectar posibles tendencias. Durante sus algo más de 130 años de existencia la temperatura media anual del aire en superficie ha experimentado una variación positiva de 2 °C, con respecto a la que había a comienzos del siglo XX. Además, se han confirmado aumentos significativos en el número de días cálidos y de noches tropicales de un 120,8% y un 520,6%, respectivamente; mientras que el número de días con helada ha disminuido un 32,3% durante el periodo de estudio. Por el contrario, la precipitación anual acumulada no muestra un cambio significativo a lo largo del mismo periodo.

Palabras clave

Análisis de series temporales; cambio climático; estación centenaria; series climatológicas; meteorología.

1. Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC); carlos.cano@mncn.csic.es; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6482-5103>

2. Observador de meteorología retirado de la Delegación Territorial de AEMET en Madrid, Agencia Estatal de Meteorología; colirrojoreal@yahoo.es

Abstract

In May 2017, the World Meteorological Organization recognized El Retiro Meteorological Observatory in Madrid as a centennial observing station, due to its climatological time series spanning more than one hundred years. This work provides a brief historical overview of El Retiro Observatory, whose origins led to the creation of the current State Meteorological Agency (AEMET), and analyzes the series of temperature, precipitation, number of warm days, tropical nights, and frost days, with the aim of detecting possible trends. Over its more than 130 years of existence, the annual mean surface air temperature has increased by 2 °C compared to the early 20th century. In addition, significant increases have been confirmed in the number of warm days and tropical nights, by 120.8% and 520.6% respectively, while the number of frost days has decreased by 32.3% over the study period. By contrast, the accumulated annual precipitation does not show a significant change during the same period.

Keywords

Temporal series analysis; climate change; centennial observing station; climatological series; meteorology.

.....

1. INTRODUCCIÓN

Las observaciones meteorológicas son fundamentales para el estudio de los fenómenos atmosféricos, la elaboración de mapas de análisis, la emisión de predicciones y la comunicación de avisos de tiempo adverso. También son esenciales en procedimientos sensibles a las condiciones meteorológicas como las operaciones llevadas a cabo por la navegación aérea y marítima. A largo plazo, las series de observaciones meteorológicas permiten caracterizar el clima de una región (Chazarra *et al.* 2018, 2022 y 2024) y son de capital importancia para el estudio de la variabilidad climática y la investigación sobre el cambio climático (Guijarro 2018, Morata *et al.* 2025).

Dentro del selecto grupo de estaciones centenarias de observación a largo plazo, reconocidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, WMO en sus siglas en inglés), se incluye el Observatorio Meteorológico de El Retiro (WMO 2022a), situado en el centro de la ciudad de Madrid. Este organismo internacional, creado en 1950 y portavoz autorizado de las Naciones Unidas sobre el tiempo atmosférico, el clima y el agua, reconoció oficialmente en su 69º Consejo Ejecutivo, celebrado en mayo de 2017, que el Observatorio Meteorológico de El Retiro cumplía los criterios establecidos, es decir, que tuviese al menos cien años de funcionamiento ininterrumpidos, con periodos de inactividad que no fueran superiores al 10% del tiempo, que el observatorio no debía haber cambiado de ubicación de forma significativa y que continuase realizando observaciones en la actualidad. Hasta el año 2021 había 291 estaciones meteorológicas centenarias reconocidas a nivel mundial (WMO 2022a y 2024): 122 en Europa, 64 en Asia, 53 en África, 44 en América y 8 en Oceanía. Además del Observatorio Meteorológico de El Retiro, en España son centenarios los observatorios de A Coruña, Tortosa (Tarragona), Daroca (Zaragoza), Izaña (Tenerife) y el Observatorio Fabra de Barcelona. Al disponer de series a largo plazo, con datos obtenidos en el mismo lugar por medio de instrumentos y procedimientos siempre conocidos, estos observatorios centenarios permiten comprender mejor la evolución del clima a lo largo del último siglo, por lo que adquieren un gran valor en los estudios sobre el cambio climático (Sánchez *et al.* 2014).

La variabilidad climática puede explicarse tanto por procesos internos naturales del sistema climático como por forzamientos externos, entre los que se incluyen las variaciones en la actividad solar, las erupciones volcánicas y las alteraciones persistentes de origen antropogénico que modifican la composición de la atmósfera o el uso del suelo (Martín-Chivelet 2019). En este contexto, el cambio climático se entiende como la modificación del clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que se superpone a la variabilidad natural observada en el transcurso de periodos comparables (CMNUCC 1992). La evidencia científica sintetizada en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC indica que las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las actividades humanas son la causa principal del calentamiento global, así como de transformaciones rápidas y generalizadas en la atmósfera, los océanos, la criosfera y la biosfera. Asimismo, estos cambios están intensificando la frecuencia y la severidad de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del planeta (IPCC 2022). En términos

observacionales, la última década (2011-2020) ha sido la más cálida desde el inicio de los registros instrumentales y, desde 2021, los récords de temperatura superficial media global se han superado de forma consecutiva cada año (Copernicus 2024, Morata *et al.* 2025, WMO 2025a, 2025b).

A este fenómeno se suma el aumento de temperatura en grandes núcleos urbanos debido al llamado efecto «isla de calor» (Hidalgo y Arco 2021, Viñas 2025). Ello se produce por las alteraciones en la superficie terrestre asociadas a la urbanización, como la sustitución de áreas con vegetación por superficies impermeables (asfalto, hormigón, estructuras edificadas), lo que reduce la evaporación y la humedad del subsuelo (Barradas 2013, García y Meneses 2023). En muchas ciudades, hasta el 90% del agua de lluvia se evacúa rápidamente a través del sistema de drenaje, impidiendo su infiltración (Cano 2024). Además, los materiales urbanos absorben y almacenan calor durante el día, liberándolo lentamente por la noche en forma de radiación infrarroja, lo que eleva la temperatura del aire urbano. Este calor acumulado, junto con la menor ventilación y la concentración de contaminantes, contribuye a la formación de un microclima urbano más cálido y seco que las zonas rurales circundantes (Cuerdo-Vilches *et al.* 2023). El resultado es una «isla térmica» en la ciudad, cuya temperatura media anual es de 1 o 2 °C superior a la del entorno (Ángel *et al.* 2010, Cano 2024).

El objetivo principal de este trabajo es evaluar cambios en la temperatura media anual, precipitación anual acumulada, número de días cálidos, noches tropicales y días con heladas a lo largo de los últimos 130 años, usando las series centenarias del Observatorio Meteorológico de El Retiro.

2. SINOPSIS HISTÓRICA Y DESCRIPCIÓN DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO

El 18 de agosto de 1887, a propuesta del que fuera ministro de Fomento Carlos Navarro y Rodrigo, durante la regencia de María Cristina de Habsburgo-Lorena, se decretó «la creación en Madrid de un Instituto Central Meteorológico (ICM)... que se ocupará especialmente en calcular y anunciar el tiempo probable a los puertos y capitales de provincia, sin perjuicio de los demás trabajos científicos y prácticos que se le encomienden» (Gaceta de Madrid 1887). Más tarde, se convocó la oposición para la ocupación de la plaza de director, que fue ganada por el doctor en farmacia Augusto Arcimis Wehrle, lo que le convirtió en el primer meteorólogo profesional en España al tomar posesión el 19 de marzo de 1888 (Palomares 2016 y 2024, Cabañas 2020a, 2024 y 2025). El propio Arcimis se encargó de buscar un local adecuado, donde pudiera instalar el nuevo organismo, sugiriendo al ministro de Fomento «solicitar al Ayuntamiento de Madrid la cesión de la torre del telégrafo óptico», conocida popularmente como «El Castillo» (figura 1). El edificio estaba situado en el interior del Real Sitio del Buen Retiro, en un lugar con buena visibilidad y en el límite oriental de la ciudad (figura 2). De esta manera, el 2 de noviembre de 1888 se convirtió en observatorio y sede central del ICM (Lorente 1952, García y Giménez 1985, Cabañas 2020b, Hernando 2022). El inmueble y el

jardín meteorológico, junto con otros edificios que después se construyeron en el espacio inmediatamente contiguo, constituyeron entre 1888 y 1962 la sede central de lo que hoy es la Agencia Estatal de Meteorología.



