



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

¿Existe el veranillo de San Miguel? Análisis objetivo mediante el uso de herramientas estadísticas aplicadas al estudio del clima

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Carlos Ramiro Martín

DIRECTORES: Jorge Eiras Barca

María Álvarez Hernández

CURSO ACADÉMICO: 2024-2025

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

¿Existe el veranillo de San Miguel? Análisis objetivo mediante el uso de herramientas estadísticas aplicadas al estudio del clima

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda la cuestión de si existen observaciones objetivas que permitan confirmar la existencia del veranillo de San Miguel, un supuesto fenómeno meteorológico tradicional en España caracterizado por temperaturas anormalmente elevadas a finales de septiembre. Para evaluar científicamente este fenómeno, hasta ahora documentado principalmente mediante refranes y tradición oral, se realizó un análisis estadístico detallado utilizando bases de datos climáticos (E-OBS y ERA5-Land), cubriendo el período de 1979 a 2024. Al tratarse de un supuesto fenómeno que no ha seguido un patrón fijo en cuanto a fechas, duración e intensidad, no ha sido suficientemente analizado como para que la comunidad científica pueda posicionarse claramente.

La metodología se basa en el análisis de series temporales de temperatura y en la aplicación de pruebas estadísticas que permitan identificar posibles anomalías térmicas en el periodo señalado. Para ello, se trabajará con datos provenientes de dos bases reconocidas (E-OBS y ERA5-Land), con el objetivo de generar representaciones gráficas, mapas espaciales y análisis cuantitativos que ayuden a detectar patrones repetitivos o desviaciones significativas. Además, se plantea una división regional de la Península Ibérica con el fin de analizar si este posible fenómeno presenta una expresión espacial diferenciada. A través de los distintos mecanismos utilizados explicados en el trabajo, se busca establecer si hay fundamentos empíricos suficientes para considerar al veranillo de San Miguel como una singularidad climática recurrente.

PALABRAS CLAVE

Veranillo, anomalías, variabilidad térmica, series temporales

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, por su constante apoyo, su paciencia y por estar siempre disponibles para ayudarme ante cualquier dificultad que surgiera durante la realización de este trabajo. Su orientación ha sido fundamental en todo el proceso.

A mi familia, gracias por acompañarme a lo largo de estos años, por su apoyo incondicional y por estar presentes especialmente en los momentos más difíciles. Sin su respaldo, completar este camino no habría sido posible.

A mi novia, por animarme en mis peores días, por creer en mí en todo momento y por su valiosa ayuda a la hora de afrontar este trabajo con la mejor actitud posible. Su compañía ha sido un pilar muy importante en esta etapa.

También quiero agradecer a mis compañeros, con quienes he compartido grandes alegrías y desafíos durante estos cinco años de formación. En especial, durante las últimas semanas, su apoyo, conocimientos y opiniones han sido elementos muy importantes para poder superar los obstáculos con los que he ido encontrando. Gracias por ser una fuente continua de motivación y por hacer de esta experiencia algo más llevadero y enriquecedor.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Contexto y motivación	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Estructura de la memoria	6
2 Estado del arte	7
2.1 Origen: Cultura, tradición y ciencia	7
2.1.1 Refranes y Referencias Culturales en la Tradición Española	8
2.2 Características de la Península Ibérica	8
2.2.1 Régimen de temperaturas	8
2.2.2 Clima peninsular	9
2.2.3 Influencia del Cambio Climático en la Frecuencia del “veranillo”	10
2.3 Estudios previos sobre el “Veranillo” de San Miguel.....	10
2.4 Fenómenos climáticos similares	11
2.5 Fundamentos de la Climatología.....	13
2.6 Series temporales y fuentes de datos.....	14
2.6.1 Uso de Series Temporales para el Análisis de Eventos Climáticos.....	15
2.6.2 Bases de datos climáticos	16
3 Desarrollo del TFG.....	18
3.1 Descripción de los datos	18
3.1.1 E-OBS.....	20
3.1.2 ERA5-Land.....	20
3.2 Herramientas matemáticas	21
3.2.1 Series temporales integradas temporal y espacialmente.....	22
3.2.2 Técnicas estadísticas.....	24
3.2.3 Prueba t	25
4 Resultados / Validación.....	28
4.1 Evidencias visuales	28
4.1.1 Ciclo anual de temperatura	28
4.1.2 Mapas de diferencias de temperatura.....	32
4.2 Resultados estadísticos.....	33

4.3 Validación de resultados	36
5 Conclusiones y líneas futuras	39
5.1 Conclusiones	39
5.2 Líneas futuras	39
6 Bibliografía.....	40
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	43
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Mapa de temperaturas medias en la Península Ibérica (Elaboración propia).....	9
Figura 2-2 Mapa Climático de España [5]	9
Figura 2-3 Temperaturas 15 septiembre -11 octubre 1997 (Elaboración propia)	10
Figura 2-4 Mapas de diferencia de temperatura 1997 (Elaboración propia).....	11
Figura 2-5 Serie temporal.....	14
Figura 2-6 Modelo aditivo. Componentes serie temporal (Elaboración propia).....	15
Figura 3-1 Estructura programa Copernicus	19
Figura 3-2 División Península Ibérica (Elaboración propia).....	21
Figura 3-3 Ciclo anual de temperatura en la Península Ibérica (Elaboración propia).....	23
Figura 3-4 Ajuste Gaussiano para Año Tipo (Elaboración propia).....	24
Figura 4-1 Ciclo anual de temperatura en la Península Ibérica (Elaboración propia).....	29
Figura 4-2 Ciclo anual de temperaturas 4 regiones para E-OBS (Elaboración propia)	30
Figura 4-3 Ciclo anual de temperaturas 4 regiones para ERA5-Land (Elaboración propia)	30
Figura 4-4 Ajuste Gaussiano E-OBS (Elaboración propia)	31
Figura 4-5 Ajuste Gaussiano ERA5-Land (Elaboración propia)	32
Figura 4-6 Diferencias de temperaturas E-OBS (Elaboración propia).....	33
Figura 4-7 Diferencias de temperaturas ERA5-Land (Elaboración propia).....	33
Figura 4-8 Representación espacial p-valores E-OBS (Elaboración propia)	34
Figura 4-9 Representación espacial p-valores ERA5-Land (Elaboración propia)	35
Figura 4-10 Gráficas auxiliares E-OBS (Elaboración propia)	37
Figura 4-11 Gráficas auxiliares ERA5-Land (Elaboración propia)	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3 Principales características datos (Elaboración propia).....	21
---	----

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto y motivación

A lo largo de la historia, el clima ha sido una de las preocupaciones más importantes para el ser humano, no solo por su impacto en la agricultura y en la vida cotidiana, sino también por su influencia en la cultura y las creencias comunes [1]. A través del tiempo, diversas culturas han asociado ciertos patrones climáticos repetitivos a fechas concretas del calendario, creando expresiones e ideas que se han heredado de generación en generación. Uno de estos fenómenos es el veranillo de San Miguel, un término coloquial y no científico que alude a una etapa de aumento de temperaturas que, según se presupone, ocurre a finales de septiembre en España, coincidiendo con la celebración de San Miguel (29 de septiembre) [2], [3]

Se trata de un fenómeno que ha hecho eco en la memoria colectiva manteniéndose vivo en la tradición popular española. Esto es visible debido a la multitud de refranes que lo mencionan. Refranes como "Por San Miguel, calor como miel" o "El veranillo del membrillo, muy cierto es si dura cinco o seis días seguidos" reflejan la idea de un repunte cálido tras la llegada del otoño, reforzando la creencia de que este fenómeno tiene una base empírica y recurrente [4].

Sin embargo, la literatura científica y los registros climáticos presenta otros resultados que ponen en duda la existencia de este fenómeno. Estos muestran que las condiciones meteorológicas en torno a estas fechas varían considerablemente de un año a otro, y no se puede afirmar que el fenómeno ocurra con regularidad o que sea predecible [2].

Pese a su profundo arraigo en la cultura popular española, la existencia del veranillo de San Miguel como un fenómeno climático auténtico es un asunto que ha generado controversia. ¿Es un evento basado en evidencias científicas, o es solo una percepción subjetiva alimentada por la memoria colectiva y la transmisión oral? En un contexto donde la variabilidad climática se hace más evidente por el efecto del cambio climático, resulta relevante examinar con seriedad y detenimiento si este veranillo es una realidad o si su existencia se atribuye más a un mito climático arraigado a lo largo del tiempo [5].

Con el fin de comprender mejor la climatología en la Península Ibérica y la posible existencia del veranillo de San Miguel, resulta fundamental establecer un marco teórico que reúna y examine la información pertinente acerca de este fenómeno. Para ello, se tratarán sus bases climáticas, su presencia en la tradición popular y su vínculo con la variabilidad del clima. A través de este marco conceptual, se pretende proporcionar una base sólida que permita contrastar la percepción cultural con el análisis científico, estableciendo de esta manera los fundamentos para el análisis estadístico y la evaluación objetiva de su recurrencia en el tiempo.

1.2 Objetivos

Para el presente TFG los objetivos que marcan la finalidad del mismo ayudando a sintetizar aquello que se busca conseguir son los siguientes:

- Definir y contextualizar el concepto de “veranillo de San Miguel” y todos los términos relacionados con el mismo con el fin de facilitar su comprensión.
- Elaborar un estudio en profundidad que analice la posible existencia del veranillo de San Miguel como fenómeno climático.
- Aplicar técnicas de análisis de datos mediante el uso del lenguaje de programación Python, empleando el entorno Visual Studio Code como herramienta principal.
- Utilizar bases de datos climáticos de alta resolución (E-OBS y ERA5-Land) para construir series temporales que permitan identificar patrones térmicos anómalos en el periodo estudiado.
- Elaborar representaciones gráficas y cartográficas que permitan visualizar posibles repuntes térmicos en distintas regiones de la Península Ibérica.
- Evaluar estadísticamente la existencia de anomalías térmicas mediante pruebas de contraste de hipótesis.

1.3 Estructura de la memoria

Con la finalidad de poder comprender mejor el estudio expuesto posteriormente en el presente trabajo, es necesario una presentación de la estructura que se va a llevar a cabo. El contenido de la memoria se encuentra dividido en un total de 6 grandes bloques que se pueden observar en el apartado de ‘Contenido’.

El primer bloque, denominado ‘Introducción y objetivos’ contiene toda la información requerida al contexto y motivación por el proyecto, los objetivos del mismo, así como la estructura de la memoria. El siguiente gran bloque que se presenta es el ‘Estado del arte’. Dentro del mismo se encuentran todos los apartados relacionados con la definición de los conceptos relacionados con el veranillo de San Miguel, origen, refranes, características y estudios previos, entre ellos para poder contar con un contexto completo, así como la exposición y designación de aquellas herramientas que se van a utilizar para analizar dicho fenómeno.

A continuación, se presenta el tercer bloque del trabajo, denominado ‘Desarrollo del TFG’ donde se lleva a cabo de forma detallada la metodología y herramientas empleadas para el análisis de los datos obtenidos en el tiempo de la temperatura en la Península Ibérica, así como la generación de gráficas y mapas que se expresan posteriormente en el siguiente bloque ‘Resultados’ junto a los datos obtenidos a partir de las pruebas estadísticas realizadas.

Por último, se encuentran el quinto bloque destinado a las ‘Conclusiones y líneas futuras’ donde se pondrá en relevancia todo lo aprendido a lo largo del proyecto y el sexto bloque ‘Bibliografía’ donde aparecen los anexos I y II atribuidos a las implicaciones sociales y económicas, así como las reflexiones éticas y sociales acerca del tema.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Origen: Cultura, tradición y ciencia

Los veranillos son fenómenos meteorológicos caracterizados por episodios transitorios de temperaturas anormalmente elevadas en periodos de transición estacional, en el caso del veranillo de San Miguel, interrumpiendo el descenso térmico típico del otoño. Estos eventos han sido identificados en diversas regiones del hemisferio norte, especialmente en Europa, donde se reconocen como singularidades climáticas, es decir, repeticiones de ciertos patrones atmosféricos que, aunque no tienen una periodicidad estricta, se registran con cierta recurrencia en la memoria popular. Su origen está ligado a la evolución histórica de la parcelación conceptual del año. En épocas antiguas, el año se dividía en dos grandes períodos: verano e invierno, que correspondían a las épocas de calor y frío, respectivamente. Con el tiempo, la exigencia de una mayor precisión en el calendario agrícola llevó a la incorporación de la primavera y el otoño como estaciones intermedias. Sin embargo, dentro de esta división estándar del año, los veranillos destacan como anomalías térmicas que interrumpen la progresión habitual del clima, generando un breve retorno a temperaturas más cálidas antes de la consolidación definitiva del invierno. A pesar de la recurrencia de estos episodios de calentamiento anómalo, la literatura científica sobre los "veranillos" sigue siendo escasa, y apenas existen estudios que aborden su origen, fundamentos y características desde un enfoque riguroso. En este sentido, el análisis desarrollado en este estudio adopta un enfoque innovador orientado a desmitificar el supuesto fenómeno, aportando evidencias mediante una metodología rigurosa. De esta manera, se contribuye a arrojar luz sobre una cuestión escasamente investigada del conocimiento climático, facilitando una mejor comprensión de estos episodios térmicos en el contexto más amplio de las fluctuaciones estacionales¹ atmosféricas. Dentro de este contexto, resulta especialmente relevante el caso del veranillo de San Miguel, un fenómeno cuya existencia ha sido ampliamente debatida y cuya presunta existencia ha sido copiosamente recogida en la tradición oral y el refranero español. [6]

En el contexto español, la pervivencia de estos episodios en el imaginario colectivo ha sido reforzada por la tradición oral, un mecanismo esencial en la transmisión del conocimiento climático antes de la sistematización científica de la meteorología. Como se ha documentado en estudios sobre etnografía y clima, la observación empírica del comportamiento atmosférico a lo largo de siglos permitió a las sociedades preindustriales elaborar patrones interpretativos que, aunque basados en la experiencia, carecían de un fundamento estrictamente científico. De esta forma, refranes y expresiones populares han

¹ Fluctuaciones estacionales: variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados.

servido como herramientas para la predicción del tiempo, generando un repertorio de saber popular en el que el veranillo de San Miguel ocupa un lugar destacado. [7]

2.1.1 Refranes y Referencias Culturales en la Tradición Española

El veranillo de San Miguel está presente en la tradición popular española a través de refranes como "veranillo de San Miguel dura tres días y fin" que refleja la percepción que se tiene de este fenómeno. Otros ejemplos claros son "Por San Miguel, calor fiel", que sugiere que es común experimentar calor en torno a esa festividad; o "El verano de los membrillos, dura unos poquillos", relacionando este fenómeno con la época de maduración de los membrillos. Estos refranes no solo expresan la percepción empírica del clima, sino que también han servido como guía en la planificación agrícola viéndose reflejado en algunos como "Por San Miguel, primero el higo y después la miel" o "En septiembre, al final, los higos un manjar". La observación de los ciclos climáticos ha sido una herramienta fundamental en las sociedades agrarias, donde la anticipación de un período de temperaturas más altas tras el inicio del otoño era de gran utilidad para la cosecha y otros trabajos del campo. [8]

Este legado cultural y lingüístico que hemos heredado, ha sido uno de los principales factores que ha ocasionado que la percepción del veranillo de San Miguel se mantenga vigente, pese a la falta de estudios científicos que lo corroboren como un fenómeno meteorológico existente. La escasez de documentación científica sobre este episodio recalca la importancia de realizar un análisis riguroso que contraste la tradición con la evidencia climática, utilizando herramientas estadísticas que permitan determinar si este fenómeno responde a una realidad atmosférica o si es, más bien, una construcción cultural derivada de la versatilidad natural del clima en la Península Ibérica. Para abordar esta cuestión de manera objetiva, resulta fundamental contextualizar el estudio dentro del marco climático y geográfico de la región analizada.

2.2 Características de la Península Ibérica

La Península Ibérica se encuentra en el suroeste de Europa, delimitada por el océano Atlántico al oeste y el mar Mediterráneo al este, a su vez, los Pirineos al noreste actúan como frontera natural con el resto del continente. Su posición geográfica entre dos grandes masas de agua y en una zona de transición entre las latitudes templadas y subtropicales determina en gran medida su clima, caracterizado por una notable variabilidad térmica² y atmosférica. A su vez, con una altitud media aproximada de 660 metros y una configuración orográfica compleja, el relieve peninsular contribuye significativamente a la variabilidad climática³. La disposición de las cadenas montañosas actúa como una barrera natural que condiciona la llegada de masas de aire, generando contrastes térmicos y pluviométricos a nivel regional y local. Asimismo, la interacción entre los flujos de aire atlántico y mediterráneo influye en la distribución de las precipitaciones y en la persistencia de ciertos fenómenos térmicos transitorios. [9], [10]

2.2.1 Régimen de temperaturas

El régimen térmico de la Península Ibérica presenta una variabilidad significativa, producto de la interacción de diversos factores geográficos y atmosféricos. Dicha variabilidad se manifiesta en diferencias espaciales y estacionales, influenciadas por la latitud, la altitud, la proximidad al mar y la configuración orográfica de la región. Además, las temperaturas promedio anuales experimentan fluctuaciones notables. Áreas montañosas como los Pirineos, la Cordillera Cantábrica, el Sistema Ibérico y Sierra Nevada, reportan temperaturas que oscilan entre 0 °C y 8 °C. Por otro lado, las regiones costeras del sur y sureste peninsular, particularmente en su extremo meridional, llegan a tener temperaturas medias anuales entre 18 °C y 22 °C. Se puede apreciar en la Figura 2-1 como los lugares con altitudes

² Variabilidad térmica: es la diferencia numérica entre los valores máximos y mínimos de temperatura observado en un punto dado durante un período de tiempo.

³ Variabilidad climática: fluctuaciones de los componentes del clima como temperatura y precipitaciones entre otros, durante períodos de tiempo que pueden oscilar entre unos pocos días y varias décadas.

más elevadas y latitudes septentrionales exhiben temperaturas más bajas, mientras que las regiones meridionales y costeras gozan de climas más calurosos.[10], [11]

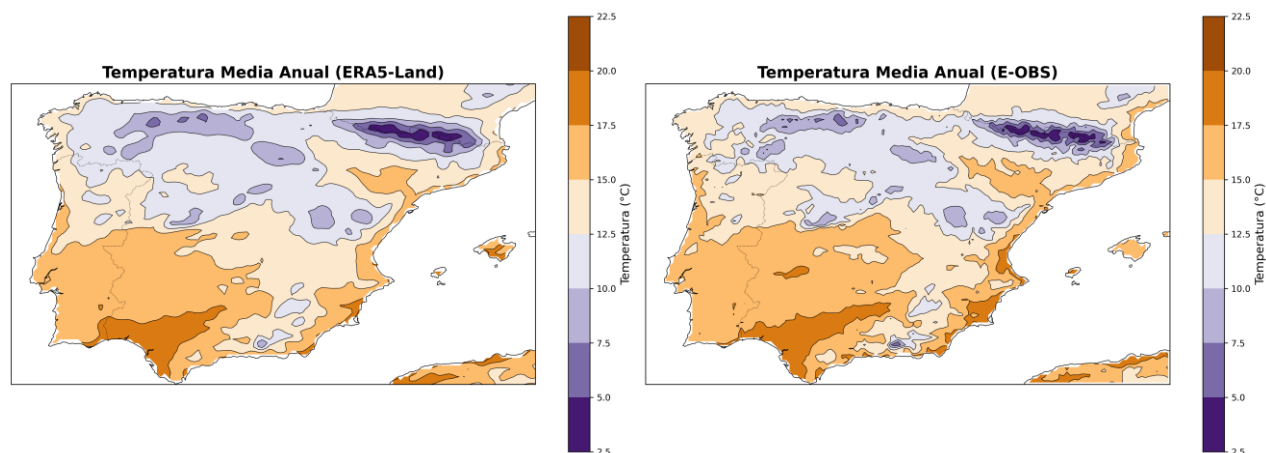


Figura 2-1 Mapa de temperaturas medias en la Península Ibérica (Elaboración propia)

2.2.2 Clima peninsular

También es notable la variabilidad estacional en la región. Durante el invierno, las zonas interiores de la parte norte de la peninsular sufren temperaturas frías, con medias que no superan los 6 °C. En contraste, las zonas del sur experimentan inviernos más suaves, con promedios que duplican este valor. Durante el verano, la mayoría de la península experimenta altas temperaturas, siendo especialmente altas en las regiones del interior. Esta fluctuación estacional es resultado de la mezcla de elementos como la circulación atmosférica, la influencia marítima y la geografía regional. Además, la posición geográfica de la península ibérica, situada entre dos grandes masas continentales y entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, la convierte en un punto de encuentro de influencias marítimas y continentales diversas y contrastadas. Finalmente, las características del relieve aportan una mayor complejidad al clima español; en primer lugar, por su altitud media que condiciona intensamente las temperaturas; en segundo lugar, por la disposición de las barreras montañosas, que generan grandes contrastes espaciales en todos los elementos climáticos y meteorológicos, tanto a escala regional como local. Todo lo anterior contribuye a que la península ibérica tenga una gran diversidad climática, con características claramente diferenciadas y distribuidas a lo largo de toda su geografía como muestra la Figura 2-2. [10]



Figura 2-2 Mapa Climático de España [10]

Esta diversidad climática y variabilidad térmica que caracterizan la Península Ibérica influyen en la aparición de eventos meteorológicos transitorios como el veranillo de San Miguel. Sin embargo, en las últimas décadas, el equilibrio de estos patrones climáticos ha comenzado a alterarse debido al cambio climático.

2.2.3 Influencia del Cambio Climático en la Frecuencia del “veranillo”

El calentamiento global está modificando los patrones climáticos a nivel global. Específicamente en la región mediterránea, está aumentando la frecuencia e intensidad de episodios de calor extremo y alterando la variabilidad climática estacional [12], [13], [14]. Estos cambios podrían influir en la aparición y características de fenómenos como el veranillo de San Miguel en la Península Ibérica. En las últimas décadas, los datos climáticos han mostrado un incremento en la temperatura media global de hasta 1.5°C desde la era preindustrial, lo que según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sugiere que los fenómenos extremos y los episodios de calor anómalos podrían volverse más frecuentes regiones de latitudes medias, como es el caso de España [12], [13]. Además, en investigaciones recientes se ha observado una expansión y fortalecimiento del Anticiclón de las Azores, un sistema de alta presión que influye significativamente en el clima del suroeste de Europa. Estudios recientes indican que este anticiclón ha alcanzado su mayor extensión en los últimos 1.200 años, lo que ha resultado en una disminución promedio del 33% en las precipitaciones invernales en la costa occidental de la Península Ibérica [15]. La persistencia y expansión de este sistema de alta presión pueden estar relacionadas con la mayor frecuencia de períodos cálidos anómalos durante el otoño. Estos cambios también han llevado a la aparición de alteraciones en la circulación atmosférica que hacen que eventos como el veranillo de San Miguel sean más erráticos y difíciles de predecir. En conjunto, estas modificaciones en el sistema climático evidencian la creciente influencia del cambio climático sobre los patrones meteorológicos tradicionales, generando incertidumbre sobre la recurrencia y características de estos episodios de calor tardío.

2.3 Estudios previos sobre el “veranillo” de San Miguel

En su estudio, Blanchard-Grigglesworth proporciona una de las primeras evaluaciones detalladas del “veranillo” de San Miguel en el noreste de la Península Ibérica. En este se analizó el suceso que tuvo lugar en 1997, el cual resultó ser particularmente intenso y prolongado, con temperaturas elevadas que persistieron del 15 de septiembre hasta el 11 de octubre como se puede observar en la Figura 2-3 y Figura 2-4 [16]. Según este estudio, la ocurrencia del “veranillo” está estrechamente ligada a la presencia de altas presiones en el Atlántico y Europa Central, lo que obstaculiza la entrada de masas de aire frío desde el océano.

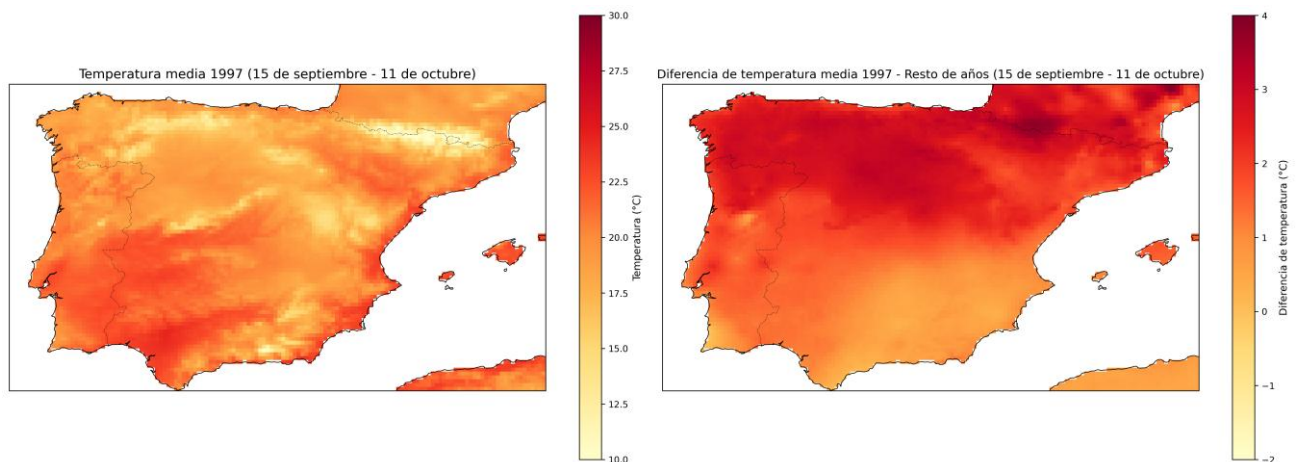


Figura 2-3 Temperaturas 15 septiembre -11 octubre 1997 (Elaboración propia)

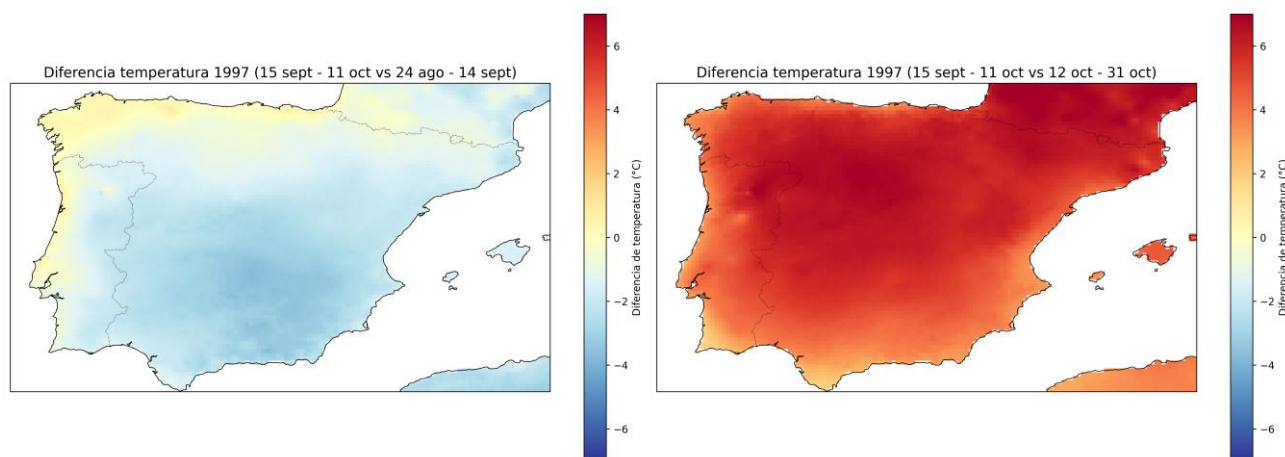


Figura 2-4 Mapas de diferencia de temperatura 1997 (Elaboración propia)

Los eventos de calentamiento anómalo en periodos de transición estacional han sido ampliamente documentados en distintas partes del mundo. Aunque el veranillo de San Miguel es una manifestación popular en la Península Ibérica, existen múltiples fenómenos climáticos similares que se caracterizan por un aumento transitorio de temperaturas debido a patrones atmosféricos específicos.

En Rodríguez-Puebla et al. [17] sus autores ofrecen un análisis detallado sobre las tendencias de cambio en los extremos térmicos en España, observando un incremento en la frecuencia de días cálidos y una reducción en las noches frías durante el periodo 1950-2006. Estas anomalías térmicas parecen estar relacionadas con la dinámica de los sistemas de presión atmosférica y las oscilaciones climáticas a gran escala, destacando la existencia de fluctuaciones térmicas en las transiciones estacionales. En este sentido, se ha sugerido que ciertos periodos de temperaturas inusualmente altas a finales de septiembre podrían asociarse con lo que popularmente se denomina "veranillo de San Miguel", aunque la evidencia climática no permite establecer una periodicidad estricta ni un patrón cíclico definido para este fenómeno.

A pesar de la recurrencia de estos episodios de calentamiento anómalo, la literatura científica sobre los "veranillos" sigue siendo escasa, y apenas existen estudios que aborden su origen, fundamentos y características desde un enfoque riguroso. En este sentido, dicha escasez de estudios previos sobre este fenómeno constituye una de las principales motivaciones para el desarrollo del presente análisis.

2.4 Fenómenos climáticos similares

Sin embargo, este fenómeno no es exclusivo de la Península Ibérica, ya que se han registrado anomalías térmicas en otras regiones durante las estaciones de transición que guardan similitudes tanto en sus características como en su impacto sobre el clima regional. Diversos estudios han documentado estos episodios, los cuales han recibido denominaciones análogas al veranillo de San Miguel, evidenciando la presencia de patrones climáticos particulares y efímeros asociados a periodos de inestabilidad térmica. La interacción entre variables atmosféricas y geográficas da lugar a estas manifestaciones, cuya incidencia y repercusión varían según las condiciones locales de cada región. A continuación, se presentan algunas de estas anomalías térmicas registradas en distintos lugares del planeta.

- Indian Summer (Norteamérica)

El Indian Summer es un período de temperaturas inusualmente cálidas que ocurre durante el otoño en América del Norte, específicamente después de que las temperaturas frías hayan sido lo suficientemente intensas como para detener la temporada de crecimiento de los cultivos. Este fenómeno se caracteriza por un clima estable con cielos despejados y temperaturas superiores a las habituales para esa época del año [18]. Aunque su mecanismo no es idéntico al del veranillo de San Miguel, ambos

comparten la característica de ser anomalías térmicas transitorias que interrumpen la progresión natural de la estación.

- El "Verano de San Martín" (Europa Occidental)

El "Verano de San Martín" es un fenómeno popular que se refiere a un breve período de tiempo cálido y agradable que ocurre en el otoño, generalmente alrededor del 11 de noviembre, coincidiendo con la festividad de San Martín. Las temperaturas se elevan por encima de lo normal para la época del año, proporcionando un respiro antes del invierno. Aunque no es un fenómeno meteorológico formal, se caracteriza por un aumento temporal de las temperaturas, especialmente en Europa Occidental. El significado cultural que tiene este "veranillo" es realmente importante, especialmente en España, donde coincide con la época de matanzas y celebraciones rurales. [6], [19]

- Altweibersommer (Alemania y Europa Central)

En los países de habla alemana, se conoce como Altweibersommer a un periodo de clima estable y cálido que se presenta entre finales de septiembre y principios de octubre. Este fenómeno está vinculado a la persistencia de sistemas de alta presión sobre Europa central, que bloquean la llegada de masas de aire frío y permiten la presencia de temperaturas más altas de lo habitual para la época. A diferencia del veranillo de San Miguel, el Altweibersommer tiende a tener una mayor estabilidad en su aparición. La probabilidad de que se produzca se mantiene relativamente estable, en torno al 80% en una semana típica de septiembre. Lo cual hace posible que se haya identificado con mayor claridad en registros climáticos de largo plazo, aunque sigue siendo un fenómeno sujeto a la variabilidad atmosférica. [6]

- Veranillo de San Juan (hemisferio sur)

En el hemisferio sur, el "veranito" de San Juan ocurre en torno al 24 de junio, en pleno invierno austral, y se manifiesta como un breve episodio de temperaturas más cálidas. Su posible origen se vincula al hecho de que los frentes fríos subantárticos no logran desplazarse hacia el norte, lo que permite que las temperaturas alcancen valores inusualmente altos para esta época del año. Comparativamente, aunque la ubicación geográfica y el contexto estacional difieren del veranillo de San Miguel, ambos fenómenos comparten la característica de ser episodios de calor transitorio en periodos de cambio de estación. [20]

- Midsummer Drought (el Caribe y América Central)

El Midsummer Drought (MSD), o "sequía de mitad de verano", es un fenómeno climático bien documentado que afecta a México y América Central. Se caracteriza por una disminución temporal de las precipitaciones durante la temporada de lluvias, con un patrón bimodal en el que las precipitaciones alcanzan máximos en junio y septiembre-octubre, mientras que en julio y agosto se observa un mínimo relativo. A diferencia de lo que se ha sugerido en algunos estudios previos, este evento no está vinculado a la doble migración meridional en dirección norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)⁴, sino a fluctuaciones en la intensidad y localización de la ZCIT en el Pacífico oriental. Además, se ha demostrado que el fortalecimiento de los vientos alisios en julio y agosto, en respuesta a cambios en la convección profunda, juega un papel clave en la disminución de precipitaciones sobre el Pacífico de América Central y el sur de México [21]. Si bien el MSD no es idéntico al veranillo de San Miguel, ambos comparten la característica de ser anomalías climáticas transitorias. Sin embargo, a diferencia del MSD, cuya existencia ha sido ampliamente documentada y estudiada, el veranillo de San Miguel carece de un respaldo científico sólido, lo que refuerza la importancia de investigaciones como la presente para comprender su posible origen y dinámica.

⁴ Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT): franja alrededor del ecuador donde convergen los vientos alisios de ambos hemisferios. Es una región con mucha nubosidad y lluvias intensas porque el aire cálido y húmedo asciende, generando convección y tormentas.

- La Canícula (México y centro América)

La Canícula es un fenómeno climático que se presenta durante el verano en México y Centroamérica, caracterizado por una disminución de las precipitaciones y un incremento en las temperaturas. Este evento ocurre generalmente entre julio y agosto, con una duración aproximada de 40 días. La reducción de lluvias se debe, en parte, al fortalecimiento de los vientos alisios que impiden la formación de nubes sobre el océano, limitando así las precipitaciones en el territorio continental. En el caso de Honduras, la Canícula, también conocida como "veranillo", se presenta durante la temporada lluviosa, generalmente entre el 15 de julio y el 15 de agosto, y puede durar entre cuatro y siete semanas. Este período se caracteriza por temperaturas más altas y una reducción en las lluvias, a pesar de estar en la estación lluviosa [22]. Aunque la canícula se desarrolla en una estación distinta al veranillo de San Miguel, ambos comparten la característica de ser anomalías climáticas transitorias.

Todos estos fenómenos anómalos de temperaturas, al igual que el veranillo de San Miguel pueden tener un impacto significativo en distintos sectores económicos y sociales. Aunque su duración es corta, sus efectos pueden tener repercusiones importantes en agricultura, salud pública, consumo energético y turismo, ya que las variaciones térmicas inesperadas pueden alterar la planificación y gestión en estos ámbitos. Además, estos episodios pueden influir en la toma de decisiones a nivel institucional, especialmente en lo que respecta a la adaptación y mitigación frente a eventos meteorológicos anómalos. Este tema será abordado en profundidad en los Anexos I y II, donde se analizarán con mayor detalle sus implicaciones en cada uno de estos sectores.

2.5 Fundamentos de la Climatología

La climatología es la disciplina científica que analiza los patrones y comportamientos del clima en diferentes regiones del planeta a lo largo del tiempo. Se diferencia de la meteorología en que esta última se enfoca en la predicción del tiempo a corto plazo, mientras que la climatología estudia tendencias y variaciones climáticas en escalas temporales más amplias, generalmente de 30 años o más, según lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Dentro del estudio del clima, se consideran factores como la radiación solar, la composición atmosférica, la circulación general de la atmósfera y la interacción con la superficie terrestre y los océanos. Estos elementos influyen en la distribución de la temperatura, la presión y la humedad, estableciendo de esta manera los diferentes climas del planeta. Asimismo, la climatología permite entender la variabilidad climática, que se refiere a fluctuaciones naturales del sistema climático, y el cambio climático, que conlleva modificaciones regulares en las condiciones climáticas debido a factores naturales y antropogénicos⁵. La relevancia de esta disciplina radica en su aplicación en distintos sectores, desde la planificación agrícola hasta la gestión de recursos hídricos y la mitigación de desastres naturales. [23], [24]

Uno de los aspectos clave en climatología es el análisis de las variables climáticas fundamentales, entre las que destacan la temperatura, la presión atmosférica, la humedad y la precipitación. La temperatura, por ejemplo, está directamente influenciada por la latitud, la altitud, la proximidad a grandes masas de agua y la circulación atmosférica. Los movimientos del aire, regulados por sistemas de alta y baja presión, determinan patrones meteorológicos que afectan la distribución del calor en el planeta. Además, fenómenos como la inversión térmica o la circulación general de los vientos pueden modificar las condiciones climáticas locales y regionales. Para comprender estos procesos, se utilizan herramientas como el análisis de series temporales, modelos de simulación climática y datos satelitales, que permiten evaluar la evolución del clima con un alto nivel de precisión. [23], [24], [25]

⁵ Antropogénico: todo aquello que proviene o resulta de las actividades de los seres humanos o que es producido por ellas.