FIGURA 1. EDIFICIO CONOCIDO COMO «EL CASTILLO» EN EL REAL SITIO DEL BUEN RETIRO. COMENZÓ SUS SERVICIOS EN 1850 COMO TORRE DE TELEGRAFÍA ÓPTICA. DOS AÑOS MÁS TARDE SE CONVIRTIÓ EN LA PRIMERA ESCUELA DE TELEGRAFÍA ELÉCTRICA DE ESPAÑA, Y EN 1870, EN EL OBSERVATORIO GEOFÍSICO DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO. POSTERIORMENTE, POR REAL DECRETO DE 18 DE AGOSTO DE 1887, SE CREÓ EL INSTITUTO CENTRAL METEOROLÓGICO, ORIGEN HISTÓRICO DE LA ACTUAL AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET). DURANTE LA ÚLTIMA DÉCADA DEL SIGLO XIX, Y LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XX, EL RECINTO FUE UN CENTRO CIENTÍFICO PIONERO DE PRIMER ORDEN. LA IMAGEN MUESTRA EL EDIFICIO EN LA PRIMAVERA DE 2025, POCO ANTES DE FINALIZAR LAS OBRAS DE RESTAURACIÓN. Fotografía: J. Cano

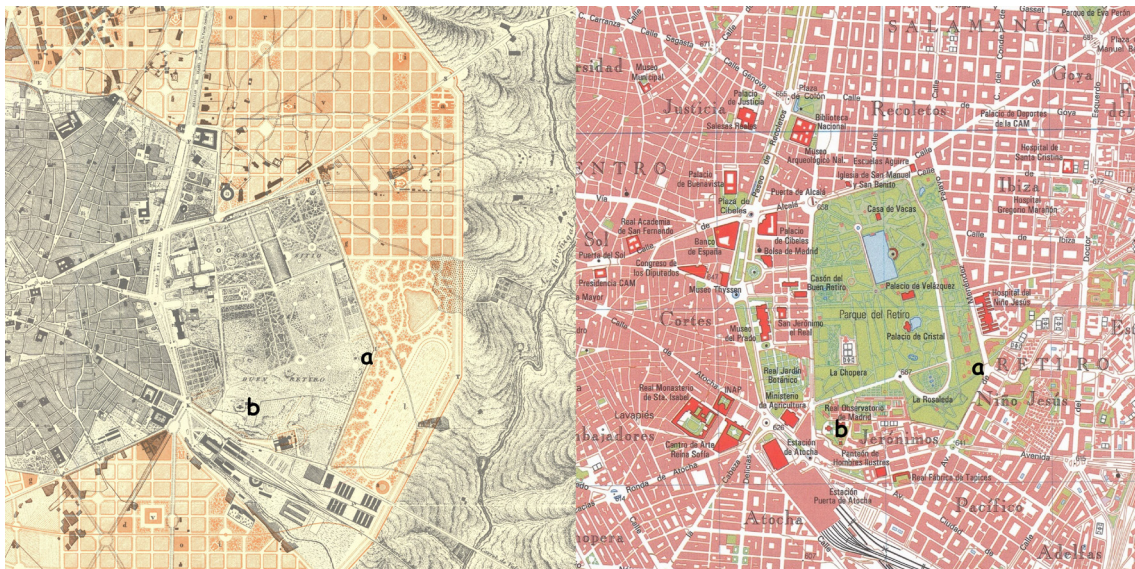


FIGURA 2. A LA IZQUIERDA, MAPA DEL PROYECTO DEL ENSANCHE DE MADRID DE 1861 REALIZADO POR EL ARQUITECTO E INGENIERO DE CAMINOS CARLOS MARÍA DE CASTRO. A LA DERECHA, PLANO DE 2015 DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. SE APRECIA QUE EL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO (A) Y EL ASTRONÓMICO (B) HAN QUEDADO RODEADOS POR LA CIUDAD

A partir del 1 de marzo de 1893 empezaron las mediciones y los registros de las variables meteorológicas: presión atmosférica, temperatura, humedad, evaporación, precipitación y viento. En la planta baja del edificio se encontraba el barómetro, en la terraza el anemómetro y en el exterior el jardín meteorológico, donde estaban ubicados los termómetros y el pluviómetro. Además, se observaban las nubes y se anotaba la presencia de los diferentes tipos de meteoros. No obstante, las observaciones meteorológicas sufrieron algunas interrupciones. La de principios del siglo XX probablemente fuera debida a la falta de personal, ya que en la primera época la dotación estaba constituida por el director del centro y un ayudante, hasta que se amplió en 1907 con dos auxiliares más (Giménez 1993). El siguiente periodo, el más relevante, se produjo como consecuencia del inicio de la Guerra Civil, que afectó algunos meses desde diciembre de 1936 hasta abril de 1939; según parece «a veces por prohibición expresa de las autoridades en vista del peligro, y porque el edificio fue utilizado como centro de mando o de instrucción de oficiales de artillería, pues estaba ocupado por personal ajeno al servicio» (García y Giménez 1985, Cabañas 2020b). Tras la guerra, en mayo de 1939, se reanudaron las actividades, aunque de una forma precaria porque afectaron tanto a las propias instalaciones (había dificultades para encontrar suministros de instrumentos) como a pérdidas de personal, siendo una de las más notables la del catedrático Arturo Duperier, quien realizó en el mismo recinto las primeras investigaciones en España sobre radiación cósmica y que tuvo que exiliarse a Inglaterra. En 2023 un mal funcionamiento del sensor de medida de la precipitación, entre septiembre y noviembre, obligó a desestimar los valores registrados (César Rodríguez Ballesteros, comunicación personal).

En la actualidad, el Observatorio Meteorológico de El Retiro es la sede de la Delegación Territorial de AEMET en Madrid (figura 3). Está situado junto al edificio



FIGURA 3. FACHADA PRINCIPAL DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO, QUE SE ENCUENTRA RODEADO DE UN JARDÍN DE ESTILO ISABELINO COMPUESTO DE UN RODAL DE ENCINAS CENTENARIAS. EL EDIFICIO, INAUGURADO EN 1914, ALBERGA EN LA ACTUALIDAD LA DELEGACIÓN TERRITORIAL DE AEMET EN MADRID. Fotografía: J. Cano

de «El Castillo», a una altitud de 667 metros, y funciona esencialmente como una estación climatológica principal (figura 4), dotada con una estación meteorológica automática (EMA), que mide y registra las variables meteorológicas esenciales para el estudio climatológico (las observaciones manuales, efectuadas con personal especializado, terminaron el 30 de noviembre de 2024). A lo largo de su dilatada historia acoge desde 1893 el observatorio meteorológico oficial con la segunda serie climatológica de observación convencional más antigua en España (la primera pertenece al Real Observatorio de la Armada de San Fernando, Cádiz; Cabañas 2025) y, por ello, está reconocido como Observatorio Centenario por la Organización Meteorológica Mundial (Hernando 2022, WMO 2022a y 2024).