2.6 Series temporales y fuentes de datos

Las series temporales constituyen una colección de datos recogidos en intervalos de tiempo uniformes, lo que permite identificar patrones, tendencias y ciclos en las variables de estudio. Se trata de magnitudes que presentan una doble dimensión: por un lado, el tiempo (en instantes o intervalos específicos) y, por otro, los valores propios de la variable estudiada (Figura 2-5). El análisis de series temporales tiene como finalidad describir la evolución histórica de una variable determinada, además de permitir la predicción de su comportamiento futuro. Dichas series pueden clasificarse en dos grandes categorías según su comportamiento medio en el tiempo: series evolutivas y series estacionarias. Las series evolutivas presentan un valor medio cambiante a lo largo del tiempo, pudiendo ser crecientes o decrecientes. Por otro lado, las series estacionarias mantienen un valor medio constante, aunque pueden presentar oscilaciones alrededor de ese valor medio.

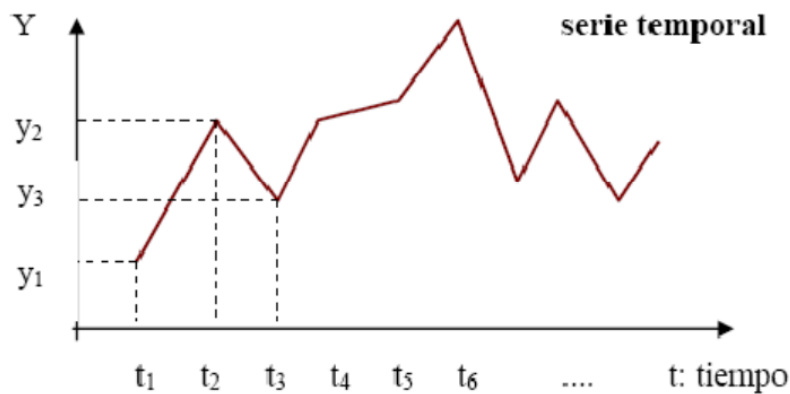


Figura 2-5 Serie temporal (Elaborada con IAG)

Cada serie temporal puede descomponerse en cuatro componentes básicas (Figura 2-6):

- **Tendencia:** Refleja la evolución a largo plazo de la serie temporal. Puede ser creciente, decreciente o mantenerse relativamente estable a lo largo del tiempo.
- **Estacionalidad:** Representa movimientos o fluctuaciones regulares y predecibles que se repiten en períodos fijos, como pueden ser anuales, mensuales, semanales o diarios. Esta componente es clave en series relacionadas con la climatología o meteorología para controlar los eventos que tienen ciclos regulares claros, como las precipitaciones estacionales, los patrones regulares de viento, o los fenómenos atmosféricos periódicos.
- **Variaciones cíclicas:** Son fluctuaciones menos predecibles que están relacionadas con ciclos climáticos de mayor duración, como pueden ser períodos húmedos y secos alternantes, o fases cálidas y frías prolongadas. Este tipo de variaciones suele manifestarse con amplitud y periodicidad variables.
- **Variaciones accidentales o aleatorias:** Son fluctuaciones impredecibles que no siguen un patrón definido y que suelen atribuirse a factores externos o sucesos puntuales.

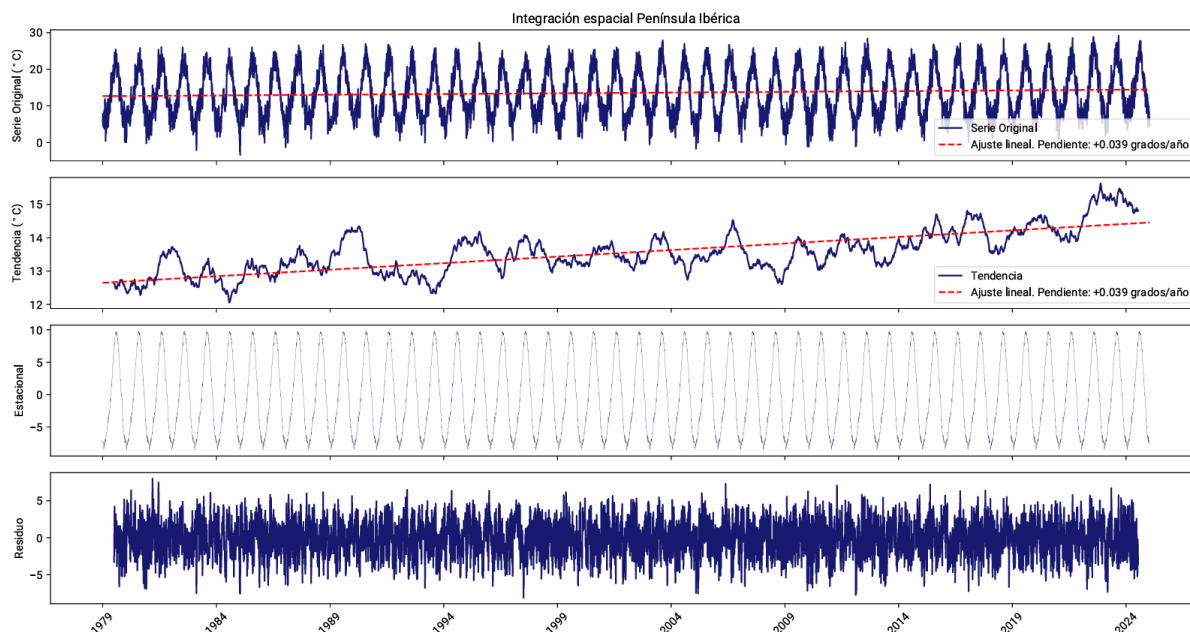


Figura 2-6 Modelo aditivo. Componentes serie temporal (Elaboración propia. Datos: E-OBS)

Antes de abordar el análisis de cualquier serie temporal, resulta imprescindible seleccionar el modelo más adecuado para describir su comportamiento. La elección del modelo dependerá principalmente del tipo de interacción que presenten las componentes que integran dicha serie temporal. La interacción de estas cuatro componentes da lugar a diferentes tipos de series temporales, que pueden ser analizadas mediante distintos modelos, siendo los más comunes el modelo aditivo y el multiplicativo. El modelo aditivo supone que el valor observado en cada instante es resultado de la suma de las cuatro componentes mencionadas anteriormente: tendencia, estacionalidad, variaciones cíclicas y variaciones accidentales. Este modelo es adecuado cuando las fluctuaciones de la serie no aumentan ni disminuyen proporcionalmente con el nivel general de la serie, es decir, cuando las variaciones en torno a la media son relativamente constantes en magnitud. Por otro lado, el modelo multiplicativo es en el cual los valores observados se obtienen como producto de las cuatro componentes, siendo particularmente útil cuando las variaciones de la serie temporal crecen o decrecen proporcionalmente con el nivel general de la serie. Otro modelo menos común es el mixto, que combina componentes aditivas y multiplicativas según las características específicas observadas en la serie.

Para decidir qué modelo es más apropiado aplicar en cada análisis, suele realizarse un estudio gráfico inicial donde se representan las medias y desviaciones de cada período temporal. Si al representar estas variables se observa una relación creciente, se recomienda aplicar el modelo multiplicativo; en caso contrario, suele ser más adecuado emplear el modelo aditivo.

2.6.1 Uso de Series Temporales para el Análisis de Eventos Climáticos

En climatología, el análisis de series temporales es imprescindible para comprender la variabilidad del clima, detectar cambios a largo plazo y prever eventos extremos. Este tipo de análisis facilita la identificación de tendencias significativas en variables climáticas, como el aumento de la temperatura promedio o las modificaciones en los patrones de precipitación. Los eventos climáticos extremos, como las olas de calor y los períodos prolongados de temperaturas elevadas, pueden analizarse mediante series temporales para comprender su frecuencia, duración e intensidad. Sin embargo, el análisis de series temporales en climatología enfrenta numerosos desafíos, como la existencia de datos incompletos, los cambios en los métodos de recopilación de información y la necesidad de contar con largos periodos de observación para detectar tendencias significativas. Además, la variabilidad natural del clima puede dificultar la identificación de señales claras.

Las aplicaciones derivadas del análisis de series temporales son muy variadas en el campo de la climatología. Entre ellas destaca, entre muchas otras, la utilización de distintos modelos para conformar series climáticas como temperatura, humedad relativa y radiación solar incidente. Este enfoque permite descomponer las series en componentes de tendencia, estacionalidad y ruido, facilitando la identificación de patrones y la realización de pronósticos a corto y largo plazo[26]. Otro de los usos más relevantes de las series temporales es su capacidad para identificar tendencias y detectar anomalías en la dinámica de crecimiento y rendimiento de los cultivos, así como para evaluar el estado de los bosques y monitorizar los procesos de expansión urbana. Esto se consigue mediante el almacenamiento de grandes volúmenes de datos a lo largo del tiempo y la aplicación de índices de vegetación específicos a imágenes satelitales, lo que permite realizar un seguimiento detallado de los cambios en la cobertura terrestre y la salud de los ecosistemas [27]. Otro campo en el que las series temporales desempeñan un papel fundamental es la dendrocronología, una técnica que permite reconstruir el clima del pasado a través del estudio de los anillos de crecimiento de los troncos de los árboles. Dado que el grosor de cada anillo está influenciado por factores climáticos como la temperatura y la disponibilidad de agua, su análisis proporciona un registro detallado de las condiciones ambientales a lo largo de los siglos. Aplicando métodos estadísticos propios del análisis de series temporales, como modelos de suavizado, filtrado de tendencias y detección de ciclos, es posible identificar fluctuaciones climáticas a largo plazo, estimar temperaturas pasadas y comparar eventos climáticos históricos con datos instrumentales modernos [28]. También se pueden descomponer estas series temporales en sus componentes principales realizando modelos espacio-temporales lo que permite investigar la existencia de cambios climáticos en regiones específicas [29].

2.6.2 Bases de datos climáticos

El estudio del clima y sus variaciones requiere la utilización de bases de datos precisas y estandarizadas, adquiridas a través de redes de observación, modelos numéricos y métodos de reanálisis. Con el paso del tiempo, la recopilación y el manejo de datos climáticos han experimentado una evolución gracias al desarrollo de nuevas tecnologías de medición y almacenamiento. En la actualidad, los datos climáticos utilizados en investigaciones científicas y en aplicaciones meteorológicas provienen de extensas bases de datos a nivel mundial, siendo uno de los formatos más empleados el NetCDF (Network Common Data Form), diseñado específicamente para el almacenamiento y gestión de grandes volúmenes de datos multidimensionales. NetCDF fue desarrollado por el Unidata Program Center en la Universidad de Colorado, Estados Unidos, como parte del proyecto financiado por la National Science Foundation (NSF). Su estructura permite organizar datos en múltiples dimensiones, facilitando su almacenamiento y manipulación para modelado numérico y análisis estadístico. El NetCDF es un formato de datos auto-descriptivo, portátil y escalable, lo que facilita su uso en diferentes plataformas y sistemas operativos. [30], [31]

La integración de herramientas de software libre, como el entorno de programación Python, ha ampliado en gran medida las posibilidades de análisis y visualización de datos climáticos almacenados en formato NetCDF. Gracias a su ecosistema de bibliotecas especializadas, como xarray, netCDF4 y Matplotlib, los investigadores pueden leer, procesar y representar gráficamente estos datos de manera eficiente, facilitando su interpretación y manipulación. Además, el uso de Cartopy y Seaborn permite la generación de mapas y visualizaciones avanzadas que mejoran el análisis espacial y temporal de los datos. Estas herramientas han demostrado ser fundamentales en estudios climatológicos, ya que posibilitan la identificación de patrones, tendencias y anomalías en variables como la temperatura y la precipitación en diferentes regiones y períodos. La versatilidad de Python, junto con su capacidad para integrarse con otros lenguajes y plataformas de modelado climático, ofrece una interfaz sencilla e intuitiva, lo que lo convierte en una opción robusta para la investigación y el desarrollo de modelos predictivos en el ámbito de la climatología.

En este contexto, bibliotecas como Climate Data Operators (CDO) proporcionan un conjunto de herramientas especializadas para el procesamiento y análisis de datos climáticos, permitiendo realizar operaciones como interpolación, conversión de formatos y análisis estadístico de grandes volúmenes de datos. Además, herramientas basadas en CDO, como nctoolkit, facilitan la segmentación,

reordenamiento y análisis de datos multidimensionales, cubriendo más del 80% de los requisitos típicos de procesamiento en estudios climáticos. Su integración con Python permite una manipulación eficiente de datos atmosféricos y oceánicos, facilitando la investigación de tendencias y variaciones climáticas en diferentes escalas temporales y espaciales. [32]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Descripción de los datos

Para la realización de este análisis, se emplean datos suministrados por el programa Copernicus [33]. El programa Copernicus es la iniciativa de observación de la Tierra de la Unión Europea, diseñada para monitorear y comprender nuestro planeta en beneficio de la ciudadanía. Su propósito principal es proporcionar información precisa y fiable sobre el estado del medio ambiente y su evolución, con el fin de ayudar a la toma de decisiones en distintos ámbitos, desde la gestión de recursos naturales hasta la planificación de infraestructuras resilientes al cambio climático. Para contribuir a ello, Copernicus ofrece servicios de información basados en datos obtenidos tanto de satélites de observación terrestre como de mediciones in situ, que abarcan fuentes terrestres, marítimas y aéreas. La integración de estos datos permite generar modelos y análisis de alta precisión que contribuyen a una mejor comprensión del medio ambiente y sus dinámicas. Toda esta información está disponible de manera libre y gratuita, asegurando su disponibilidad para investigadores, administraciones públicas, empresas y la sociedad en general, fomentando de esta manera el desarrollo de soluciones innovadoras en el ámbito medioambiental.

El programa está liderado y coordinado por la Comisión Europea y cuenta con la colaboración de diversas entidades especializadas en la observación y modelización del medio ambiente. Entre las más destacadas se encuentran la Agencia Espacial Europea (ESA), encargada del desarrollo y operación de los satélites Sentinel, la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), responsable de la recolección de datos meteorológicos, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF), líder en la modelización climática y meteorológica avanzada, y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), que supervisa la calidad de los datos e impulsa su uso en políticas ambientales (Figura 3-1). Este programa pone a disposición una amplia variedad de servicios diseñados para hacer un seguimiento y analizar distintos aspectos del medio ambiente, incluyendo la vigilancia de la calidad del aire, la supervisión de los océanos, el uso del suelo, la detección de cambios en la superficie terrestre, la gestión de emergencias y la seguridad. Entre las aplicaciones de los servicios mencionados destacan: evaluar la evolución de la contaminación, prever fenómenos meteorológicos extremos, analizar el impacto de la actividad humana en los ecosistemas y mejorar la respuesta ante desastres naturales. Sin embargo, en el contexto de este estudio, el servicio más relevante es el de Cambio Climático, ya que proporciona datos esenciales sobre la evolución de las temperaturas a lo largo del tiempo. A través del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), se pueden obtener registros detallados de temperatura, tendencias climáticas y proyecciones futuras basadas en modelos avanzados. Este servicio no solo es esencial para evaluar el impacto del cambio climático a nivel global y regional, sino que también permite desarrollar estrategias de adaptación y mitigación basadas en datos científicos sólidos. [34], [35]

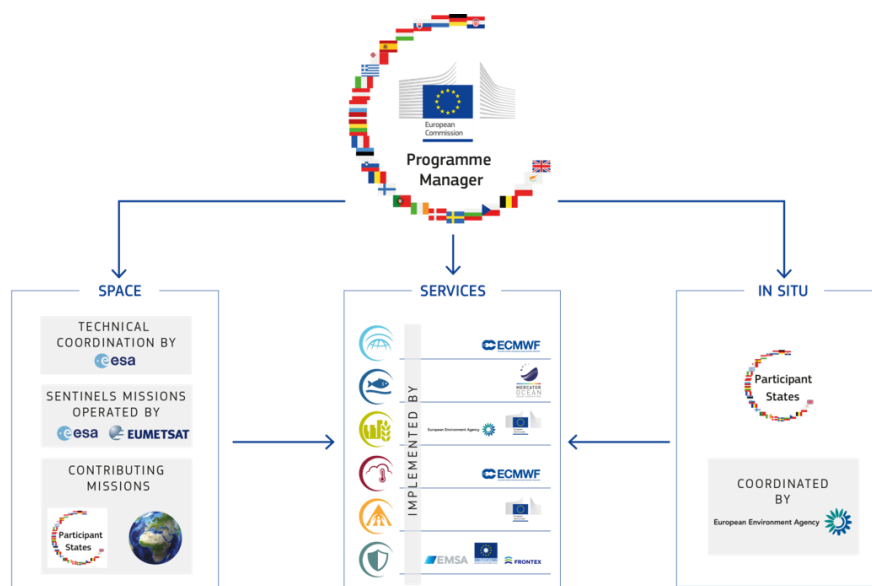


Figura 3-1 Estructura programa Copernicus [36]

Más concretamente, uno de los organismos clave en la implementación de estos servicios es el ECMWF, una organización intergubernamental fundada en 1975 con el propósito de desarrollar y operar modelos numéricos avanzados para la predicción meteorológica. Actualmente, cuenta con 23 Estados miembros y 12 Estados cooperantes, lo que le permite consolidarse como una referencia global en la modelización atmosférica y climática. Su labor dentro del programa Copernicus es realmente importante, ya que no solo gestiona el C3S, sino que también implementa el Servicio de Monitoreo de la Atmósfera de Copernicus (CAMS), ambos de gran relevancia para el estudio del clima y la calidad del aire. El C3S proporciona información fiable y de alta calidad sobre el estado pasado, presente y futuro del clima, permitiendo evaluar tendencias y proyecciones climáticas con rigor científico. Sus datos contribuyen al diseño de políticas de adaptación y mitigación en sectores estratégicos como la gestión del agua, la energía, la agricultura y la planificación urbana. Paralelamente, el CAMS ofrece datos precisos y continuos sobre la composición atmosférica, incluyendo la concentración de gases de efecto invernadero, la calidad del aire y la radiación solar. Este servicio permite monitorear los niveles de contaminación en Europa y en el mundo, facilitando la toma de decisiones en materia de salud pública y regulación medioambiental. Además de estos servicios, el ECMWF colabora en la gestión del Servicio de Emergencias de Copernicus (CEMS), proporcionando herramientas de alerta temprana para eventos meteorológicos extremos como inundaciones e incendios forestales. Su experiencia en la asimilación de datos y modelización climática garantiza que la información que proporciona sea de alta precisión, asegurando su utilidad en el análisis del cambio climático y en la gestión de riesgos medioambientales. [37], [38], [39]

Para este análisis, se emplean dos conjuntos de datos clave proporcionados por el C3S a través de su Climate Data Store: E-OBS y ERA5-Land. Para obtener estos datos ha sido necesario crear una cuenta para acceder a los archivos. La descarga se ha realizado directamente en el servidor, utilizando una clave privada asignada al usuario, y requiere la generación de archivos de configuración específicos. Este procedimiento ha permitido la obtención de registros en formato netCDF4, garantizando una estructura de datos eficiente para el almacenamiento y análisis de información climática multidimensional. Estos productos son fundamentales para la modelización climática, ya que permiten evaluar fenómenos meteorológicos mediante el análisis de series de presión, humedad atmosférica y, en el caso del veranillo de San Miguel, series de temperatura, proporcionando así una base objetiva para estudiar su posible recurrencia y características.

3.1.1 E-OBS

El conjunto de datos E-OBS proporciona información meteorológica diaria en formato de rejilla para Europa, con registros desde 1950 hasta la actualidad. Este sistema se fundamenta en observaciones de estaciones meteorológicas distribuidas por toda Europa. Estas observaciones son recopiladas por el European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), en cooperación con los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (NMHSs) europeos como la Agencia Española de Meteorología (AEMET). Su desarrollo se inició en 2008 como parte del proyecto ENSEMBLES de la Unión Europea, consolidándose como una herramienta clave para la validación de modelos climáticos y el análisis de eventos extremos. Los datos de E-OBS no provienen directamente de estaciones meteorológicas individuales, sino que son estimados a partir de ellas. Para ello, se usa un método matemático llamado interpolación espacial, que permite calcular valores en puntos intermedios donde no hay mediciones directas. En el caso particular de E-OBS, se emplea una técnica específica llamada kriging, una técnica avanzada de interpolación ampliamente utilizada en climatología que no solo promedia los valores cercanos, sino que también tiene en cuenta la distancia y la relación estadística entre las mediciones. El kriging utiliza la información de estaciones cercanas para estimar valores en una malla uniforme de datos climáticos. De esta manera, se obtiene un conjunto de datos continuo en toda Europa, incluso en regiones donde hay pocas estaciones meteorológicas. E-OBS almacena sus datos en formato NetCDF-4. Este formato permite la organización eficiente de datos multidimensionales, optimizando el almacenamiento y el acceso a registros de variables meteorológicas como temperatura máxima, mínima y media diaria, precipitación acumulada, humedad relativa y presión a nivel del mar. Los datos de E-OBS se organizan en una estructura tridimensional definida por latitud, longitud y tiempo, que se ha utilizado con una resolución espacial de 0.1° , lo que equivale aproximadamente a 10 km en las latitudes donde se encuentra la región de estudio. En este estudio, se ha trabajado con la variable temperatura media diaria (tg), expresada en grados Celsius para analizar el periodo comprendido entre el año 1980 y el año 2024. [40]

3.1.2 ERA5-Land

El conjunto de datos ERA5-Land es un producto de reanálisis que ofrece información detallada sobre variables terrestres con alta resolución espacial y temporal. Desarrollado por el ECMWF, ERA5-Land se obtiene mediante la ejecución del modelo de superficie terrestre de ERA5, utilizando datos atmosféricos como forzamiento. A diferencia de E-OBS, que se basa en mediciones reales de estaciones meteorológicas, ERA5-Land no usa observaciones directas en cada punto. En su lugar, emplea un modelo físico que combina información de satélites y otras observaciones remotas con modelos numéricos de predicción meteorológica⁶ a efectos de obtener un conjunto de datos coherente, continuo y físicamente consistente. Gracias a este modelo matemático que simula el comportamiento del clima, se pueden estimar variables como la temperatura, incluso en lugares donde no hay estaciones meteorológicas. Los archivos de ERA5-Land se almacenan en formato NetCDF y GRID, ofreciendo una resolución espacial de 0.1° (aproximadamente 10 km) y cobertura temporal desde enero de 1950 hasta el presente. Las variables contenidas incluyen temperatura y humedad del suelo, contenido de agua en la nieve, flujo de calor latente y sensible, y componentes del viento a 10 metros. En este caso, se ha trabajado con la variable temperatura del aire a 2 metros (t2m), cuyo valor se encuentra expresado en Kelvin. El periodo que se ha analizado para este tipo de datos comprende desde el año 1979 hasta el 2024. A diferencia de E-OBS, que proporciona datos diarios, ERA5-Land registra la temperatura en intervalos temporales de una hora, lo que permite un análisis más detallado de la variabilidad térmica diaria. Sin embargo, en este estudio, los datos se han trabajado con un intervalo de 6 horas, obteniendo cuatro registros por día. [41]

⁶ Modelos numéricos de predicción meteorológica: ecuaciones matemáticas que describen la evolución de la atmósfera basadas en las leyes físicas del movimiento, la energía y la conservación de la masa.

Características	E-OBS	ERA5-Land
Fuente	ECA&D / Copernicus	ECMWF / Copernicus
Resolución espacial	0.1°	0.1°
Resolución temporal	Diaria	Cada 6 horas
Variable estudiada	Temperatura media diaria (tg)	Temperatura del aire a 2 metros (t2m)
Franja temporal estudiada	1980 - 2024	1979 - 2024
Formato	NetCDF-4	NetCDF (GRID)

Tabla 1 Principales características datos (Elaboración propia)

3.2 Herramientas matemáticas

El procesamiento de los datos ha requerido la aplicación de diversas técnicas para garantizar su correcta adaptación al análisis planteado. Dado que las bases de datos utilizadas presentan diferencias en su estructura y resolución temporal, ha sido necesario realizar ajustes que faciliten su comparación e interpretación dentro de un marco analítico común. Entre estos ajustes destacan la conversión de unidades, la estandarización de formatos y frecuencias temporales, y la interpolación de valores para homogeneizar los datos, asegurando así su coherencia y calidad. El análisis se ha basado específicamente en la generación de series temporales de temperatura, herramienta utilizada para examinar la evolución térmica de la región de estudio a lo largo de los años. Estas series permiten identificar patrones de variabilidad climática, analizar tendencias a largo plazo y detectar posibles cambios térmicos. En este estudio, además, se ha puesto especial atención en la identificación de anomalías de temperatura relacionadas con el supuesto "veranillo de San Miguel", con el fin de determinar si este fenómeno tiene una base climatológica verificable, evaluar su recurrencia histórica y examinar posibles cambios en su intensidad o frecuencia. De este modo, se ha logrado estructurar los datos adecuadamente, posibilitando responder con claridad a las preguntas de investigación planteadas y extraer conclusiones relevantes sobre la evolución térmica en la Península.



Figura 3-2 División Península Ibérica (Elaboración propia)

Para poder estructurar el análisis espacial de manera ordenada y tras haber analizado los datos de la Península Ibérica en su conjunto, se ha generado un mapa (Figura 3-2) que divide el territorio en cuatro grandes regiones: noroeste (NW), noreste (NE), suroeste (SW) y sureste (SE). Cada una de estas regiones será estudiada individualmente con el objetivo específico de determinar si el supuesto fenómeno climático conocido como "veranillo de San Miguel" se manifiesta con mayor claridad o frecuencia en alguna de ellas en particular. Es importante señalar que el dicho fenómeno no ocurre siempre con la

misma intensidad cada año ni se manifiesta de forma homogénea en toda la península. Existen áreas específicas donde este fenómeno suele apreciarse con mayor claridad debido al contraste marcado entre días frescos precedentes y una posterior recuperación notable de las temperaturas hacia condiciones más suaves y agradables. Algunas de estas áreas incluyen tradicionalmente zonas interiores como la Meseta, Extremadura, Andalucía occidental, ciertas partes del valle del Ebro y algunos sectores del litoral mediterráneo. Sin embargo, dada la naturaleza variable y dependiente de las configuraciones atmosféricas de cada año, el veranillo de San Miguel no puede considerarse un fenómeno fijo ni uniforme. Por ello, es necesario examinar cada región de la Península Ibérica, manteniendo una atención especial hacia cualquier evidencia estadística que apoye su existencia en áreas particulares más allá de aquellas tradicionalmente reconocidas.

3.2.1 Series temporales integradas temporal y espacialmente

Uno de los principales objetivos del presente estudio es analizar la evolución de la temperatura en la región de interés a lo largo de las últimas décadas. Con este propósito, se han generado series temporales agregadas, en las cuales se ha llevado a cabo un proceso de integración temporal y espacial de los datos. Dado que ERA5-Land proporciona datos con un intervalo temporal de 6 horas, ha sido necesario aplicar un procedimiento de transformación para obtener valores diarios que permitan su comparación con E-OBS. Para ello, se ha calculado la media diaria de la variable t2m (temperatura a 2 metros), garantizando así que ambos conjuntos de datos presenten una periodicidad equivalente y puedan ser analizados en conjunto de manera coherente. Posteriormente, se ha realizado una integración temporal, obteniendo una climatología media diaria basada en los datos de todas las décadas consideradas en el estudio. Este proceso ha permitido calcular, para cada día del año, un valor representativo de temperatura basado en el promedio de las mediciones registradas en el mismo día en distintos años.

Una vez asegurada la coherencia temporal entre los conjuntos de datos, se ha llevado a cabo un proceso de agregación espacial con el objetivo de obtener una visión general de la evolución térmica en la región de estudio. Para ello, se ha calculado la media regional de temperatura, lo que ha permitido representar la variabilidad térmica anual de la región en su conjunto en lugar de analizar puntos individuales de la malla de datos. De este modo, se ha obtenido una serie temporal representativa del ciclo anual de temperaturas medias en la Península Ibérica, a la que se hace referencia como año tipo. Esta serie sintetiza la variabilidad interanual y proporciona una base sólida para el análisis de tendencias climáticas a largo plazo.

Partiendo de las series temporales generadas, se ha procedido a su representación gráfica con el fin de analizar la evolución anual de la temperatura y detectar posibles anomalías térmicas. La visualización de estas curvas permite evaluar si existen repuntes de temperatura atípicos, es decir, incrementos que no sigan la tendencia climática esperada para un periodo determinado. Para ello, se han representado los ciclos anuales de temperatura media integrados para toda la Península Ibérica, utilizando datos de E-OBS y ERA5-Land en el periodo 1979-2024 (Figura 3-3). Estas gráficas muestran la evolución de la temperatura media diaria a lo largo del año, reflejando la estructura climática estacional habitual. A partir de estas representaciones, el análisis se ha centrado en el periodo correspondiente a la estación de otoño, con especial atención a la franja temporal cercana al día de San Miguel (29 de septiembre). El objetivo de este enfoque es detectar un repunte térmico que no siga la tendencia descendente característica de esta época del año, lo que permitiría evaluar la posible existencia de un fenómeno recurrente, conocido popularmente como el veranillo de San Miguel.

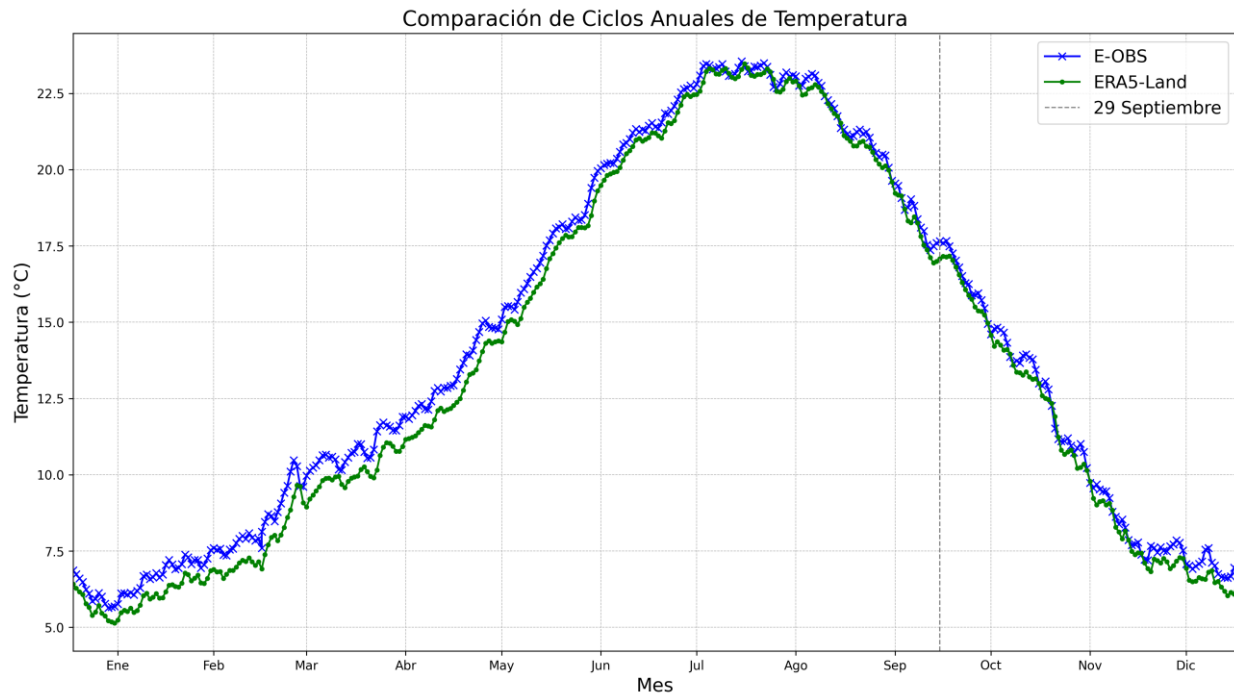


Figura 3-3 Ciclo anual de temperatura en la Península Ibérica (Elaboración propia)

Asimismo, se ha aplicado un ajuste gaussiano sobre el ciclo anual de temperatura media con el fin de modelar la distribución térmica anual y evaluar su comportamiento de manera más precisa. Este tipo de ajuste resulta útil cuando los datos siguen una distribución unimodal y simétrica, como ocurre en fenómenos cíclicos como el comportamiento anual de la temperatura. Este ajuste permite obtener una representación matemática de la variabilidad térmica a lo largo del año, proporcionando una curva gaussiana que refleja la evolución esperada de la temperatura en función del tiempo. Mediante este procedimiento, es posible identificar con mayor precisión posibles desviaciones respecto al comportamiento térmico esperado, facilitando la detección de anomalías en periodos específicos. La función ajustada adopta la forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- $f(x)$: temperatura ajustada en función del tiempo.
- μ : día del año donde se alcanza la temperatura máxima.
- σ : desviación estándar, que representa el ancho de la curva.

En particular, se ha centrado la atención en la principal franja temporal de estudio, evaluando si las temperaturas registradas a finales de septiembre presentan un repunte inusual que se desvíe de la tendencia descendente característica del inicio del otoño. Dado que este modelo se fundamenta en una función matemática cuya formulación se incluye en este documento, se proporciona además la descripción detallada de los parámetros de la ecuación (Figura 3-4), los cuales permiten interpretar la forma de la curva y su relación con los datos observados. La comparación entre el ajuste teórico y las temperaturas reales facilita el análisis de posibles eventos atípicos, contribuyendo a la exploración de la existencia de un patrón recurrente dentro del periodo analizado.

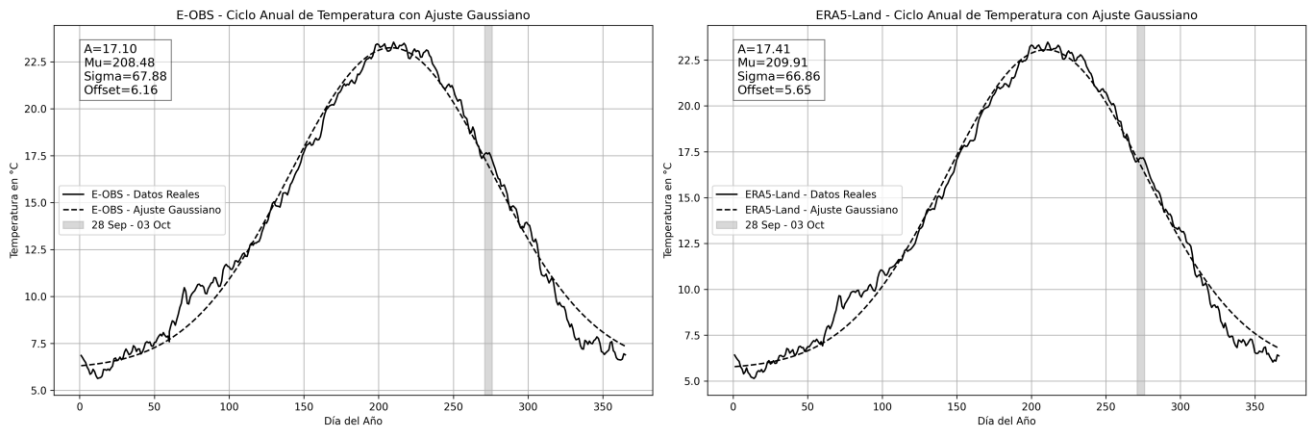


Figura 3-4 Ajuste Gaussiano para Año Tipo (Elaboración propia)

Paralelamente, se ha generado un conjunto de series temporales sin integración espacial, lo que ha permitido conservar las dimensiones espaciales de los datos para tenerlos referenciados geográficamente. De este modo, los valores de temperatura mantienen la información en su distribución original de latitud y longitud, asegurando la correcta representación de la distribución térmica peninsular. Esta metodología ha resultado muy útil para la elaboración de mapas de temperatura, mediante los cuales se ha analizado cómo ha cambiado la distribución térmica a lo largo del tiempo en distintas zonas de la región. Los mapas obtenidos a partir de este procedimiento se presentarán en el apartado de Resultados / Validación. Cabe destacar que, dichos mapas, han sido esenciales para visualizar la evolución de la temperatura en diferentes ubicaciones, detectar anomalías térmicas y extraer unas primeras conclusiones sobre la posible existencia del supuesto veranillo de San Miguel. Algunas de las distintas representaciones cartográficas que se han generado son mapas de la temperatura media en la Península Ibérica, así como una secuencia de mapas diferenciales en los que se analiza la variación diaria de la temperatura con respecto al día anterior, abarcando el período comprendido entre el 20 de septiembre y el 15 de abril. El análisis de diferencias de temperatura entre días consecutivos permite identificar patrones de variabilidad térmica, facilitando la detección de transiciones estacionales, anomalías térmicas y episodios de calentamiento repentino.