FIGURA 4. JARDÍN DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO. DOTADO DE LOS INSTRUMENTOS BÁSICOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS MEDIDAS Y REGISTROS CLIMATOLÓGICOS, SU DILATADA HISTORIA HACE QUE ESTÉ RECONOCIDO COMO OBSERVATORIO CENTENARIO POR LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Fotografía: J. Cano

Sin embargo, las primeras observaciones meteorológicas de Madrid se llevaron a cabo en el Real Observatorio Astronómico (Giménez 1992 y 1993). Su creación se remonta al reinado de Carlos III, quien ordenó fundarlo a finales del siglo XVIII por iniciativa del marino y cosmógrafo Jorge Juan (IGN 2023, figura 5), iniciándose las observaciones en 1786 (Rico y Sinobas 1857). Durante la Guerra de la Independencia, el Observatorio cesó su actividad y fue ocupado y desmantelado por las tropas francesas, que destruyeron en 1808 tanto los instrumentos de observación (entre ellos un gran telescopio de 7,62 m de distancia focal diseñado y construido por William Herschel) como los cuadernos de registro (Fernández de los Ríos 1876, Zorita 1966, figura 6). Tras años de vicisitudes políticas, las obras de finalización del edificio no se retomaron hasta 1840. Posteriormente, el Observatorio se destinó al estudio de la astronomía práctica y a las observaciones meteorológicas (Monlau 1850), aunque no fue hasta 1854 cuando se reguló oficialmente su organización y se reanudaron de forma sistemática las observaciones, que se prolongaron hasta 1919.



FIGURA 5. EDIFICIO DEL REAL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID, DISEÑADO POR EL ARQUITECTO JUAN DE VILLANUEVA A FINALES DEL SIGLO XVIII, ESTÁ UBICADO EN EL CERRILLO DE SAN BLAS, JUNTO AL PARQUE DE EL RETIRO, A UNA ALTITUD DE 655 METROS. EN SUS INSTALACIONES SE LLEVARON A CABO OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS A LO LARGO DE DOS PERIODOS: EL PRIMERO ENTRE 1786 Y 1808 Y EL SEGUNDO ENTRE 1854 Y 1919. ACTUALMENTE ALBERGA LA SEDE DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL Y DEL OBSERVATORIO GEOFÍSICO CENTRAL. Fotografía: J. Cano

MES DE ENERO, AÑO DE 1802. BUEN-RETIRO.

| Días del mes. | Barómetro corregido. A 15 grados del termómetro. | | | Termómetro al ayre. Division en 100 grados. | | | Puntos lunares. | Atmósfera. |
|---------------|---|-------------|-------------|--|-----------|------------|----------------------|-------------------------------------|
| | A 8 h. m. | A 2 h. t. | A 11 h. n. | A 8 h. m. | A 2 h. t. | A 11 h. n. | | |
| | Pulg. Lín. | Pulg. Lín. | Pulg. Lín. | Grad. | Grad. | Grad. | | |
| 1 | 30... 6,50 | 30... 6,76 | 30... 7,90 | -1,0 | 2,3 | -2,2 | | Raso: nub.; raso. |
| 2 | 30... 7,95 | 30... 6,83 | 30... 6,3 | -4,0 | 4,0 | -2,2 | | Raso: nubecill.; raso. |
| 3 | 30... 3,39 | 30... 1,70 | 30... 1,71 | -1,0 | 2,8 | -0,6 | Lunist. A. | Cub.: nieve: ff.; id. y cub. |
| 4 | 30... 4,30 | 30... 2,96 | 30... 4,07 | -1,6 | 3,0 | -5,2 | L. N. Perigeo. | Raso: nubecill.; raso. |
| 5 | 30... 4,14 | 30... 3,40 | 30... 2,10 | -7,5 | 1,2 | -4,0 | | Nub. cub.: nubecill. |
| 6 | 30... 1,15 | 30... 0,82 | 30... 1,10 | -2,3 | 1,8 | 0,3 | | Cub. nieve: cub.; nieve: cub. |
| 7 | 30... 1,33 | 30... 0,60 | 30... 11,81 | 0,0 | 2,0 | -1,4 | | Cub. id.: id. nieve. |
| 8 | 30... 0,35 | 30... 0,57 | 30... 2,62 | -1,0 | 6,1 | -4,7 | | Nevado: ff.; cub.: nub.: cub. |
| 9 | 30... 3,93 | 30... 3,68 | 30... 2,66 | -7,2 | 0,0 | -2,0 | | Cub. niebla: id. nieve: id.: id. |
| 10 | 30... 0,03 | 30... 10,68 | 30... 7,45 | 0,0 | 4,2 | 2,7 | Q. C. Equin. ascend. | Cub.: id. blandura: cub.: lluv. id. |
| 11 | 30... 9,40 | 30... 10,82 | 30... 0,14 | 2,6 | 10,2 | 5,4 | | Nub.: v. ff. id.: cub. lluv. |
| 12 | 30... 1,15 | 30... 1,15 | 30... 2,30 | 1,0 | 3,1 | -2,0 | | Nevado cub.: id.: nieve: nub. |
| 13 | 30... 1,86 | 30... 1,35 | 30... 2,75 | -3,0 | 1,9 | 2,3 | | Nubecill.: id. v. ff.: raso. |
| 14 | 30... 3,55 | 30... 4,19 | 30... 6,32 | -3,8 | 0,7 | -4,8 | | Nub.: id.: v. ff.: raso. v. ff. |
| 15 | 30... 7,59 | 30... 7,43 | 30... 8,23 | -5,8 | 0,7 | -2,3 | | Raso: v. ff.: id.: nubecill. |
| 16 | 30... 8,89 | 30... 7,76 | 30... 8,55 | -4,6 | -0,8 | -7,8 | Lunisticio B. | Raso: nubecill.: v. ff.: raso. |
| 17 | 30... 9,05 | 30... 8,86 | 30... 0,04 | -8,0 | -0,5 | -0,9 | | Raso: nubecill.: raso. |
| 18 | 30... 8,25 | 30... 7,87 | 30... 8,58 | -8,0 | 1,7 | -4,5 | L. II. | Raso: id.: id. |
| 19 | 30... 9,94 | 30... 10,00 | 30... 11,31 | -5,0 | 4,4 | -3,3 | Apogeo. | Raso: id.: id. |
| 20 | 31... 0,70 | 31... 0,00 | 31... 0,69 | -4,0 | 6,8 | -1,3 | | Raso: nubecill.: id. |
| 21 | 31... 0,31 | 31... 11,33 | 31... 11,82 | -1,8 | 7,2 | 1,0 | | Raso: id.: nubecill. |
| 22 | 30... 0,51 | 30... 11,93 | 30... 11,94 | 0,0 | 7,9 | -0,2 | | Raso: id.: id. |
| 23 | 30... 11,28 | 30... 10,12 | 30... 10,61 | -1,2 | 7,9 | 1,1 | Equin. descend. | Raso: id.: v. ff.: raso. |
| 24 | 30... 11,29 | 30... 10,39 | 30... 11,07 | 1,0 | 6,2 | -0,3 | | Cub. nubecill.: v. ff. raso. |
| 25 | 30... 11,26 | 30... 10,89 | 30... 11,26 | 1,0 | 6,3 | 1,0 | | Entrecub.: cub.: nub. |
| 26 | 30... 11,79 | 30... 11,15 | 30... 0,26 | 4,0 | 8,0 | 3,1 | Q. M. | Cub. entrecub.: id. |
| 27 | 31... 0,50 | 31... 0,25 | 31... 0,43 | 4,0 | 6,0 | 4,1 | | Cub.: id. lluv.: cub. |
| 28 | 30... 0,83 | 30... 11,80 | 30... 0,30 | 4,6 | 10,0 | 5,4 | | Cub. nub. id. |
| 29 | 30... 0,52 | 30... 11,56 | 30... 11,76 | 4,1 | 7,0 | 1,8 | | Entrecub.: nub.: raso. |
| 30 | 30... 11,90 | 30... 10,96 | 30... 11,05 | 2,6 | 7,0 | 1,2 | Lunist. A. | Cub.: nub.: raso. |
| 31 | 30... 11,90 | 30... 11,15 | 30... 11,75 | 0,0 | 6,6 | 0,2 | | Raso: id.: id. |
| Medio. | 30... 7,23 | 30... 6,74 | 30... 7,15 | -1,5 | 4,4 | -1,0 | | |