3.2.2 Técnicas estadísticas

Las gráficas y representaciones previas han sido generadas y estudiadas con el objetivo de observar si el fenómeno del veranillo de San Miguel existe. Para ello se ha analizado en profundidad la variable de la temperatura en la Península con el fin de verificar la presencia de dicha anomalía térmica. Pero, para poder llegar a estas conclusiones, es necesario aplicar una serie de técnicas estadísticas que sustenten la rigurosidad de los resultados.

La inferencia estadística comprende un conjunto de técnicas cuyo objetivo es obtener conclusiones generales acerca de características poblacionales a partir del análisis de datos muestrales, utilizando métodos probabilísticos. En este contexto, la población se define como el conjunto homogéneo de individuos, elementos o unidades estadísticas cuyas características se desean estudiar. Normalmente, el estudio exhaustivo de una población resulta inviable debido a limitaciones operativas o económicas del estudio; por ello, se selecciona una muestra representativa mediante técnicas como el muestreo aleatorio simple, garantizando así que todas las unidades poblacionales tengan la misma probabilidad de ser elegidas y que las observaciones sean independientes e idénticamente distribuidas. La inferencia estadística se apoya fundamentalmente en procedimientos como la estimación puntual, la construcción de intervalos de confianza y los contrastes de hipótesis.

En particular, un contraste de hipótesis permite juzgar si una característica supuesta para una población, establecida mediante una hipótesis nula (H_0), resulta compatible con la información proporcionada por la muestra, en contraposición con una hipótesis alternativa (H_1). Para llevar a cabo un contraste de hipótesis se define una región crítica, que es el conjunto de valores que llevan al rechazo

de la H_0 en el caso de que los resultados muestrales se sitúen en dicha región. En este proceso se consideran dos tipos de errores posibles: error tipo I, consistente en rechazar incorrectamente H_0 cuando esta es cierta; y error tipo II, aceptar incorrectamente la H_0 cuando es falsa. La probabilidad de cometer un error de tipo I determina el nivel de significación (α) del contraste de hipótesis, que habitualmente se fija en 0,05. Este y otros niveles de significación bajos (0,01 o 0,001) se utilizan para garantizar que sólo se rechaza incorrectamente la H_0 en un muy bajo porcentaje de ocasiones. Dentro del marco general, teniendo en cuenta el tipo de datos y la estructura de análisis, se plantea un estadístico de contraste bajo la H_0 , con una distribución de probabilidad conocida. Este estadístico será la base para decidir si mantienes o rechazas la hipótesis inicial planteada. Dependiendo del objetivo del análisis, la prueba puede plantearse como unilateral o bilateral:

- Prueba bilateral (prueba de dos colas): Se utiliza cuando hay una diferencia significativa en cualquier dirección (mayor o menor) entre un parámetro poblacional μ y un valor específico μ_0 , o entre dos grupos. Las hipótesis se plantearían de la siguiente manera: $H_0: \mu = \mu_0$, $H_1: \mu \neq \mu_0$.
- Prueba unilateral (prueba de una cola): Se emplea cuando estamos interesados en detectar diferencias en una sola dirección, ya sea mayor o menor que un valor específico.
Para probar si $\mu > \mu_0$: $H_0: \mu \leq \mu_0$; $H_1: \mu > \mu_0$.
Para probar si $\mu < \mu_0$: $H_0: \mu \geq \mu_0$; $H_1: \mu < \mu_0$.

La elección entre prueba unilateral o bilateral depende del contexto específico del problema y de la hipótesis de investigación planteada previamente. [42], [43], [44]

3.2.3 Prueba t

La prueba t para datos apareados (también llamada prueba t de muestras dependientes) es un método estadístico inferencial que verifica si los valores medios de dos mediciones relacionadas difieren significativamente. Este contraste se aplica cuando cada observación en un grupo tiene correlación natural en el otro grupo, como ocurre en diseños antes-después o en estudios con sujetos emparejados. En lugar de comparar directamente las medidas de dos muestras independientes, la prueba t apareada analiza la diferencia dentro de cada par de observaciones. Sea $D_i = X_i - Y_i$ la diferencia entre las dos mediciones del par i (como $i = 1, 2, \dots, n$ con $n =$ tamaño de la muestra). Bajo el modelo nulo típico de igualdad de medias, la media poblacional de las diferencias es cero ($\mu_D = 0$, equivalente a $\mu_1 = \mu_2$). En estas condiciones, las diferencias muestrales $D_1, D_2, \dots, D_n$ pueden ser consideradas como una muestra aleatoria de una distribución aproximadamente normal con media μ_D y varianza σ_D^2 gracias al Teorema Central del Límite⁷. Por lo tanto, cualquier hipótesis sobre $\mu_1 - \mu_2$ puede reformularse como una hipótesis sobre μ_D :

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0 \leftrightarrow H_0: \mu_D = \Delta_0$$

Esta hipótesis se contrasta mediante una prueba t para una muestra aplicada al conjunto de diferencias $D_i = X_i - Y_i$. En particular, el estadístico de prueba t se expresa matemáticamente como:

$$t = \frac{\bar{d} - \Delta_0}{S_D / \sqrt{n}}$$

- $\bar{d}$: media de las diferencias observadas D_i .
- S_D : desviación estándar muestral de las diferencias.
- n : tamaño de la muestra (número de pares).
- Δ_0 : valor hipotético contra el que se compara la diferencia media observada (normalmente $\Delta_0 = 0$).

⁷ Teorema Central del Límite: establece que, dada una muestra suficientemente grande de una población con cualquier distribución, la distribución de la media muestral se aproxima a una distribución normal, independientemente de la distribución original.

Este estadístico t sigue, bajo H_0 , una distribución t de Student con $n - 1$ grados de libertad. El valor que se obtiene del estadístico de contraste t y su correspondiente valor p se utiliza para entender los resultados. El estadístico t indica cuántos errores estándar separan la diferencia media observada de la diferencia esperada según la H_0 . Valores cercanos a cero indican que no hay diferencias relevantes entre grupos, mientras que valores alejados de cero sugieren diferencias importantes. El signo del valor de t muestra la dirección del efecto: si es positivo, la primera medición es mayor en promedio; si es negativo, ocurre lo contrario. Para evaluar la significancia estadística de este valor se utiliza el valor p asociado. El valor p representa la probabilidad de observar un estadístico igual o más extremo que el obtenido, asumiendo que la hipótesis nula es verdadera. Este valor se compara con el nivel de significancia α establecido anteriormente. Si el valor p calculado es menor o igual que α , se rechaza H_0 , concluyendo que la diferencia entre las medias poblacionales es estadísticamente significativa. En cambio, un valor p mayor que α implica que no se posee evidencia suficiente para rechazar la H_0 . Por ejemplo, un valor p muy bajo indica que las diferencias observadas serían muy improbables de darse si en realidad $\mu_D = 0$, lo que lleva a pensar que existe una diferencia real (más allá del azar) entre las medias de las dos condiciones. Por el contrario, un p elevado sugiere que las discrepancias encontradas podrían explicarse por la variabilidad muestral aleatoria, careciendo de significación estadística. [45]

En resumen:

- si $p < \alpha$ se asume una diferencia significativa entre las medias poblacionales contrastadas.
- si $p \geq \alpha$ se asume que no hay una diferencia significativa como para rechazar la H_0 .

En el presente estudio se ha decidido utilizar la prueba estadística t para muestras apareadas, con el fin de evaluar la existencia del fenómeno climático conocido como "veranillo de San Miguel". Concretamente, se han llevado a cabo tres pruebas t que permiten comparar tres conjuntos específicos de datos apareados entre sí. Estos conjuntos se definen como: $D_i = T_i - T_{i-1}$, para $i = 2, 3, \dots, n$. D_i representa la diferencia de temperatura en el día i , T_i es la temperatura media diaria en el día i y T_{i-1} es la temperatura media diaria en el día $i - 1$. El conjunto de datos resultante $\{D_2, D_3, \dots, D_n\}$ permite analizar la tendencia térmica durante los periodos evaluados identificando aumentos ($D_i > 0$) o descensos ($D_i < 0$) en las temperaturas. El promedio de estas diferencias se expresa como:

$$\bar{D} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n D_i$$

El uso de promedios como muestras de datos garantiza el cumplimiento del requisito de normalidad necesario para la aplicación de la prueba t , dado que la distribución de las medias de diferencias tiende a ajustarse a una distribución normal por efecto del Teorema Central del Límite como se ha mencionado anteriormente. Para obtener estos promedios, se ha procedido primero a seleccionar tres franjas temporales claramente definidas. Dichas franjas corresponden a las fechas del 20 al 26 de septiembre (Semana 1), del 27 de septiembre al 3 de octubre (Semana 2) y del 4 al 10 de octubre (Semana 3). El supuesto veranillo de San Miguel estaría encuadrado dentro de la Semana 2, por lo que el objetivo central de las pruebas estadísticas es determinar si la Semana 2 presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto a las Semanas 1 y 3. Además, para argumentar que el fenómeno del veranillo es real y no producto de la variabilidad natural propia del sistema climático, se requiere también demostrar que las Semanas 1 y 3 no presentan diferencias significativas entre ellas. Esto implica que, al comparar estadísticamente estas dos semanas, se debería obtener un valor p suficientemente elevado, reforzando así la hipótesis de que cualquier variación observada durante la Semana 2 es atribuible al fenómeno analizado.

Cabe resaltar que se han obtenido dichas medias para cada uno de los 45 años analizados (que abarcan el periodo comprendido entre 1979 y 2024), así como un valor p específico para cada uno de los puntos de la malla (GRID Points) que cubre la Península Ibérica tras realizar las pruebas estadísticas. Estos valores han sido almacenados en un archivo organizado por coordenadas geográficas, indicando la latitud y longitud de referencia de cada punto, lo que facilita posteriormente la elaboración de

representaciones gráficas precisas. El procedimiento descrito se ha aplicado de manera sistemática en cada uno de los GRID Points, ejecutándose las tres pruebas t para cada localización. Esto tiene como finalidad última generar mapas representativos de la Península Ibérica, en los cuales se pueda identificar con claridad aquellas regiones que muestren una evidencia sólida de la presencia del veranillo de San Miguel. De este modo, es posible distinguir entre áreas donde la evidencia estadística del fenómeno sea sustancial y áreas donde dicha evidencia sea escasa o atribuible a variaciones aleatorias del clima.

Las hipótesis que han guiado estas pruebas estadísticas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los promedios de las diferencias de temperatura en los períodos comparados son iguales; es decir, no existen diferencias significativas entre las muestras analizadas.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los promedios de las diferencias de temperatura en los períodos comparados son diferentes, indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Estas hipótesis han sido evaluadas sucesivamente mediante la comparación de la Semana 2 frente a la Semana 1, la Semana 2 frente a la Semana 3 y, finalmente, la Semana 1 frente a la Semana 3, asegurando así un análisis exhaustivo y riguroso de la posible existencia del veranillo de San Miguel.

Por último, se han elaborado una serie de gráficas auxiliares, que sirven para respaldar o cuestionar las conclusiones derivadas del análisis espacial de los valores p . Entre estas gráficas adicionales se incluyen representaciones de los ciclos anuales de temperatura en aquellos puntos que presenten los niveles de significación más relevantes, así como representaciones anuales de los valores medios de las diferencias diarias de temperatura (día actual respecto al día anterior) para esos mismos puntos.

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN

4.1 Evidencias visuales

A continuación, se presentan una serie de gráficos y mapas que se han ido elaborados a lo largo del desarrollo de este análisis. Dichas representaciones han sido una herramienta esencial para la exploración, interpretación y comprensión de los datos recopilados. A través de su interpretación, ha sido posible obtener unas primeras observaciones fundamentadas con las que construir unas conclusiones preliminares.

4.1.1 *Ciclo anual de temperatura*

Como se observa en la representación gráfica del ciclo anual de temperaturas para ambas bases de datos (Figura 4-1), existen periodos temporales a lo largo del año en los que se produce un repunte puntual de las temperaturas. Centrándonos en la festividad de San Miguel (29 de septiembre), se aprecia claramente un aumento de la temperatura en los días cercanos a esta fecha respecto a las semanas adyacentes. Este incremento destaca por tener una tendencia positiva inusual para esta época del año, en la cual normalmente prevalece un descenso gradual de temperatura, señalando así la posibilidad de una anomalía térmica asociada tradicionalmente a dicha festividad. Sin embargo, al analizar el ciclo anual completo, dicho aumento no resulta especialmente significativo en comparación con otros períodos del año. De hecho, pueden identificarse repuntes similares en diferentes momentos del año, algunos incluso más pronunciados y prolongados que la propia señal que estamos analizando. Pese a ello cabe señalar un repunte aproximado de $0,5^{\circ}\text{C}$ durante el período analizado, que podría representar la presencia del fenómeno conocido como el veranillo de San Miguel. Sin embargo, surge inevitablemente la cuestión de si este repunte térmico cumple realmente con las características mínimas requeridas en cuanto a duración e intensidad para poder ser considerado un veranillo auténtico desde un punto de vista riguroso. Con el objetivo de abordar esta cuestión se han elaborado gráficas para profundizar en el análisis de esta anomalía.

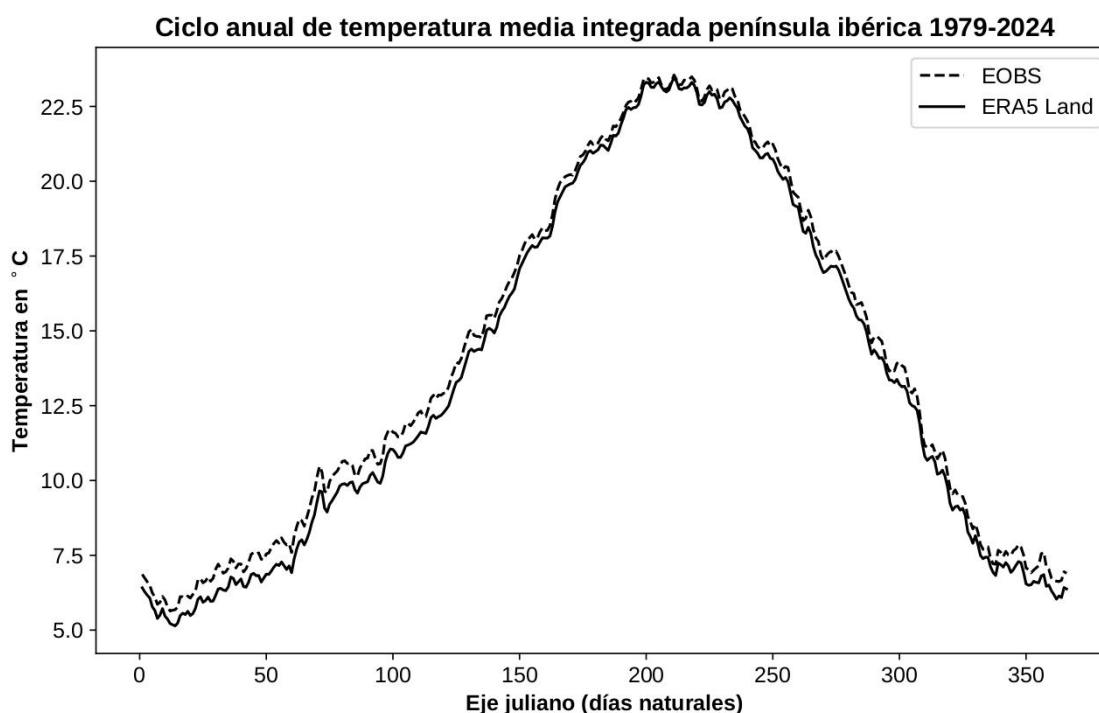


Figura 4-1 Ciclo anual de temperatura en la Península Ibérica (Elaboración propia)

Graficando este ciclo anual de temperaturas de manera individual para cada una de las regiones en las que hemos dividido la Península Ibérica (Figura 3-2) se pretende determinar si este repunte se manifiesta con la misma intensidad en las distintas áreas de estudio. Observando la Figura 4-2 y la Figura 4-3, resulta evidente que esta anomalía térmica presenta diferencias en cuanto a su intensidad en las distintas partes del territorio. Concretamente, el repunte térmico es más marcado y perceptible en las regiones del norte y la costa mediterránea, mientras que, en el litoral atlántico, incluyendo Portugal, el fenómeno es menos intenso. De acuerdo a las gráficas, el cuadrante donde este aumento es más significativo es el NW, observándose incrementos en torno a 1° C durante el período analizado (28 de septiembre al 3 de octubre). Además, se confirma que las temperaturas promedio en las regiones del norte son inferiores en comparación con las del sur, lo que refleja las variaciones climáticas latitudinales típicas de la Península Ibérica.

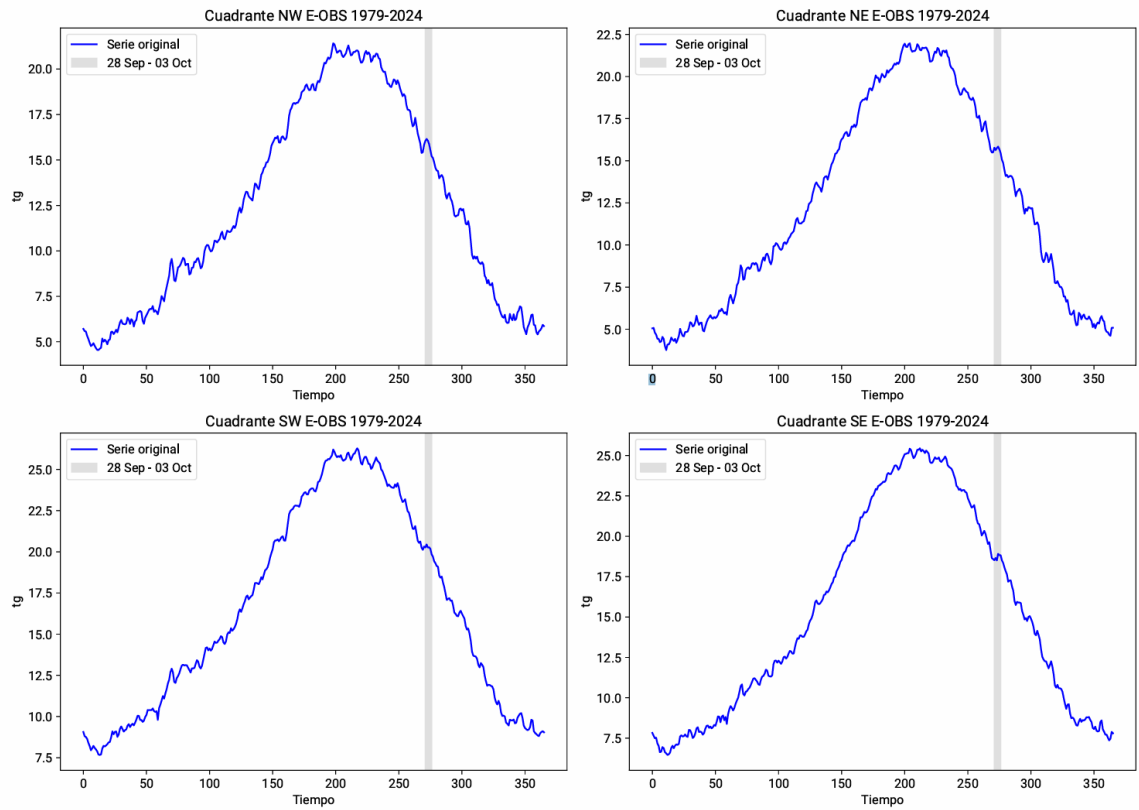


Figura 4-2 Ciclo anual de temperaturas 4 regiones para E-OBS (Elaboración propia)

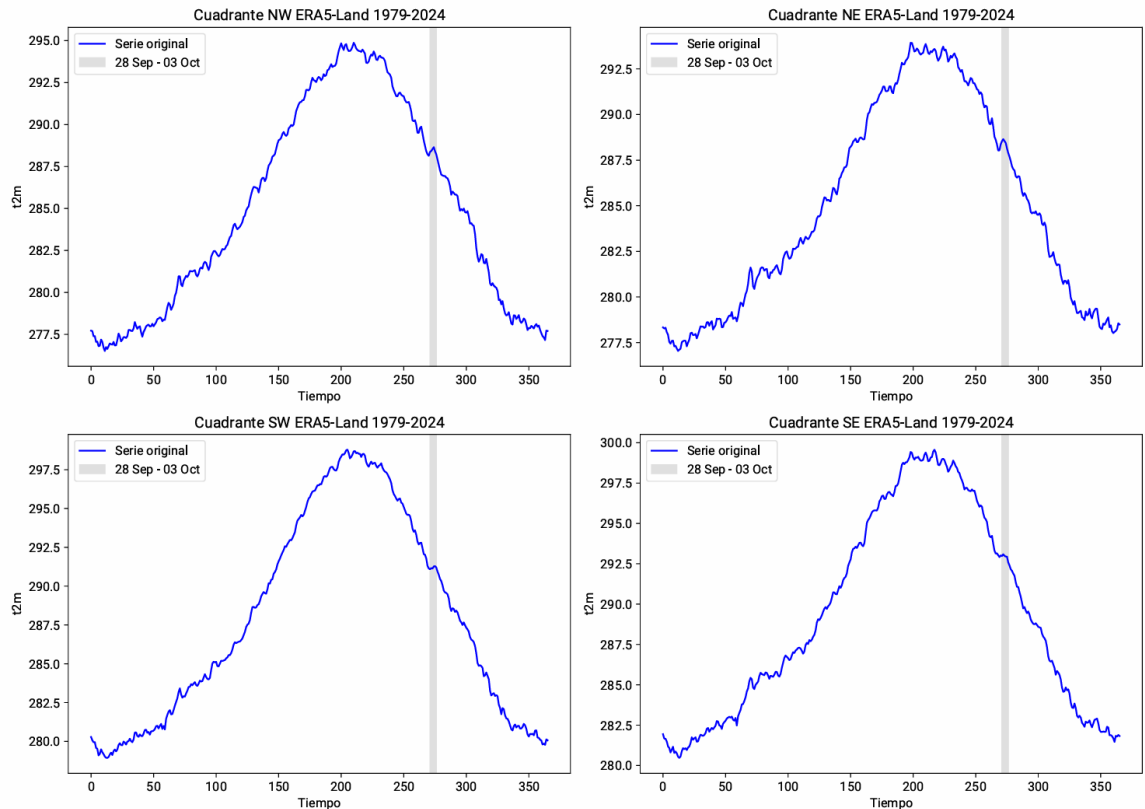


Figura 4-3 Ciclo anual de temperaturas 4 regiones para ERA5-Land (Elaboración propia)

Para poder estimar si este repunte es significativo o si se aparta del comportamiento típico esperado en el ciclo anual de temperaturas del territorio se ha calculado un ajuste gaussiano para cada una de nuestras curvas (Figura 4-4 y Figura 4-5). En estas representaciones podemos observar claramente que el repunte observado constituye una anomalía térmica, un evento puntual que no sigue la tendencia general esperada en esa época del año. Sin embargo, cabe señalar que el ajuste gaussiano también permite detectar variaciones regionales en términos del momento del año en el que se produce la temperatura máxima promedio (parámetro μ), así como la duración y amplitud del periodo cálido anual (parámetros σ y $A = 1/(\sigma\sqrt{2\pi})$). Estos parámetros aportan información adicional que no se observa directamente en las series originales, lo que contribuye a ubicar mejor la anomalía en relación con el ciclo térmico habitual del territorio. Adicionalmente, al comparar los ajustes gaussianos obtenidos a partir de diferentes bases de datos (E-OBS y ERA5-Land), observamos una notable coherencia entre ambas en cuanto a la forma general de las curvas y el valor aproximado de los parámetros del ajuste. Esta semejanza refuerza la fiabilidad de los resultados y sugiere que el comportamiento térmico descrito es sólido independientemente de la fuente de datos utilizada.

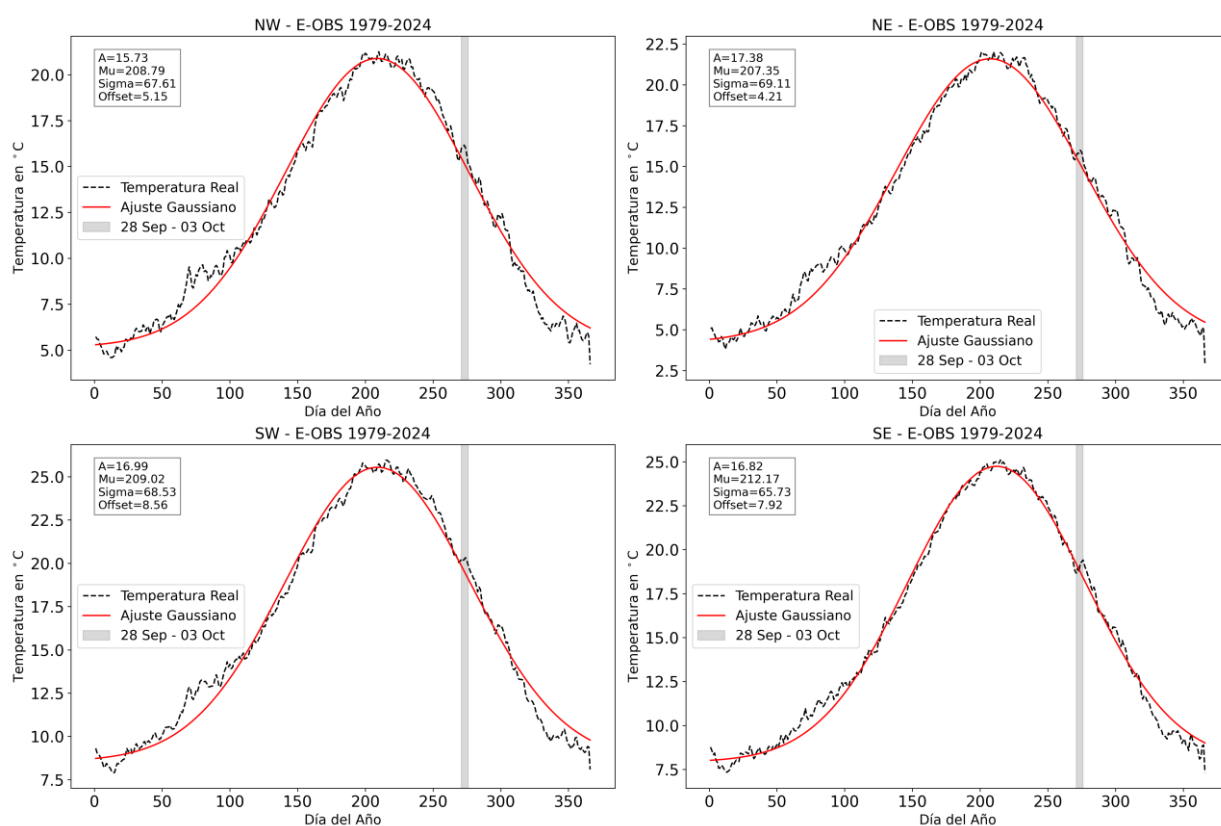


Figura 4-4 Ajuste Gaussiano E-OBS (Elaboración propia)

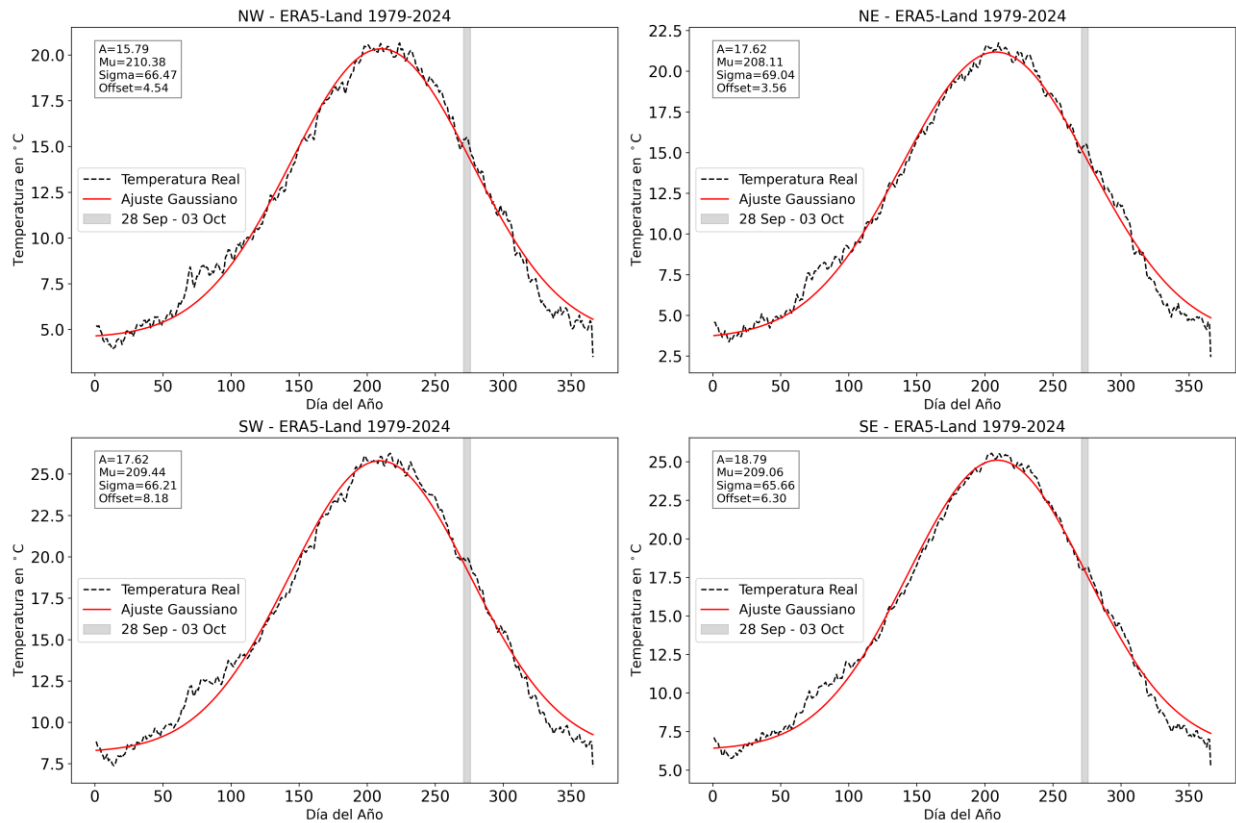


Figura 4-5 Ajuste Gaussiano ERA5-Land (Elaboración propia)

4.1.2 Mapas de diferencias de temperatura

Continuando con el análisis gráfico, se han generado mapas que representan las diferencias de temperatura de cada día con respecto al anterior para toda la Península Ibérica. Estos mapas ofrecen una visualización precisa de la tendencia térmica diaria, así como la variabilidad térmica existente entre las distintas regiones. Aunque la tendencia diaria no es uniforme ni presenta un mismo signo durante todo el periodo, destaca especialmente el aumento generalizado de temperaturas observado en los días 29 y 30 de septiembre. Este incremento oscila entre los 0.5° Celsius hasta los 1.25° Celsius, valor calculado mediante el cómputo conjunto de las diferencias diarias individuales observadas en algunas regiones específicas durante ambos días. Analizando detalladamente las representaciones cartográficas podemos deducir que las zonas con mayor intensidad en este aumento térmico son el valle del Ebro y amplias áreas del interior peninsular, como la Meseta Central y Castilla y León. También se observa claramente una transición térmica marcada, con un predominio inicial de anomalías negativas (descenso de temperaturas) hacia anomalías positivas (aumento térmico), siendo la tendencia positiva especialmente marcada entre los días 28 y 29 de septiembre.

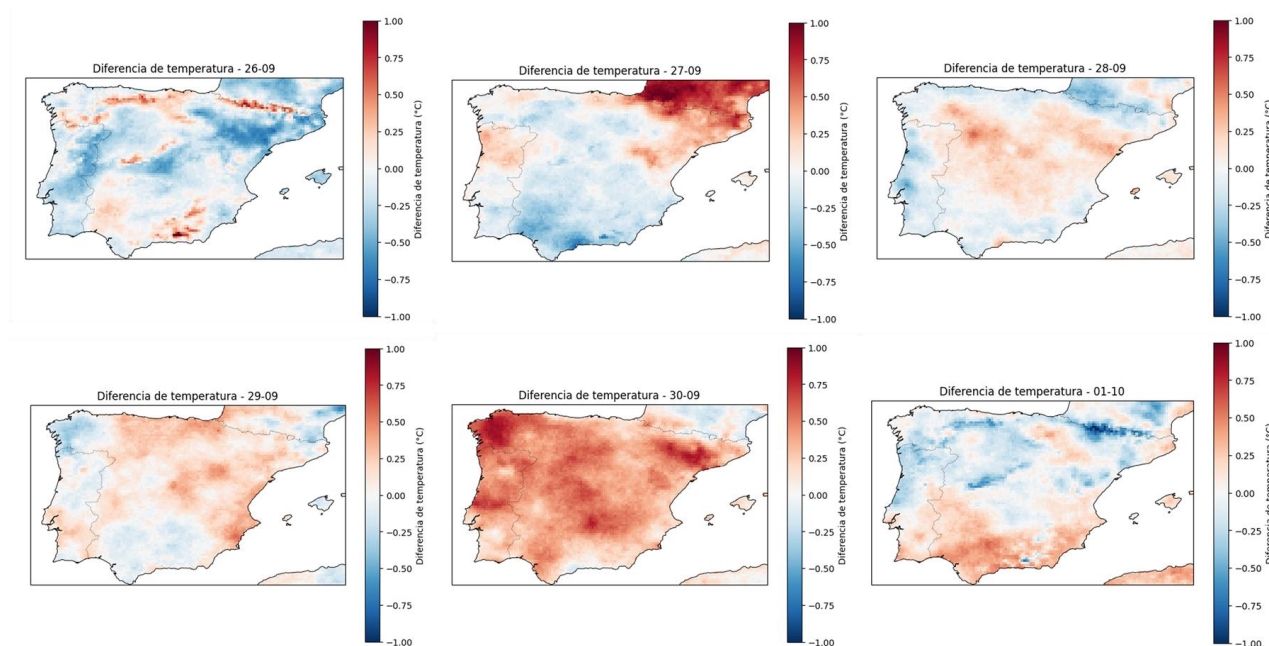


Figura 4-6 Diferencias de temperaturas E-OBS (Elaboración propia)

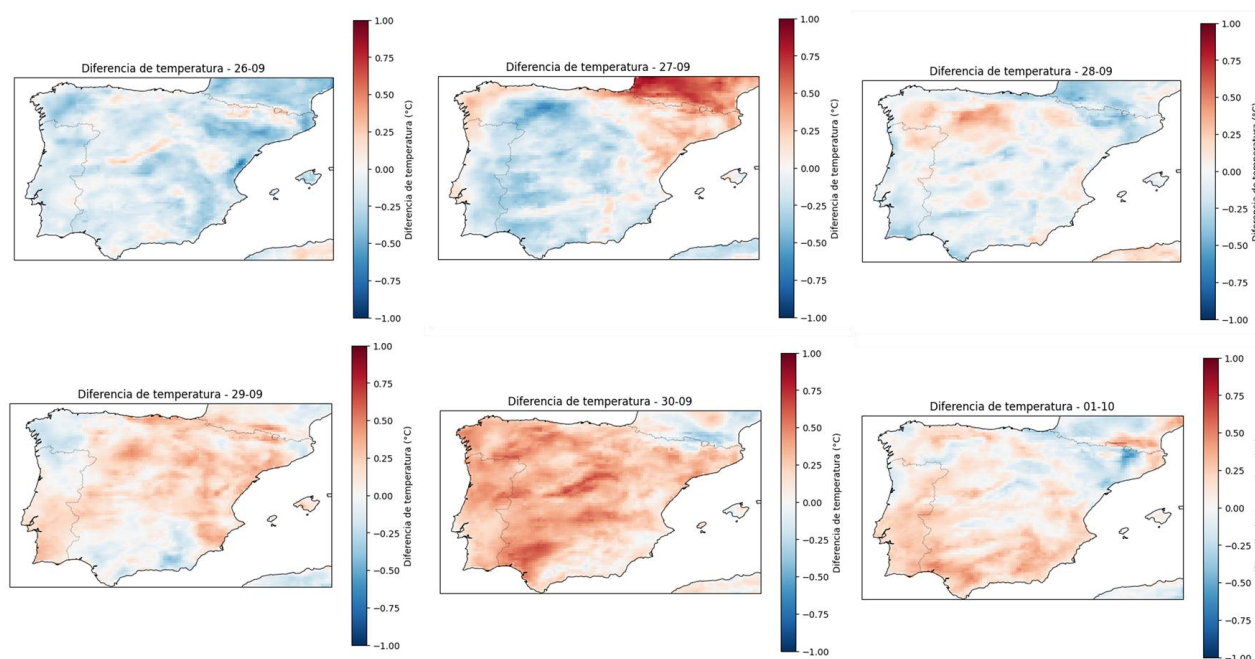


Figura 4-7 Diferencias de temperaturas ERA5-Land (Elaboración propia)

4.2 Resultados estadísticos

Con el propósito de interpretar de manera rigurosa los resultados obtenidos a partir de las pruebas estadísticas (pruebas t) realizadas, se presentan a continuación la representación gráfica de dichos resultados. Dichas representaciones han sido graficadas a partir de los niveles de significación obtenidos de los resultados de los test para cada uno de los GRID Points. Además, resultan indispensables como elemento interpretativo, aportando claridad y facilitando la identificación de fenómenos térmicos.