FIGURA 6. TRAS LA GUERRA DE INDEPENDENCIA, SOLO SE CONSERVARON ALGUNAS HOJAS DEL CUADERNO DE 1802 Y EL CUADERNO DEL AÑO 1803. A PESAR DEL MAL ESTADO, ESTE REGISTRO DIGITAL DE LA BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES MUESTRA LA PÁGINA CORRESPONDIENTE AL MES DE ENERO DE 1802. LA HOJA DEL CUADERNO FUE RESCATADA POR EL DIRECTOR DEL ESTABLECIMIENTO SALVADOR JIMÉNEZ CORONADO TRAS LA DESTRUCCIÓN QUE SUFRIÓ EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO POR PARTE DE LAS TROPAS FRANCESAS. Fuente: *Memorial literario o Biblioteca periódica de ciencias y artes, tomo II, año segundo*, publicado en Madrid por la imprenta de la calle de Capellanes, en mayo de 1802. Reproducción digital del original conservado en la Biblioteca Histórica de la Universidad de Murcia

Los dos observatorios, el meteorológico y el astronómico, están ubicados relativamente cerca el uno del otro (menos de 900 metros de distancia y una diferencia de 12 metros de altitud entre ellos, figura 2) y ambas series de observaciones meteorológicas tienen comunes los años que van desde 1893 hasta 1919. Sin embargo, la OMM dice expresamente que «el lugar de observación no debe haber cambiado de ubicación de forma significativa» (WMO 2008, 2024). Por lo tanto, en nuestro estudio solo se utilizará la serie histórica del observatorio meteorológico 1893-2024, que en realidad comienza en 1894 porque 1893 está incompleto.

3. MÉTODOS

3.1. RECOPIACIÓN DE SERIES TEMPORALES

Se han recopilado los valores de las series históricas de temperatura, precipitación, número de días cálidos, número de noches tropicales y número de días de helada registrados por el Observatorio Meteorológico de El Retiro para el periodo 1894-2024 (fuente: Servicio de Banco Nacional de Datos Climatológicos de la Agencia Estatal de Meteorología). La metodología de medición de estas variables viene establecida por la OMM (WMO 2008), que coordina las actividades de sus 188 miembros en lo relativo a la producción de datos e información sobre el tiempo, el clima y el agua, de acuerdo con normas acordadas internacionalmente. De este modo, la temperatura media anual es el valor que se obtiene del promedio de las temperaturas medias registradas en cada uno de los meses del año, que se consiguen, a su vez, a partir de las temperaturas medias diarias (semisuma de las temperaturas máxima y mínima del día). La temperatura del aire se mide con termómetros de mercurio y de alcohol instalados dentro de garitas meteorológicas que, igualmente, se ubican dentro de un jardín meteorológico. Los primeros años, tales instrumentos estuvieron colocados en un abrigo meteorológico de madera, abierto por abajo de tipo Montsouris, utilizado históricamente en el siglo XIX, lo que permitía una mayor ventilación. Pero al estar más expuesta a la radiación reflejada por el suelo tendía a sobreestimar las temperaturas máximas y subestimar las mínimas, siendo este efecto mayor en primavera-verano en el caso de las temperaturas máximas, y en invierno en las temperaturas mínimas (Martínez *et al.* 2010). A partir de los años veinte del siglo XX, los termómetros se instalaron en una garita de tipo Stevenson, más cerrada, cuya base está situada a 120 centímetros del suelo, y con paredes laterales de doble persiana, lo que permite que el aire circule libremente por el interior, impidiendo que penetre la luz del sol.

La precipitación acumulada anual es la suma de todos los valores de días con precipitación registrados durante el año. Para su medición manual se utiliza un pluviómetro de Hellmann, de uso generalizado, cuyo receptor lleva un aro calibrado a 200 cm² de bronce. En las estaciones automáticas se utilizan pluviómetros digitales más sofisticados de descarga automática.

Con frecuencia, las series largas, especialmente la de temperatura, pueden verse afectadas por eventos ajenos a la variabilidad climática: errores en la toma de medidas, falta de datos, cambios en el instrumental utilizado, e incluso alteraciones en su entorno, por lo que requieren métodos de homogeneización y relleno de los datos faltantes (Aguilar *et al.* 2003, Martínez *et al.* 2010, Guijarro 2018). Esto garantiza que las variaciones sean solo meteorológicas al eliminar estos sesgos no climáticos en los registros. En el caso de las series de El Retiro, la temperatura ha sido homogeneizada por la propia AEMET para corregir posibles sesgos (periodo 1975-2020). No obstante, los valores de la serie histórica original y los de la serie homogeneizada muestran una correlación muy elevada ($r = 0.960$, $P < 0.001$), y los resultados obtenidos apenas difieren entre ambas. Por ello, en este estudio se presentan únicamente los valores y resultados derivados de la serie histórica original. Del mismo modo, los años con meses sin datos se han descartado para la elaboración del cálculo de las medias de los treintenos afectados.

Finalmente, como «día cálido» se define aquel en el que la temperatura máxima del aire es ≥ 25 °C; «noche tropical» como aquella en la que la temperatura mínima es ≥ 20 °C; y «día con helada» como aquel en el que la temperatura del aire es ≤ 0 °C.

3.2. ANÁLISIS DE DATOS

La Comisión de Climatología de la OMM ha establecido como periodo de referencia estable para la vigilancia de la variabilidad del clima y el cambio climático a largo plazo el comprendido entre 1961 y 1990 (WMO 2022b, 2023). De esta forma, tanto la temperatura media anual como la precipitación acumulada anual pueden caracterizarse climatológicamente a partir de los quintiles del periodo de referencia 1961-1990. En consecuencia, se han calculado las anomalías de ambas variables, medida que nos informa sobre la discrepancia entre el valor de un elemento climático (en este caso, temperatura y precipitación) en un determinado lugar respecto al valor normal de tal elemento. En climatología se entiende por valor normal el valor medio calculado con los datos de un periodo temporal uniforme y relativamente largo que comprenda por lo menos tres décadas consecutivas. Con esta información, se han caracterizado los años como extremadamente cálido, muy cálido, cálido, normal, frío, muy frío o extremadamente frío, en referencia a las temperaturas, y extremadamente húmedo, muy húmedo, húmedo, normal, seco, muy seco o extremadamente seco, para las precipitaciones.

Para evaluar los cambios que se han producido en las series históricas de las variables meteorológicas del periodo 1894-2024 se utilizó un modelo aditivo generalizado (GAM). Para ello se empleó la función «gam» del paquete de R «mgcv» (Wood 2025). Los GAM constituyen una extensión flexible de los modelos lineales generalizados (GLM) que permiten modelizar relaciones no lineales. Esta característica resulta especialmente adecuada para el análisis de series meteorológicas de largo plazo, donde las tendencias pueden ser graduales, presentar

umbrales o mostrar variaciones multidecadales complejas. Además, los GAM permiten capturar patrones estacionales y temporales, y controlar el grado de suavizado para evitar el sobreajuste, lo que facilita una interpretación robusta de las tendencias climáticas subyacentes.

4. RESULTADOS

El análisis de los datos del Observatorio Meteorológico de El Retiro, desde 1894 hasta 2024, revela que el último treinteno 1991-2020 ha sido el más cálido de la serie histórica (15,4 °C de temperatura media), el que más días cálidos (122 días) y noches tropicales (35 noches) ha tenido de media, y el que menos días con helada (12 días) ha registrado (tabla 1). Durante los últimos 130 años la temperatura en El Retiro ha incrementado su valor medio de forma significativa en 2 °C ($P_{GAM} < 0.001$; período de estudio 1894-2024; figura 7). De hecho, en las últimas cuatro décadas se observa que los valores anuales de temperatura del aire en superficie están siempre por encima de la media del periodo de referencia estable (14,3 °C para el periodo 1961-1990), excepto en los años 1984 y 1993 (figura 8). Incluso se observan algunos años con temperaturas claramente superiores a 1,5 °C por encima del nivel de referencia, que es, a su vez, el umbral establecido por el Acuerdo de París para reducir significativamente los riesgos e impactos del cambio climático. De los últimos 24 años de la serie, once han sido caracterizados como extremadamente cálidos, diez como muy cálidos y tres como cálidos, y ninguno como normal, frío o muy frío (tabla 2).