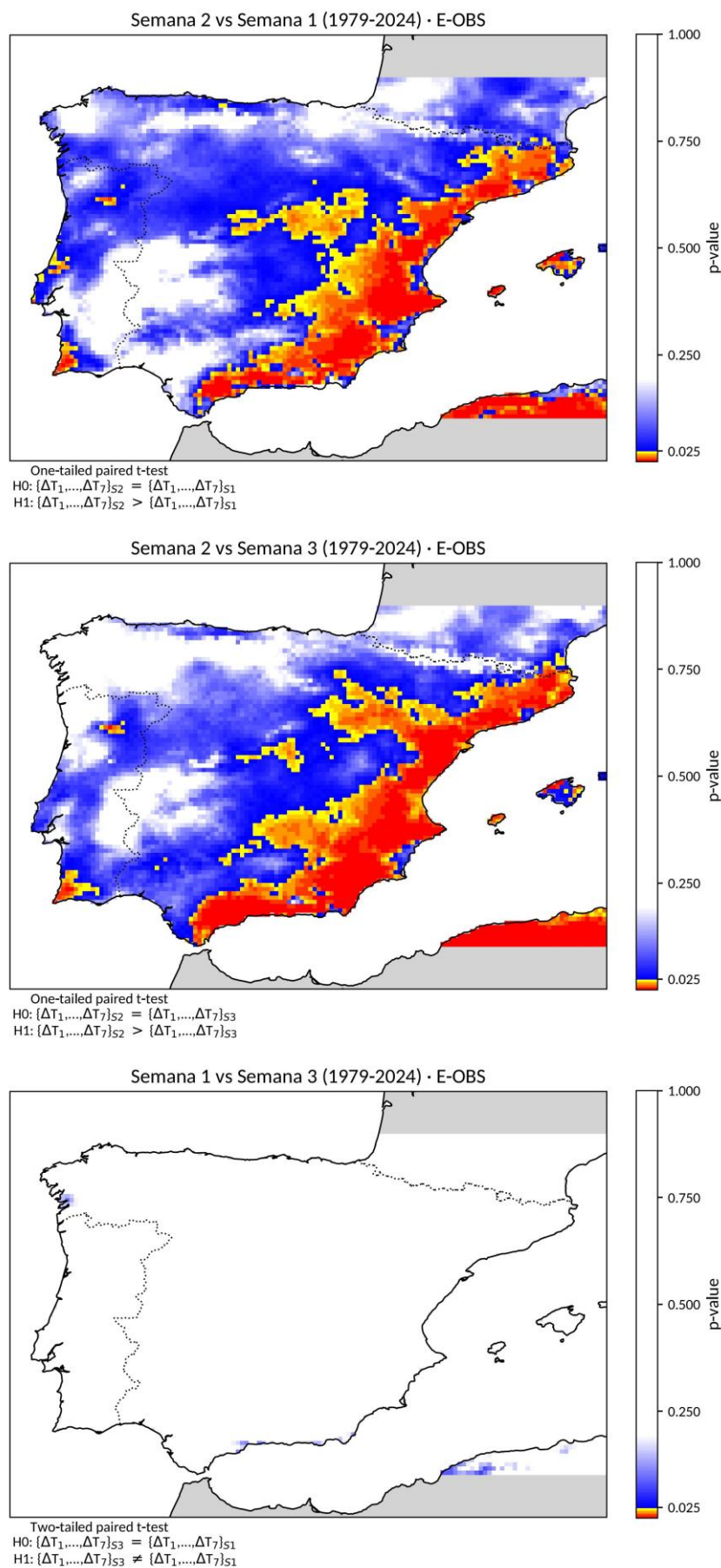


Figura 4-8 Representación espacial p-valores E-OBS (Elaboración propia)

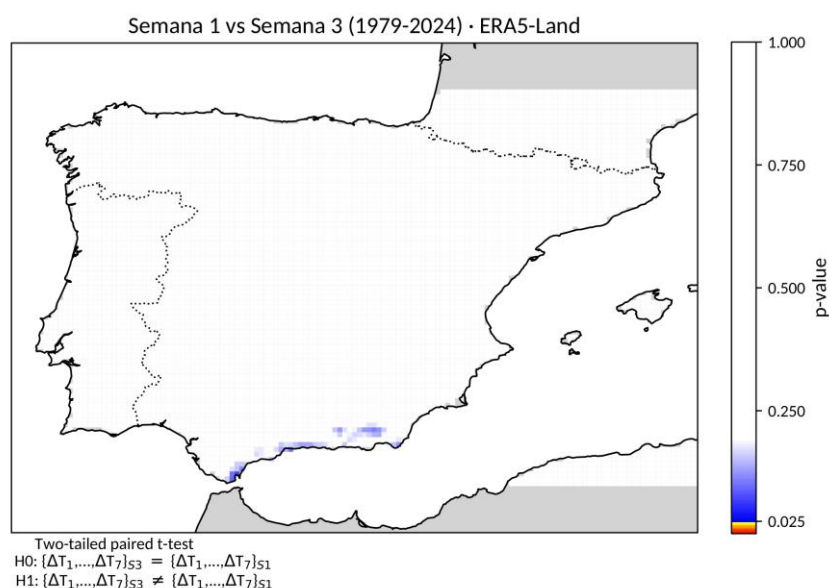
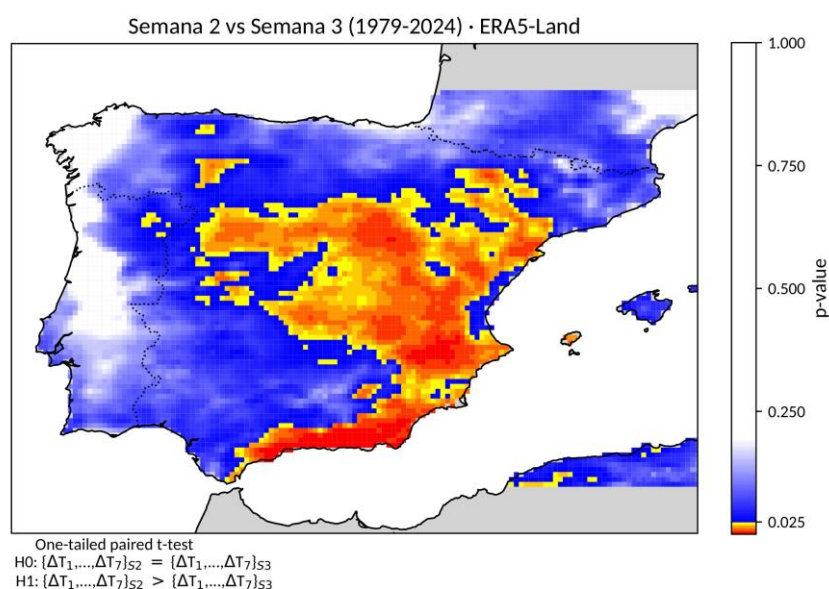
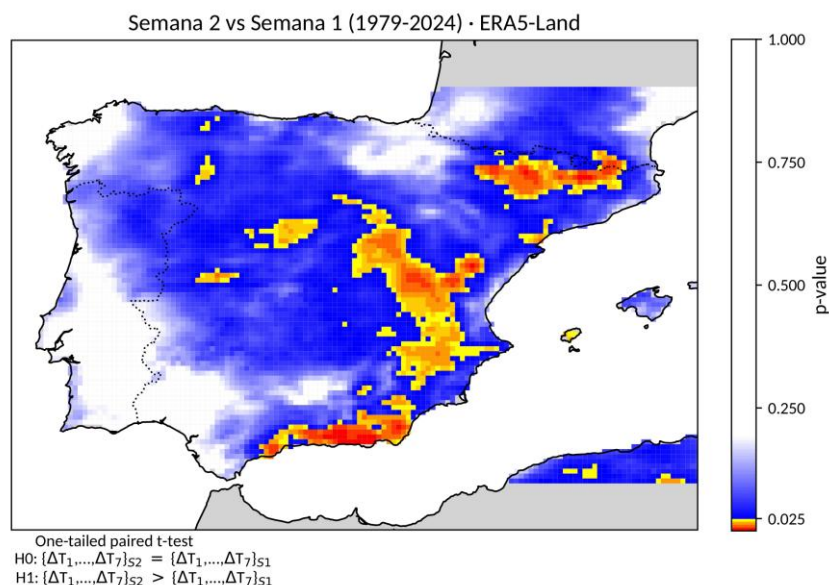


Figura 4-9 Representación espacial p-valores ERA5-Land (Elaboración propia)

Atendiendo a valores presentados en la Figura 4-8 y la Figura 4-9 podemos observar la presencia de una señal clara. Esta señal es robusta y espacialmente coherente, y se presenta con gran intensidad en el litoral mediterráneo y en el valle del Ebro. Debemos tener en cuenta que el nivel de significación utilizado para filtrar las señales es del 2.5% ($\alpha = 0.025$), lo que garantiza una mayor exigencia en la detección de diferencias significativas. La distribución espacial de los p-valores muestra un agrupamiento homogéneo en estas regiones, lo que hace que sea muy improbable que la detección de la señal se deba a la aleatoriedad y no a la existencia de un fenómeno térmico anómalo en dicha región. De hecho, al observar el mapa correspondiente a la comparación de la Semana 1 con la Semana 3 no muestra ningún valor p significativo, ni siquiera cercanos al umbral del 5% en prácticamente toda la Península. Esto indica que dichas semanas presentan un comportamiento similar sin presentar diferencias aparentes, lo que refuerza la idea de la Semana 2 represente una verdadera anomalía en su conjunto al ser significativamente diferente respecto a ambas semanas que adyacentes. Además, la coherencia entre los resultados presentados a partir de las dos bases de datos (E-OBS y ERA5-Land), tanto en la agrupación de los p-valores como en la significación estadística, aporta fiabilidad a los resultados obtenidos.

Sin embargo, los resultados mostrados hasta el momento no son suficientes por sí solos para confirmar la presencia del veranillo de San Miguel en las regiones identificadas, más bien constituyen un primer indicio. Para evaluar con mayor precisión la existencia de este fenómeno térmico se han generado una serie de gráficas adicionales que permiten contrastar esta hipótesis.

4.3 Validación de resultados

Para determinar si realmente existe el veranillo de San Miguel en las regiones donde se han obtenido los p-valores más significativos ($\alpha \leq 0.025$), se han generados gráficas adicionales para contrastar las evidencias obtenidas de los mapas de p-valores (Figura 4-8 y Figura 4-9). Dichas gráficas se han realizado para ambas bases de datos (E-OBS y ERA5-Land) y utilizando únicamente los datos de los puntos en los que el nivel de significación esté por debajo del 10%, 5%, 2,5% y 1%. Dicha selección debe mostrar una intensificación progresiva de la señal que representa el veranillo a medida que se filtran cada vez más puntos de la malla, en el caso de que su existencia sea cierta. Por un lado, se han graficado ciclos anuales de temperatura con el objetivo de ver si el pico detectado en el periodo de estudio se intensificaba con respecto a las representaciones realizadas anteriormente. Por otro lado, se han graficado las diferencias de temperatura diarias de manera anual con el objetivo de detectar una señal intensa a finales de septiembre que contribuya a afirmar que existe un aumento de las temperaturas significativo respecto al resto del año.

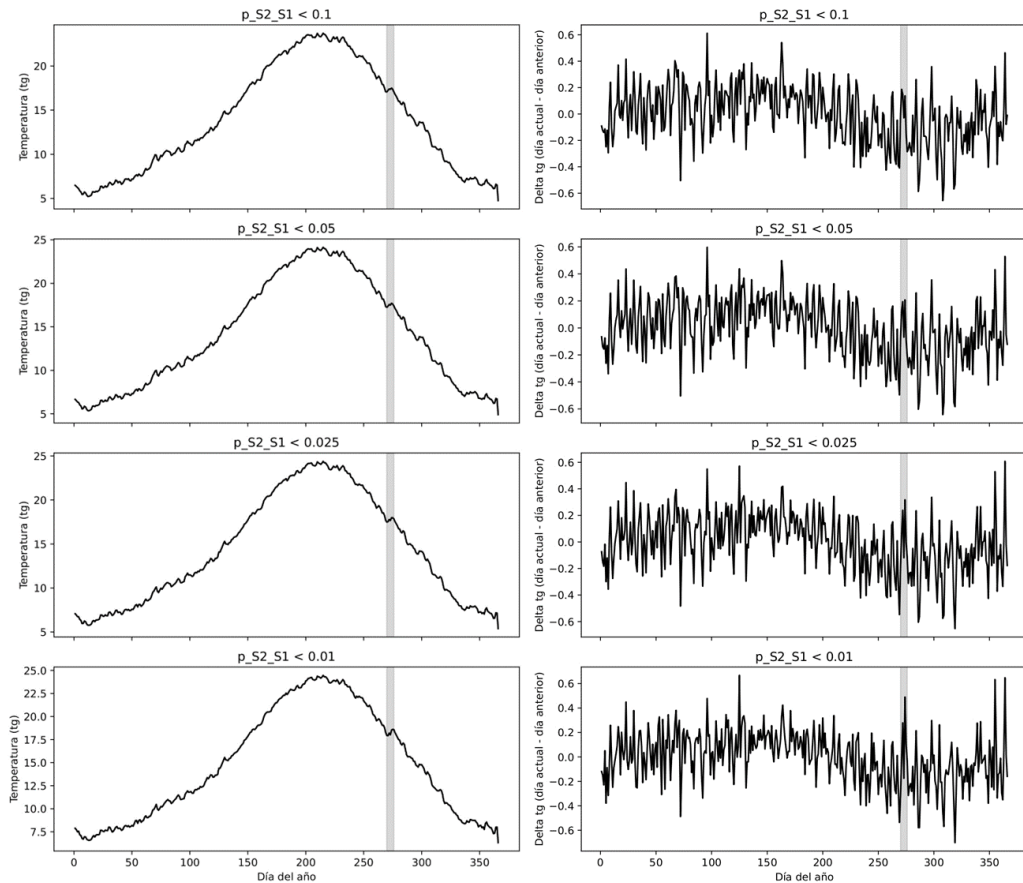


Figura 4-10 Gráficas auxiliares E-OBS (Elaboración propia)

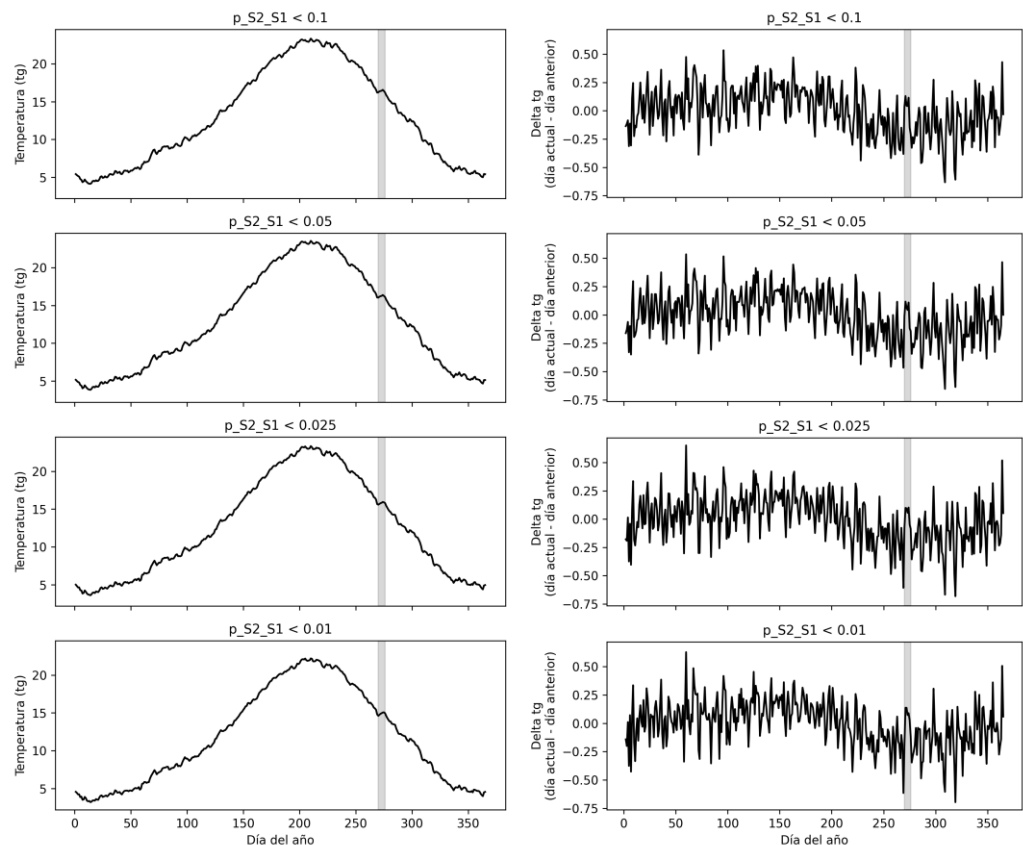


Figura 4-11 Gráficas auxiliares ERA5-Land (Elaboración propia)

Tras analizar la señal presentada en la Figura 4-10 y la Figura 4-11, no podemos determinar que el fenómeno observado en los mapas de p-valores resultantes de las pruebas t para datos apareados sea el veranillo de San Miguel. Pese a que se observa una pequeña intensificación de las señales a medida que establecemos un nivel de significación más restrictivo, esta señal no es lo suficientemente fuerte respecto al resto de oscilaciones que podemos observar anualmente lo que no permite constituir el fenómeno observado como una anomalía térmica. Debería presentar unos valores muchos más llamativos y mayores en comparación con el resto de variaciones para poder tratarlo de manera especial.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Tras revisar exhaustivamente los resultados obtenidos, contrastando las señales detectadas tras la realización de distintas pruebas estadísticas con las señales observables en las representaciones gráficas, se ha llegado a la conclusión de que no es posible determinar que el veranillo de San Miguel exista. Esta situación no significa que no exista, ya que a través de la realización de las pruebas t se ha podido determinar que la Semana 2, en la que se encuentra encuadrado este veranillo, tiene diferencias estadísticamente significativas con respecto a las semanas adyacentes. Sin embargo, con los datos analizados de temperatura no se puede corroborar que la diferencia que presenta esta semana frente a las otras sea el veranillo de San Miguel. Sería necesario aplicar este mismo análisis a otras variables meteorológicas que afecten directamente a la sensación térmica, entendida como la reacción del cuerpo humano ante un conjunto de condiciones que determinan la sensación de calor que sienten las personas. De esta manera podría llegar a analizarse mejor si esta señal detectada con mayor intensidad en el litoral mediterráneo y cuenca del Ebro es realmente o no una manifestación de la presencia del veranillo de San Miguel.

5.2 Líneas futuras

Dentro del amplio abanico de posibles investigaciones con las que continuar este análisis, hay una opción que destaca por ser la más completa. Esta sería la ya mencionada de realizar estas mismas pruebas aplicadas a otras variables meteorológicas que afecten a la sensación térmica. Entre las variables meteorológicas más interesantes a estudiar estarían la humedad relativa y el viento. Analizando dichas variables junto a la temperatura sí que se podría evaluar si este fenómeno existe. Al poder determinar la sensación térmica en cada punto de la Península se podría estimar si las condiciones meteorológicas en las fechas concretas en las que se desarrolla el veranillo de San Miguel producen que se las personas sientan dicha anomalía como un veranillo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. García de Pedraza, «Carácter agrometeorológico de las estaciones del año», en *Calendario Meteorológico*, 1968, pp. 164-172.
- [2] aemetblog, «EL “VERANILLO DE SAN MIGUEL”», Aemetblog. Accedido: 24 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aemetblog.es/2023/09/29/el-veranillo-de-san-miguel/>
- [3] J. M. Lorente Pérez, «Características meteorológicas en España de cada mes del año», en *Calendario meteorofenológico*, Servicio Meteorológico Nacional, 1942.
- [4] M. Correas Martínez y J. E. Gargallo Gil, *Calendario romance de refranes*. España: Universidad de Barcelona, 2003.
- [5] Q. Schiermeier, «Europe’s warmest autumn in 500 years», *Nature*, dic. 2006, doi: 10.1038/news061204-2.
- [6] J. E. Gargallo Gil y M. Ruiz-Zorrilla Cruzate, «El concepto de ‘veranillo’ en Europa. Ensayo semántico-motivacional», *Géolinguistique*, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.divulgameteo.es/uploads/Veranillo-Europa.pdf>
- [7] E. M. Ibarra, J. A. García, y J. G. Zotano, «LA TRADICIÓN ORAL COMO RECURSO EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DEL TIEMPO Y EL CLIMA. PROPUESTA DIDÁCTICA PARA EL CLIMA “MEDITERRÁNEO” DE LA PENÍNSULA IBÉRICA», *Universidad de Granada*, ene. 2016.
- [8] Equipo de El Tiempo de RTVE, *Los Refranes de El Tiempo*. Madrid: Espasa, 2014.
- [9] J. J. Capel Molina, *El clima de la Península Ibérica*. Ariel España, 2000.
- [10] «Clima», Atlas Nacional de España. Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://atlasnacional.ign.es/wane/Clima>
- [11] J. V. Bernal, «CLIMATOLOGIA DE ESPAÑA», *CONTRACLAVE*, p. 21, 1981.
- [12] IPCC, *Cambio CLimático 2021*. en Resumen para responsables de políticas. Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2021.
- [13] Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1.^a ed. Cambridge University Press, 2023. doi: 10.1017/9781009325844.
- [14] M. J. Sanz y E. Galán, «Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 2020.
- [15] N. Cresswell-Clay *et al.*, «Twentieth-century Azores High expansion unprecedented in the past 1,200 years», *Nat. Geosci.*, vol. 15, n.º 7, pp. 548-553, jul. 2022, doi: 10.1038/s41561-022-00971-w.

- [16] E. Blanchard-Wrigglesworth, «The 1997 veranillo of San Miguel in north-eastern Spain», *Weather*, vol. 54, n.º 4, pp. 114-119, 1999.
- [17] C. Rodríguez-Puebla, A. H. Encinas, L. A. García-Casado, y S. Nieto, «Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables», *Climatic Change*, vol. 100, n.º 3-4, pp. 667-684, jun. 2010, doi: 10.1007/s10584-009-9721-0.
- [18] T. Swaim, «What is Indian Summer? - ESSIC». Accedido: 25 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://essic.umd.edu/what-is-indian-summer/>
- [19] RTVE.es, «Llega el “veranillo” de San Martín: qué son estos fenómenos y cuánto duran», RTVE.es. Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.rtve.es/noticias/20231112/llega-veranillo-san-martin/2460680.shtml>
- [20] «Veranito de San Juan», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 19 de julio de 2024. Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Veranito_de_San_Juan&oldid=161402248
- [21] V. Magaña, J. A. Amador, y S. Medina, «The Midsummer Drought over Mexico and Central America», *J. Climate*, vol. 12, n.º 6, pp. 1577-1588, jun. 1999, doi: 10.1175/1520-0442(1999)012<1577:TMDOMA>2.0.CO;2.
- [22] Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (Chile), K. Verbist, H. Maureira, y R. Aroche, *Atlas de la Canícula de América Central y el Caribe*. UNESCO, 2018.
- [23] «¿Cuál es la diferencia entre tiempo y clima? - NASA Ciencia». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/cual-es-la-diferencia-entre-tiempo-y-clima/>
- [24] M. A. Rodríguez y C. M. León, *Fundamentos de climatología*. Logroño: Universidad de La Rioja, 2012.
- [25] I. Zúñiga López y E. Crespo del Arco, *Meteorología y climatología*, N°1. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2021.
- [26] T. Dimri, S. Ahmad, y M. Sharif, «Time series analysis of climate variables using seasonal ARIMA approach», *J Earth Syst Sci*, vol. 129, n.º 1, p. 149, dic. 2020, doi: 10.1007/s12040-020-01408-x.
- [27] «Series Temporales De Satélite: Cómo Funcionan Y Áreas De Uso». Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/series-temporales-de-satelite/>
- [28] E. G. Merino, «La dendrocronología: métodos y aplicaciones», *Arqueología nautica mediterrània*, pp. 309-322, 2009.
- [29] M. P. Laurini, «A continuous spatio-temporal approach to estimate climate change», 20 de marzo de 2017, *arXiv*: arXiv:1703.06804. doi: 10.48550/arXiv.1703.06804.
- [30] H. L. Jenter y R. P. Signell, «Public-domain-software solution to data-access problems for numerical modelers», New York, NY, United States: ASCE, 1992.
- [31] «NetCDF Users Guide: An Introduction to NetCDF». Accedido: 18 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://docs.unidata.ucar.edu/nug/current/netcdf_introduction.html
- [32] R. J. Wilson y Y. Artioli, «nctoolkit: A Python package for netCDF analysis and post-processing», *JOSS*, vol. 8, n.º 88, p. 5494, ago. 2023, doi: 10.21105/joss.05494.
- [33] S. Jutz y M. P. Milagro-Pérez, «Copernicus: the European Earth Observation programme», *Rev. Teledetec.*, n.º 56, nov. 2020, doi: 10.4995/raet.2020.14346.
- [34] «Copernicus», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/copernicus.html>
- [35] «Copernicus en pocas palabras | Copernicus». Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus/copernicus-en-pocas-palabras>
- [36] I. G. Nacional, «Instituto Geográfico Nacional», Geoportal oficial del Instituto Geográfico Nacional de España. Accedido: 27 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.ign.es>

- [37] «Copernicus Atmosphere Monitoring Service», ECMWF. Accedido: 6 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicus-atmosphere-monitoring-service>
- [38] «Copernicus Climate Change Service», ECMWF. Accedido: 6 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicus-climate-change-service>
- [39] «Copernicus Emergency Management Service», ECMWF. Accedido: 6 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services-and-future-vision/copernicus-emergency-management-service>
- [40] R. C. Cornes, G. Van Der Schrier, E. J. M. Van Den Besselaar, y P. D. Jones, «An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets», *JGR Atmospheres*, vol. 123, n.º 17, pp. 9391-9409, sep. 2018, doi: 10.1029/2017JD028200.
- [41] J. Muñoz-Sabater *et al.*, «ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications», *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 13, n.º 9, pp. 4349-4383, sep. 2021, doi: 10.5194/essd-13-4349-2021.
- [42] E. Bernadó Mansilla, «Contrastes de hipótesis». FUOC, septiembre de 2020.
- [43] V. M. Á. Burbano Pantoja y M. A. Valdivieso Miranda, *Inferencia Estadística Básica, apoyo al estudio independiente*, Primera edición. UPTC, 2016.
- [44] E. Rengifo Canizales, *Inferencia básica en muestreo aleatorio simple y estratificado*, Primera edición. Popayán, Cauca. Colombia: Universidad del Cauca, 2021.
- [45] J. L. Devore, *Probabilidad y estadística*, 7 edición. Mexico: Cengage Learning Editores S.A. de C.V, 2008.
- [46] A. Iglesias, S. Quiroga, y V. Sotes, «La agricultura española y el cambio climático», *Economistas*, vol. 29, n.º 127, pp. 19-26, 2011.
- [47] I. Castillo, «Spanish Farmers' Climate Adaptation Efforts are Harder in Times of Political Instability», Climate Scorecard. Accedido: 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.climatecorecard.org/2023/09/spanish-farmers-climate-adaptation-efforts-are-harder-in-times-of-political-instability/>
- [48] F. Ballester, «El impacto del calor extremo en la salud: nuevos retos para la epidemiología y la salud pública», *Rev. Esp. Salud Publica*, vol. 82, n.º 2, abr. 2008, doi: 10.1590/S1135-57272008000200001.
- [49] D. Ordanovich, «Extreme heat and human health : the effects of extreme temperatures and pollution on health in Spain», 2022.
- [50] «Heat and health». Accedido: 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>
- [51] Redeia, «La demanda de energía eléctrica en España aumenta un 1,9% en octubre», Red Eléctrica. Accedido: 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2024/11/la-demanda-de-energia-electrica-en-espana-aumenta-1-9-por-ciento-octubre>
- [52] «INEbase / Servicios /Hostelería y turismo /Hoteles: encuesta de ocupación, índice de precios e indicadores de rentabilidad / Últimos datos», INE. Accedido: 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177015&idp=1254735576863&menu=ultiDatos
- [53] European Commission. Joint Research Centre., *Regional impact of climate change on European tourism demand*. LU: Publications Office, 2023. Accedido: 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/899611>
- [54] K. Souza y G. Debeus, «Projeções regionais das alterações climáticas no turismo: reflexões sobre os impactes na Europa e no Mediterrâneo», *Revista Turismo y Desenvolvimento*, n.º 17/18, 2012.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Los “veranillos”, entendidos como aumentos repentinos y breves de la temperatura fuera de la estacionalidad habitual, pueden tener repercusiones de forma considerable en determinados sectores de carácter económico, social y ambiental. Estos fenómenos han cobrado relevancia en el contexto del cambio climático, pues las estaciones cálidas se están alargando y las olas de calor ocurren más temprano o tardíamente en el año. En España, por ejemplo, el verano es ahora casi cinco semanas más largo que en 1980 y el mes de julio se registran diez veces más días de ola de calor que hace cuatro décadas. Aunque, si bien es cierto que la duración de estos “veranillos” es corta, las consecuencias pueden ser notables, donde los sectores que se ven más afectados de forma directa son la agricultura, salud pública, consumo energético y turismo, entre otros. Para una mejor comprensión de ello, a continuación, se lleva a cabo un análisis de estas influencias en los distintos campos.

- **Agricultura.** El sector agrícola se encuentra sujeto en gran medida a las condiciones meteorológicas y es sensible a los cambios de temperatura, especialmente cuando estos suceden fuera de la estacionalidad habitual. Debido a ello, los “veranillos” pueden alterar los ciclos agrícolas y reducir la productividad de los cultivos. Cuando estos repuntes tienen lugar, se pueden adelantar fases fenológicas (como la brotación o la floración) exponiendo los cultivos a daños si posteriormente retorna el frío. De la misma forma, existen cultivos a los que esto resulta ventajoso, ya que un incremento de la temperatura provoca un alargamiento de la estación de crecimiento de los cultivos en aquellas regiones donde el potencial del cultivo se encuentra limitado por el frío [46]. Estos fenómenos, ligados al cambio climático, tienden a elevar las temperaturas en las regiones más vulnerables, afectando especialmente a los cultivos en zonas con escasez de agua, como la región Mediterránea [46]. Para solucionarlo, un estudio coordinado por COAG confirma que los agricultores españoles se encuentran en proceso de observación de los desajustes en los ciclos de cultivo y floración por el aumento térmico [47], obligándose a adaptar técnicas como son el control integrado, para mitigar las pérdidas.
- **Salud pública.** La presencia de olas de calor fuera de temporada representan un riesgo sanitario añadido, donde, si se experimentan temperaturas extremas durante los meses otoñales, incrementa la vulnerabilidad especialmente en los grupos de riesgo (mayores, niños y enfermos crónicos) [48]. Estudios epidemiológicos en España, indican que la exposición a un calor extremo puede tener consecuencias en la salud de carácter más débil (dermatitis, edemas) hasta cuadros más graves como insolación o descompensaciones cardiorrespiratorias. Así mismo, un incremento en la mortalidad atribuible al calor tiende a concentrarse durante la época estacional del verano, pero si durante el otoño aparecen estos episodios de temperaturas más altas, pueden provocar excesos de mortalidad inesperados [49]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte sobre esto, aludiendo al estrés térmico como una de las principales causas de muerte asociadas al clima a nivel mundial, influyendo, además, en el nivel de aclimatación de la población y preparación de las infraestructuras [50]. Cuando tienen lugar los “veranillos”, los cambios de temperatura sorprenden a la población y sistema sanitario fuera de la temporada de alertas de calor, traducándose en una menor percepción del riesgo y retraso en la toma de medidas de protección.
- **Energía y consumo eléctrico.** Los repuntes de calor en otoño generan anomalías en el consumo energético. En la Península Ibérica, los hogares y negocios suelen reducir el uso de aire acondicionado hacia finales de septiembre; sin embargo, una ola de calor otoñal reactiva la

demanda de refrigeración cuando las infraestructuras energéticas y la planificación operativa pueden no esperarlos. Por ejemplo, el excepcional inicio de octubre de 2023 (temperaturas 7–14 °C por encima de lo normal) vino acompañado de un aumento del consumo eléctrico en España. Red Eléctrica reportó que la demanda nacional de octubre de 2023 a 2024 creció ~1,5%, atribuido en parte a temperaturas más altas de lo habitual [51]. Estos picos inesperados de demanda por climatización suponen un estrés en las redes eléctricas: generación adicional, sobrecarga de transformadores locales e incluso riesgo de cortes si coincide con mantenimientos programados. Organismos internacionales destacan que las olas de calor pueden sobrecargar los sistemas de energía, causando picos de demanda que elevan la probabilidad de fallos. Según la OMS, el calor extremo aumenta la presión sobre redes de agua y energía, pudiendo provocar racionamientos o apagones. Un calor anómalo otoñal también reduce la eficiencia de algunas centrales. Por ejemplo, las centrales térmicas pueden tener que bajar potencia para evitar sobrecalentamientos). Por otro lado, retrasar la llegada del frío implica un aplazamiento en la demanda de calefacción (gas, biomasa), con posibles efectos positivos en consumo de invierno. Sin embargo, el balance neto suele ser de mayor consumo total si las temperaturas superan umbrales de confort y disparan el uso de ventilación forzada. En definitiva, los veranillos otoñales añaden volatilidad al sistema energético, obligando a incorporar escenarios de calor tardío en la planificación de redes y en las estrategias de gestión de demanda para evitar sobresaltos en el suministro.

- Turismo y economía local. En el sector turístico ibérico, los veranillos otoñales generan efectos duales. Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), temperaturas más cálidas durante los meses de septiembre y octubre han favorecido la prolongación de la temporada alta en destinos tradicionalmente estivales, especialmente en regiones costeras y áreas rurales. Este fenómeno ha contribuido a incrementar significativamente la ocupación hotelera y la demanda de servicios turísticos fuera del periodo habitual [52]. Paralelamente, el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea subraya que el cambio climático está desplazando los patrones turísticos, beneficiando en otoño a destinos del sur europeo, incluyendo España y Portugal, debido a condiciones climáticas más suaves y atractivas para los visitantes [53]. Sin embargo, no todos los sectores turísticos resultan favorecidos por estos cambios. Estudios realizados por Turismo de Portugal destacan que el turismo de nieve en áreas montañosas sufre consecuencias negativas por otoños cálidos, al retrasarse la acumulación de nieve natural, reduciendo la duración efectiva de la temporada invernal [54]. Esta situación provoca una reducción en el número de visitantes y genera pérdidas económicas en regiones dependientes de este tipo de turismo. A largo plazo, proyecciones del JRC anticipan que la viabilidad económica del turismo de nieve en regiones del sur europeo podría verse comprometida, impulsando a estos destinos a desarrollar estrategias alternativas para mitigar los efectos del calentamiento climático [53].

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Debido al aumento progresivo en frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos anómalos, como los veranillos, se vuelve necesario realizar una reflexión ética y social. Aunque históricamente estos fenómenos han sido reconocidos como parte del ciclo climático habitual, el contexto actual del cambio climático plantea nuevas cuestiones éticas y sociales sobre su significado, implicaciones y percepción pública.

Desde un punto de vista ético, es imprescindible tener en cuenta la equidad climática y la responsabilidad entre generaciones ante el aumento de estos sucesos extremos. Si bien tradicionalmente el veranillo de San Miguel se ha considerado benigno, su intensificación podría indicar desequilibrios ecológicos y sociales que impactan de manera desmedida a las comunidades más vulnerables. Los agricultores con menos recursos económicos, personas de edad avanzada, niños y enfermos crónicos, son grupos particularmente sensibles que pueden sufrir graves efectos frente a cambios térmicos bruscos.

La ética de la responsabilidad ecológica sugiere la importancia de responder ante estos cambios, en particular si están influenciados por acciones humanas. Así, surge la responsabilidad de los gobiernos y las instituciones públicas y privadas de adoptar medidas preventivas y de mitigación para proteger a los grupos más vulnerables y preservar el equilibrio ecológico.

Socialmente, los veranillos, pueden influir en la percepción pública del cambio climático. Estos episodios pueden ser percibidos de manera contradictoria: por un lado, positivamente por prolongar actividades recreativas al aire libre y dinamizar ciertos sectores económicos como el turismo; por otro lado, negativamente debido a la alteración de patrones agrícolas, incremento en el consumo energético y riesgo sanitario.

La creciente incidencia de estos sucesos genera preocupaciones sobre cómo las sociedades entienden y responden frente a las expresiones del cambio climático. Hay una posibilidad de que estos fenómenos se normalicen, lo que podría reducir la percepción pública de urgencia ante la crisis climática mundial. Por esta razón, es necesaria una comunicación clara y eficaz sobre sus causas, efectos y la necesidad de adaptación para promover una sociedad informada, resiliente y comprometida con acciones climáticas eficientes.