TABLA 1. VALORES MEDIOS POR TREINTENOS DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS ESTUDIADAS: TEMPERATURA MEDIA ANUAL (EXPRESADA EN GRADOS CELSIUS), PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA (EN MILÍMETROS), NÚMERO DE DÍAS CÁLIDOS ($T_{MÁXIMA} \geq 25 \text{ °C}$), NÚMERO DE NOCHES TROPICALES ($T_{MÍNIMA} \geq 20 \text{ °C}$) Y NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS ($T_{AIRE} \leq 0 \text{ °C}$)

| Treintenos | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1894-1920 | 1901-1930 | 1911-1940 | 1921-1950 | 1931-1960 | 1941-1970 | 1951-1980 | 1961-1990 | 1971-2000 | 1981-2010 | 1991-2020 |
| Temperatura (°C) | 13,4 | 13,3 | 13,5 | 13,8 | 13,9 | 14,1 | 14,0 | 14,3 | 14,6 | 15,0 | 15,4 |
| Precipitación (mm) | 425,7 | 422,0 | 413,0 | 414,0 | 435,5 | 455,8 | 474,8 | 454,2 | 435,7 | 420,9 | 416,8 |
| Días cálidos | 101,6 | 100,7 | 106,9 | 107,9 | 106,7 | 104,5 | 101,3 | 107,6 | 109,7 | 116,7 | 122,7 |
| Noches tropicales | 6,8 | 7,1 | 8,5 | 11,3 | 11,7 | 13,0 | 11,9 | 16,5 | 21,4 | 28,8 | 35,4 |
| Días con heladas | 39,3 | 40,5 | 40,5 | 38,3 | 33,3 | 25,8 | 20,4 | 18,7 | 15,5 | 15,7 | 12,7 |

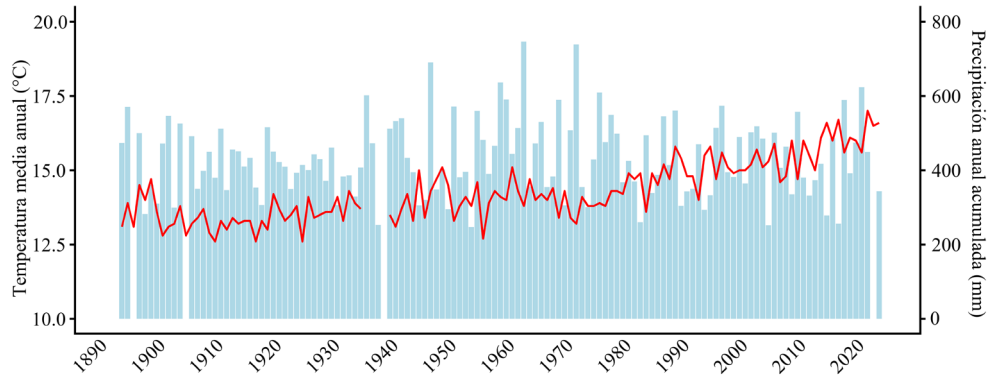


FIGURA 7. SERIES HISTÓRICAS DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (LÍNEA ROJA) Y LA PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA (BARRAS AZULES) DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO, PERIODO 1894-2024. LA DISCONTINUIDAD EN LA LÍNEA QUEBRADA Y LOS ESPACIOS EN BLANCO CORRESPONDEN A AÑOS CON DATOS INCOMPLETOS

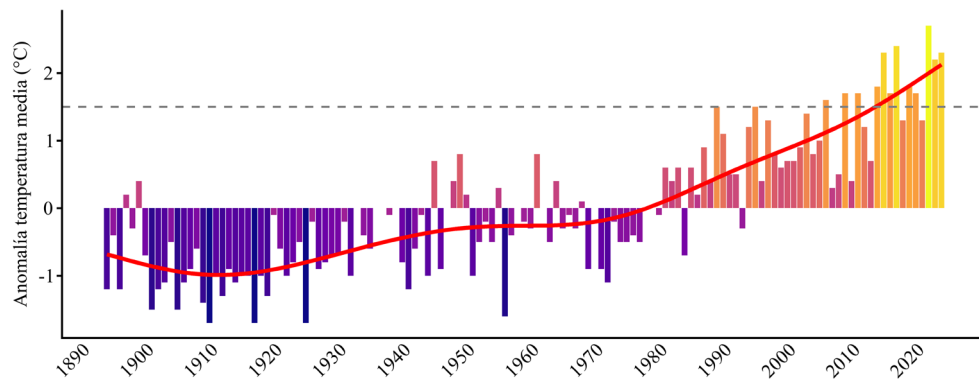


FIGURA 8. ANOMALÍAS DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES DEL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO, DESDE 1894 HASTA 2024, CON RESPECTO AL PROMEDIO DEL PERIODO DE REFERENCIA 1961-1990, QUE ES DE 14,3 °C. LOS TONOS FRÍOS INDICAN AÑOS CON TEMPERATURAS POR DEBAJO DE LA MEDIA, MIENTRAS QUE LOS CÁLDIDOS INDICAN AÑOS CON TEMPERATURAS POR ENCIMA DE LA MEDIA. EL ACUERDO DE PARÍS MARCÓ ENTRE OTROS OBJETIVOS QUE «EL INCREMENTO DE TEMPERATURA SEA REALMENTE 1,5 °C, CON RESPECTO A LOS NIVELES INDUSTRIALES» (LÍNEA GRIS DISCONTINUA). A PESAR DE ELLO, ESTE UMBRAL SE HA SUPERADO ONCE AÑOS, TODOS ELLOS A PARTIR DEL AÑO 2006. LA LÍNEA ROJA SE CORRESPONDE CON EL MODELO ADITIVO GENERALIZADO (GAM)

Por su parte, la precipitación media ha oscilado entre los 413,0 mm al año para el treinteno 1911-1940 y los 474,8 mm para el periodo 1951-1980, pero no muestra un cambio significativo ($P_{\text{GAM}} = 0.897$ a lo largo del período de estudio 1894-2024; figura 9). No obstante, desde el comienzo del siglo XXI se han registrado dos años extremadamente secos, cuatro muy secos y otros cuatro secos. A esta escasez de precipitaciones se suman episodios de sequías, cuya duración es variable, y que, en un contexto de cambio climático, con una subida de temperaturas, se agudiza por el aumento de la evapotranspiración en la superficie del agua, del suelo, la vegetación y los cultivos. En contraste, los años más húmedos registrados tuvieron lugar en las décadas de los años 60 y 70 del siglo pasado, con anomalías positivas que superaron los 280 mm (tabla 3).

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA TEMPERATURA, DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LOS QUINTILES DEL PERIODO 1961-1990. EN LA COLUMNA DE LA DERECHA SE MUESTRAN LOS AÑOS DE LA SERIE CON SU CARACTERIZACIÓN

| Caracterización de la temperatura | | Años |
|---|---|--|
| Extremadamente cálido | $t > 15,8\text{ °C}$ | 2006; 2009; 2014; 2015; 2016; 2017; 2019; 2020; 2022; 2023; 2024 |
| Muy cálido | $14,9\text{ °C} < t \leq 15,8\text{ °C}$ | 1945; 1949; 1961; 1987; 1989; 1990; 1994; 1995; 1997; 1998; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2011; 2012; 2013; 2018; 2021 |
| Cálido | $14,4\text{ °C} < t \leq 14,9\text{ °C}$ | 1897; 1899; 1948; 1950; 1955; 1964; 1981; 1982; 1983; 1985; 1986; 1988; 1991; 1992; 1996; 1999; 2007; 2008; 2010 |
| Normal | $14,1\text{ °C} < t \leq 14,4\text{ °C}$ | 1920; 1933; 1938; 1943; 1947; 1958; 1962; 1966; 1968; 1970; 1978; 1979; 1980 |
| Frío | $13,8\text{ °C} < t \leq 14,1\text{ °C}$ | 1898; 1926; 1931; 1934; 1953; 1957; 1959; 1960; 1965; 1967; 1973; 1976; 1993 |
| Muy frío | $13,2\text{ °C} \leq t \leq 13,8\text{ °C}$ | 1895; 1900; 1903; 1904; 1906; 1907; 1908; 1911; 1913; 1914; 1915; 1916; 1918; 1921; 1922; 1923; 1924; 1927; 1928; 1929; 1930; 1932; 1935; 1940; 1942; 1944; 1946; 1951; 1952; 1954; 1963; 1969; 1971; 1972; 1974; 1975; 1977; 1984 |
| Extremadamente frío | $t < 13,2\text{ °C}$ | 1894; 1896; 1901; 1902; 1905; 1909; 1910; 1912; 1917; 1919; 1925; 1941; 1956 |
| Años sin caracterizar (datos incompletos) | | 1936; 1937; 1939 |

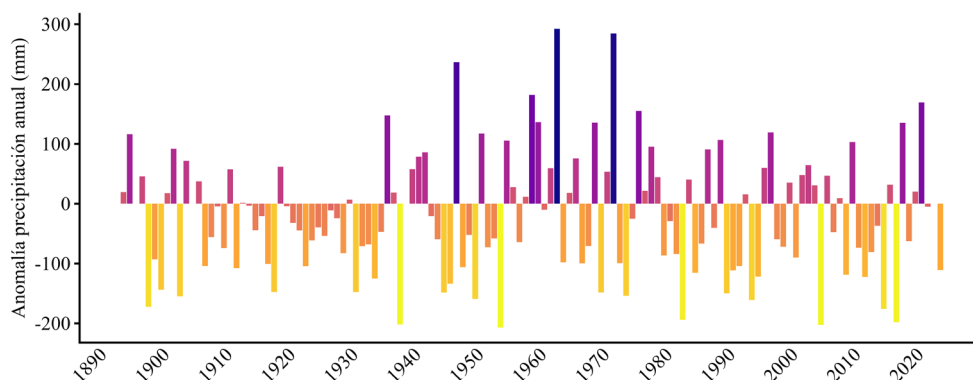


FIGURA 9. ANOMALÍAS EN LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL EN EL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO, DESDE 1894 HASTA 2024, CON RESPECTO AL PERIODO DE REFERENCIA 1961-1990. LOS TONOS CÁLIDOS INDICAN AÑOS CON PRECIPITACIONES POR DEBAJO DE LA MEDIA, (454,2 MM), MIENTRAS QUE LOS FRÍOS INDICAN AÑOS CON PRECIPITACIONES POR ENCIMA DE LA MEDIA

TABLA 3. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA PRECIPITACIÓN, DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LOS QUINTILES DEL PERIODO 1961-1990. EN LA COLUMNA DE LA DERECHA SE MUESTRAN LOS AÑOS DE LA SERIE CON SU CARACTERIZACIÓN

| Caracterización de la precipitación | | Años |
|---|---|--|
| Extremadamente húmedo | $p > 746,4 \text{ mm}$ | - |
| Muy húmedo | $548,4 \text{ mm} < p \leq 746,4 \text{ mm}$ | 1895; 1936; 1947; 1951; 1955; 1959; 1960; 1963; 1969; 1972; 1976; 1979; 1989; 1997; 2010; 2018; 2021 |
| Húmedo | $486,9 \text{ mm} < p \leq 548,4 \text{ mm}$ | 1897; 1902; 1904; 1906; 1911; 1919; 1940; 1941; 1942; 1962; 1966; 1971; 1978; 1984; 1987; 1996; 2000; 2002; 2003; 2006 |
| Normal | $398,1 \text{ mm} < p \leq 486,9 \text{ mm}$ | 1894; 1901; 1908; 1909; 1913; 1914; 1915; 1916; 1920; 1921; 1922; 1925; 1926; 1927; 1928; 1930; 1935; 1937; 1943; 1949; 1956; 1958; 1961; 1965; 1975; 1977; 1981; 1988; 1993; 2004; 2007; 2008; 2014; 2016; 2020; 2022 |
| Seco | $354,6 \text{ mm} < p \leq 398,1 \text{ mm}$ | 1899; 1910; 1924; 1929; 1932; 1933; 1944; 1952; 1953; 1957; 1964; 1968; 1973; 1980; 1982; 1986; 1998; 1999; 2001; 2011; 2013; 2019 |
| Muy seco | $260,1 \text{ mm} \leq p \leq 354,6 \text{ mm}$ | 1898; 1900; 1903; 1907; 1912; 1917; 1918; 1923; 1931; 1934; 1945; 1946; 1948; 1950; 1967; 1970; 1974; 1983; 1985; 1990; 1991; 1992; 1994; 1995; 2009; 2012; 2015; 2024 |
| Extremadamente seco | $p < 260,1 \text{ mm}$ | 1938; 1954; 2005; 2017 |
| Años sin caracterizar (datos incompletos) | | 1896; 1905; 1939; 2023 |

Los valores medios del número de días cálidos al año han oscilado entre los 101 días, para el treinteno 1901-1930, y 123, para el actual de 1991-2020 (tabla 1). Por otro lado, el número medio de noches tropicales anuales ha oscilado entre 7, para el periodo 1894-1920, y 35, para el vigente treinteno de 1991-2020. En cuanto al número de días de helada al año se aprecia una reducción a partir del treinteno 1931-1960 (tabla 1), pasando de 38-41 días, durante los primeros cuatro treintenos, hasta los 13 días en el último periodo de 1991-2020. Los modelos GAM (figura 10) muestran un incremento significativo del 120,8% en el número de días cálidos ($P_{\text{GAM}} < 0.001$) y del 520,6% en las noches tropicales ($P_{\text{GAM}} < 0.001$), sobre todo a partir de la década de los 70, mientras que el número de días con helada se reduce significativamente un 32,3% ($P_{\text{GAM}} < 0.001$).

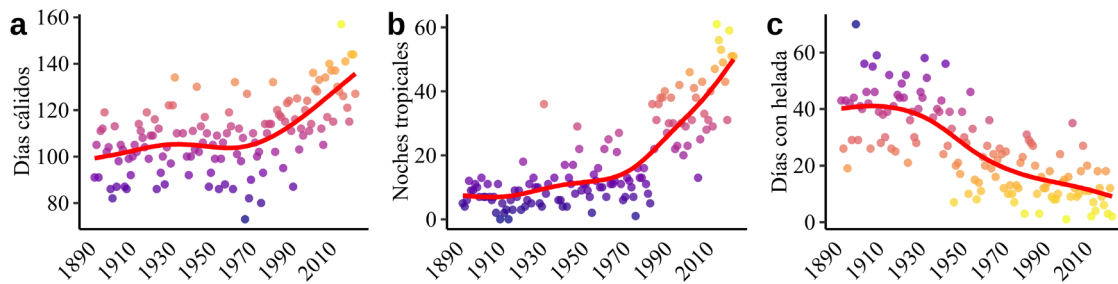


FIGURA 10. SERIES ORIGINALES DEL NÚMERO DE DÍAS CÁLIDOS (A), NOCHES TROPICALES (B) Y DÍAS CON HELADA (C) REGISTRADOS EN EL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE EL RETIRO A LO LARGO DEL PERIODO 1894-2024. EN ROJO SE MUESTRAN LAS CURVAS AJUSTADAS MEDIANTE MODELOS ADITIVOS GENERALIZADOS (GAM)

5. DISCUSIÓN

Las series de observaciones meteorológicas a largo plazo son esenciales para evaluar los cambios en las condiciones climáticas y entender mejor sus efectos sobre las personas, la economía y los ecosistemas. En este trabajo, se ha observado un incremento significativo en la temperatura media anual, en el número de días cálidos y número de noches tropicales, y un descenso en el número de días con helada en los últimos 130 años en la ciudad de Madrid. Estas variaciones en el Observatorio de El Retiro están en consonancia con los cambios generalizados y rápidos que se han producido en la atmósfera en las últimas décadas (IPCC 2022), pero también indican un efecto de la isla de calor urbano (Rasilla *et al.* 2016), causado por la expansión del área urbana de la ciudad de Madrid (ver figura 2). De hecho, las noches tropicales son habituales en verano en Madrid, pero cada vez es más frecuente que en primavera y en otoño se registre un número importante de ellas, normalmente coincidiendo con la llegada de masas de aire cálido procedentes del norte de África (Cano 2024). En cuanto al aumento del número de días cálidos y la reducción de días con helada existe una estrecha relación con los cambios en la duración de las estaciones que se están observando, en especial a lo largo del arco mediterráneo, una de las regiones más expuestas al cambio climático; por un lado, los veranos se están prolongando y los inviernos se atemperan, con heladas menos intensas (Guglielmo 2026). Por el contrario, no se han encontrado variaciones significativas en la cantidad de precipitación acumulada anual, lo que contrasta con la ligera tendencia decreciente de las precipitaciones acumuladas anuales que se observa en España peninsular, Baleares y Canarias durante el periodo 1951-2020 (Chazarra *et al.* 2022).

Estos cambios en las condiciones climáticas observados no solo se manifiestan en un aumento progresivo de las temperaturas medias, sino también en cambios en la recurrencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos. De acuerdo con los resultados del estudio *Olas de calor en España desde 1975* (AEMET 2024), España ha experimentado un aumento significativo en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor en los últimos años. Efectos que coinciden con las conclusiones del Quinto informe de evaluación del IPCC (2013). Mientras tanto, las «olas de frío» tienen una tendencia negativa, tanto en frecuencia como en intensidad en las últimas décadas (AEMET 2025).

Como consecuencia de las alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, es previsible que se produzcan cambios en la distribución geográfica de plantas y animales, así como desajustes en sus ciclos fenológicos. En la Comunidad de Madrid se han documentado múltiples evidencias de estas respuestas biológicas asociadas a las variaciones climáticas. Por ejemplo, la floración del almendro (*Prunus dulcis*) en la ciudad de Madrid y su entorno se ha adelantado de manera significativa un promedio de cinco días entre 1981-2020 (Cano-Barbacil *et al.* 2025). Asimismo, la reducción tanto del número como de la intensidad de los días de helada se ha relacionado con un acortamiento del periodo de hibernación de la lagartija vercosa (*Podarcis virescens*) en Madrid y localidades próximas del 26% en el periodo 1992-2024 (Cano-Barbacil y Cano 2024a). Por otra parte, la disminución de las precipitaciones, junto con el aumento de las temperaturas y la mayor duración e intensidad de las sequías, podría afectar a la distribución y al éxito reproductor de algunas especies de anfibios como el sapo corredor (*Epidalea calamita*), que dependen de charcas temporales y condiciones meteorológicas favorables para completar con éxito su ciclo reproductivo (Araújo *et al.* 2011, Cano-Barbacil y Cano 2024b).

A pesar del seguimiento continuado de las distintas variables climatológicas en el Observatorio de El Retiro, tanto la serie de temperatura como la de precipitación presentan interrupciones puntuales de corta duración: en la serie de temperatura faltan tres años (2,3% del total de los datos) y en la de precipitación cuatro (3,1%, figura 7). Estas alteraciones, cuando superan el 10% del total de la serie, pueden suponer un serio inconveniente si no se emplean modelos de homogeneización y relleno de datos faltantes, ya que pueden enmascarar los verdaderos cambios del clima y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas (Guijarro 2018).

Preservar observatorios como el de El Retiro es un gran desafío, pues algunos de ellos están en riesgo de cierre o de pérdida de las normas básicas de observación. Requieren recursos económicos, compromiso y personal cualificado necesarios para realizar las observaciones sinópticas y climatológicas, para mantener los instrumentos en buen estado y para codificar y enviar las observaciones en tiempo real. En el Observatorio Meteorológico de El Retiro las observaciones manuales, efectuadas con personal especializado, terminaron el 30 de noviembre de 2024 y pasaron a registrarse por medio de una estación meteorológica automática (EMA) a partir del día siguiente. De manera que es una responsabilidad de los gobiernos y sus agencias, mantener y proteger los equipos, instrumentos y registros para continuar con ese legado histórico, que es, al mismo tiempo, fundamental para el estudio del clima y los efectos del cambio climático.

Contribución de los autores

Conceptualización, Javier Cano Sánchez; Metodología, Carlos Cano-Barbacil y Javier Cano Sánchez; Análisis formal, Carlos Cano-Barbacil y Javier Cano Sánchez; Investigación, Carlos Cano-Barbacil y Javier Cano Sánchez; Redacción—preparación del borrador original, Carlos Cano-Barbacil y Javier Cano Sánchez; Redacción—revisión, Carlos Cano-Barbacil y Javier Cano Sánchez; Supervisión, Javier Cano Sánchez. Todos los autores han leído y aceptado la publicación del manuscrito.

Uso de la inteligencia artificial

Los autores declaran no haber hecho uso de la inteligencia artificial.

Financiación y agradecimiento

Ana Isabel Ambrona Rodríguez, Observadora de Meteorología del Estado de la Agencia Estatal de Meteorología, experta en climatología y base de datos climatológicos, facilitó información esencial para la elaboración de este estudio. Rafael López Bajo, Observador de Meteorología del Estado de la Agencia Estatal de Meteorología, experto en meteorología aeronáutica ya retirado, proporcionó bibliografía acerca de las primeras observaciones realizadas en el Real Observatorio Astronómico de Madrid. César Rodríguez Ballesteros, Observador de Meteorología del Estado de la Agencia Estatal de Meteorología, experto en climatología ya retirado, leyó el borrador original aportando ideas sobre el tratamiento de los datos que se realizan en estudios climatológicos. A los revisores anónimos, por su excelente trabajo. A todos ellos nuestra más sincera gratitud.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- AEMET (2024). *Olas de calor en España desde 1975*. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas. Agencia Estatal de Meteorología.
- AEMET (2025). Olas de calor y de frío registradas en el año hidrológico 2023-2024. En: *Calendario Meteorológico 2025. Información meteorológica y climatológica de España*, pp. 142-150. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C. y Wieringa, J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WCDMP-No. 1186. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.
- Ángel, L., Ramírez, A. y Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. En: *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Vol. 34 (131); pp: 173-183.
- Araújo, M. B., Guilhaumon, F., Rodrigues Neto, D., Pozo Ortego, I. y Gómez Calmaestra, R. (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación de la biodiversidad española frente al cambio climático. 2. Fauna de vertebrados*. Dirección general de medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. 640 pp.
- Barradas, V. L. (2013). La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. En: Instituto de Ecología, UNAM. N° 7, enero 2013; pp. 17-19.
- Cabañas Cámara, A. (2020a). Augusto Arcimis y Cádiz. Breve reseña biográfica del primer director de la Agencia Estatal Meteorológica. En: *Cuadernos de Investigación de Fondos del Archivo UCA. N° 2 (2020) pp. 9-31*.
- Cabañas Cámara, A. (2020b). El Castillo en el tiempo. Recorrido histórico del Castillo de El Retiro. *XX Semana de la Ciencia y la Innovación de Madrid (2 al 15 de noviembre)*. Conferencia organizada por la Asociación Española de Amigos de los Castillos.
- Cabañas Cámara, A. (2024). Arturo Arcimis y Cádiz. *Tiempo y Clima N° 84*; pp. 15-18.
- Cabañas Cámara, A. (2025). Memoria y restos de Augusto Arcimis: Propuestas para su conservación. *Tiempo y Clima N° 87*; p. 51.
- Cano-Barbacil, N. R., Cano-Barbacil, C. y Cano Sánchez, J. (2025). La floración del almendro *Prunus dulcis* se adelanta en el centro peninsular durante el periodo 1981-2024. En: *Calendario Meteorológico 2025. Información meteorológica y climatológica de España*, pp. 264-269. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- Cano-Barbacil, C. y Cano Sánchez, J. (2024a). La disminución del tiempo que dura la hibernación en la lagartija verdosa (*Podarcis virescens*) está directamente relacionada con la reducción del periodo con heladas en el centro peninsular. En: *Tiempo y Clima n° 84*, abril 2024: 44-45.
- Cano-Barbacil, C. y Cano Sánchez, J. (2024b). Climate change could reduce the geographic distribution of the natterjack toad in semi-arid regions: a 34-year study in central Spain. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, 17: 145-156.
- Cano Sánchez, J. (2024). *Guía básica de meteorología*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- Chazarra, A., Flórez, E., Peraza, B., Tohá, T., Lorenzo, B., Criado, E., Moreno, J. V., Romero, R. y Botey, R. (2018). *Mapas climáticos de España (1981-2010) y ETo (1996-2016)*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.
- Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Romero Fresneda, R. y Moreno García, J.V. (2022). *Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020. Nota técnica 37 de AEMET*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.

- Chazarra, A., Lorenzo, B., Belinchón, F., Moreno, J. V. y Romero, R. (2024). *Mapas climáticos de España (1991-2020) y ETo (1996-2020)*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- CMNUCC (1992). Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Cumbre de la Tierra*. Río de Janeiro.
- Copernicus (2024). *The 2024 annual climate summary*. Copernicus Climate Change Service.
- Cuerdo-Vilches, T., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Luna, M. Y., Navas, M. A., Mirón, I. J., y Linares, C. (2023). Impact of urban heat islands on morbidity and mortality in heat waves: Observational time series analysis of Spain's five cities. En: *Science of The Total Environment, volumen 890*.
- Fernández de los Ríos, A. (1876). *Guía de Madrid, manual del madrileño y del forastero*. Oficinas de la Ilustración Española y Americana. Calle de Carretas. Madrid.
- Gaceta de Madrid nº 230, del 18 de agosto de 1887: pp. 514-515.
- García de Pedraza, L. y Giménez de la Cuadra, J. M. (1985). *Notas para la historia de la meteorología en España*. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid.
- García Ruiz, J. F. y Meneses Vicente, G. (2023). *Madrid, isla de calor*. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática e Ingeniería del Software. Universidad Complutense de Madrid.
- Giménez de la Cuadra, J. M. (1992). La meteorología en el Observatorio Astronómico de Madrid. En: *Doscientos años del Observatorio Astronómico de Madrid*. Editado por la Asociación de amigos del OAM.
- Giménez de la Cuadra, J. M. (1993). Centenario del observatorio meteorológico de Madrid, Retiro. En: *Calendario meteorológico 1993*: pp. 194-203. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas*. OMM-PNUMA.
- Guglielmo, F. Edt. (2026). *2025 Global climate highlights*. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. ECMWF Communication Section Copernicus Team. Bonn, Germany.
- Guijarro, J. A. (2018). *Homogeneización de series climáticas con Climatol*. Agencia Estatal de Meteorología.
- Hernando Fraile, R. A. (2022). *Respuesta del Gobierno. Pregunta escrita Senado (684)*. Senado. XIV Legislatura. Registro General, entrada 151.768, del 12 de agosto de 2022.
- Hidalgo García, D. y Arco Díaz, Julián (2021). Análisis espacio temporal de la Isla de Calor Urbana mediante imágenes satelitales: capitales de Andalucía. En: *ACE Architecture, City and Environment*. ACE, 17 (49); pp. 1-30.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022). *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. WMO.
- Lorente Pérez, J. M. (1956). Historia de la meteorología en España. *Calendario meteorológico 1957*; pp. 130-132. Servicio Meteorológico Nacional. Madrid.
- Martín-Chivelet, J. (2019). *Memorias de un clima cambiante. Entender el pasado para corregir el futuro. Una visión científica sobre la emergencia climática*. Shackleton Books, S.L. Eslovenia.
- Martínez, E., Azorín-Molina, C., Bañón, M., Olcina, J., Estrela, M. J. y Gil, Antonio (2010). *Intercomparación de las temperaturas extremas en tres tipos de garita meteorológica: Montsouris, Stevenson y Young*. Comunicación presentada en el VII Congreso de la Asociación Española de Climatología. Madrid, 24-26 de noviembre de 2010.
- Memorial literario o Biblioteca periódica de ciencias y artes. Tomo II, año segundo, (1802)*. Imprenta de la calle de Capellanes. Madrid.
- Morata, A., Bello, F. J., García, J. A., Romero, R., Chazarra, A., Huarte, M., Núñez, J. A., Rodríguez, C., Gallego, T., Martínez, L., del Campo, R., Rivas, P. P., García, M. A., Cano, J. Moreno, J. V. y Cano-Barbacil, C. (2025). *Informe sobre el estado del clima de España*

2024. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- Monlau, P. F. (1850). *Madrid en la mano. El amigo del forastero en Madrid y sus cercanías*. Imprenta de Gaspar y Roig, Editores. Madrid.
- Palomares Calderón, M. (2016). *Biografía de Augusto T. Arcimis Wehrle*. Archivo Climatológico y Meteorológico Institucional Arcimis.
- Palomares Calderón, M. (2024). Significación de Augusto Arcimis para el Servicio Meteorológico en España. *Tiempo y Clima N° 84*; pp. 12-14.
- Rasilla, D. F., Allende Álvarez, F. y Fernández García, F. (2016). La isla de calor urbano de Madrid durante la ola de calor de julio 2015. *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, 575-584.
- Rico y Sinobas, M. (1857). *Resumen de los trabajos meteorológicos correspondientes al año 1854, verificados en el Real Observatorio de Madrid*. Imprenta: Fundación y librería de don Eugenio Aguado, Ponteijos. Madrid.
- Sánchez González, R., Gómez Viñas, P. y Orro Arcay, M. (2014). *Centenario del Observatorio de A Coruña. Un siglo de registros climáticos en Galicia*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología. Madrid.
- Viñas, J. M. (2025). *Diccionario meteorológico y climático*. Alianza editorial. Madrid.
- WMO (2008). *Guide to Instruments and Methods of Observation*. WMO N° 8. Geneva, Switzerland.
- WMO (2022a). *Centennial Observing Stations: State of Recognition Report - 2021*. World Meteorological Organization. WMO-N° 1296. Geneva, Switzerland.
- WMO (2022b). *Modernization of the WMO State of the Climate Monitoring*. Commission for Weather, Climate, Water and related Environmental Services and Applications. (SERCOM-2/Doc. 5.5 (2)). Geneva, Switzerland.
- WMO (2023). *Manual on the High-quality Global Data Management Framework for Climate*. World Meteorological Organization. WMO-N° 1238. Geneva, Switzerland.
- WMO (2024). *Guidelines on the WMO Recognition of Long-term Observing Stations*. World Meteorological Organization. WMO-N° 1354. Geneva, Switzerland.
- WMO (2025a). *WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55 °C above preindustrial level*. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.
- WMO (2025b). *State of the Global Climate 2024*. WMO-N° 1368. Geneva, Switzerland.
- Wood, S. (2025). *mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation*.
- Zorita, M. M. (1966). El Observatorio de Madrid y el 2 de mayo de 1808. *Boletín de la Asociación Meteorológica Española*. 1^{er} trimestre 1966, 7; pp. 6-7. Asociación Meteorológica Española.