



Universidad de León
Facultad de ciencias biológicas y ambientales

Evaluación de las tendencias de las precipitaciones y temperaturas en la Península Ibérica.

Trends evaluation of precipitation and temperature in Iberian Peninsula.

Autor: Raúl González Moldes
Tutor: Andrés Merino Suances

Ciencias ambientales
Septiembre de 2022

ÍNDICE

<u>RESUMEN.....</u>	<u>3</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>3</u>
<u>1. INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>4</u>
<u>1.1 PRECIPITACIÓN.....</u>	<u>4</u>
<u>1.2 TEMPERATURA.....</u>	<u>6</u>
<u>1.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....</u>	<u>8</u>
<u>1.4 OBJETIVOS.....</u>	<u>9</u>
<u>2. ZONA DE ESTUDIO.....</u>	<u>9</u>
<u>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</u>	<u>11</u>
<u>3.1 OBTENCIÓN DE DATOS.....</u>	<u>11</u>
<u>3.2 TRATAMIENTO DE DATOS.....</u>	<u>12</u>
<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</u>	<u>16</u>
<u>4.1 ANÁLISIS DE TENDENCIAS.....</u>	<u>16</u>
<u>4.2 ÍNDICE DE TELECONEXIÓN.....</u>	<u>22</u>
<u>5. CONCLUSIONES.....</u>	<u>29</u>
<u>6. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>30</u>

RESUMEN

El cambio climático es uno de los mayores problemas ambientales al que nos enfrentamos actualmente como sociedad. La frecuencia y severidad de los fenómenos climáticos extremos como sequías e inundaciones no deja de crecer debido a aumentos en la temperatura media global y a cambios en los patrones de movimiento atmosférico. El objetivo de este trabajo es verificar la existencia de tendencias en el territorio español peninsular para la temperatura, precipitación e índice NAO, definido como la diferencia anómala entre el anticiclón de las Azores y la borrasca islandesa. Se busca analizar también cómo afecta la oscilación del Atlántico norte en las precipitaciones y la temperatura española en diferentes estaciones.

Utilizando el programa de análisis estadístico Rstudio junto a datos de 67 estaciones meteorológicas con seguimiento durante al menos ochenta años, se realizaron cuatro tipos de pruebas capaces de analizar tendencias y establecer patrones relacionales entre distribuciones de datos. Una prueba K-S, una regresión lineal, la prueba de Mann-Kendall y una correlación de kendall.

Se encontraron evidencias claras de la existencia de tendencias positivas en la temperatura durante todo el siglo pasado, afectando especialmente al interior de la península y al litoral mediterráneo. En cuanto a la precipitación, se determinó que el cambio climático no afecta significativamente a los regímenes de precipitación a escala local, pero si lo hace de forma indirecta, modificando la oscilación del Atlántico norte de tal forma que los movimientos atmosféricos tiendan a dirigirse hacia Centroeuropa llevándose las nubes con ellos, disminuyendo la precipitación y aumentando la temperatura en la península.

Palabras clave: Cambio climático, oscilación de atlántico norte, Rstudio, tendencias climáticas.

ABSTRACT

Climate change is one of the biggest environmental problems we are currently facing as a society. The frequency and severity of extreme climatic phenomena such as droughts and floods is constantly increasing due to increases in global mean temperature and changes in atmospheric movements. The aim of this work is to verify the existence of trends in the Spanish peninsular territory in temperature, precipitation and NAO index, defined as the anomalous difference between the Azores anticyclone and the Icelandic cyclone, as well as to determine how the North Atlantic oscillation affects Spanish precipitation and temperature in different seasons.

Using the statistical analysis program Rstudio together with data from 67 meteorological stations tracked for at least eighty years, four types of tests capable of analyzing trends and establishing relational patterns between data distributions were performed. A K-S test, a linear regression, the Mann-Kendall test and a kendall correlation.

Clear evidence was found for the existence of positive trends in temperature throughout the last century, especially affecting the interior of the peninsula and the Mediterranean coast. As for precipitation, it was determined that climate change does not significantly affect precipitation regimes on a local scale, but does so indirectly, modifying the North Atlantic oscillation in such a way that atmospheric movements tend to move towards Central Europe, taking clouds with them, decreasing precipitation and increasing temperature in the peninsula.

Key words: Climatic change, climatic trends, north atlantic oscilation, Rstudio,

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, se entiende por clima a “*las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y a un periodo de tiempo determinados*” (Chazarra et al., 2018). El período de estudio para determinar el clima de una región es de 30 años. Los elementos más importantes son la temperatura y la precipitación, que dictaminarán el desarrollo de la ecología y el medio socioeconómico (García-Fayos, 2004). En el estudio del clima se utilizan datos recogidos en estaciones climáticas, donde se analizan y se le aplican métodos estadísticos para obtener conjuntos de datos relativamente pequeños y con los que sea fácil trabajar (Chazarra et al., 2018).

El aumento de la temperatura global es el principal efecto asociado con el cambio climático, existiendo multitud de modelos que relacionan la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) con un posterior aumento en la temperatura mundial (notivoli et al., 2021). Durante la primera mitad del siglo pasado el ritmo de crecimiento de la temperatura media global era de 0.22 °C/Década. En la Península Ibérica, durante los siguientes 20 años se experimentó un período de relativa estabilidad térmica tras la cual el ritmo de crecimiento de la temperatura media aumentó hasta 0.48 °C/Década en la Península Ibérica, un 50% superior a la media del hemisferio norte (Blade et al., 2010).

El cambio climático y sus causas también afectan de forma significativa a los seres humanos, el aumento de partículas en suspensión en el aire y una mayor concentración de óxidos de combustión empeora la calidad del aire aumentando las afecciones respiratorias e intoxicaciones (Jacob y Winner, 2009). En cuanto a la biodiversidad, está demostrado que afecta de forma negativa a los animales, especialmente anfibios (Blaustein et al., 2010) y peces (Pörtner y Peck, 2010). La agricultura también se ve afectada debido a que los efectos del cambio climático tienden a disminuir la producción y a aumentar la probabilidad y magnitud de las plagas (Kane et al., 1992).

1.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación en la Península Ibérica varía mucho de un año a otro (figura 1) y se distribuye de forma muy irregular, esto es principalmente debido a la orografía de la región ya que la Península Ibérica se caracteriza por un relieve muy pronunciado (Merino et al., 2015). Como se observa en la (figura 2), la mayor concentración de precipitaciones se produce en la cara

norte de la cordillera Cantábrica, así como en Pirineos y la Comunidad de Galicia. En el resto del territorio se observa un claro patrón respecto a las grandes formaciones geológicas, existiendo una disminución en la precipitación de las zonas circundantes. Los vientos que vienen con dirección N-NW cargados de agua del océano Atlántico no suelen rebasar la cordillera Cantábrica (Alonso et al., 2007), Pirineos y la zona alta de la cuenca del Duero (Babault y teixell, 2007), dejando un aire seco y provocando unas muy bajas precipitaciones en las dos mesetas castellanas y en la cuenca del Ebro. En el caso de la meseta manchega es donde se aprecia un efecto foehn más acusado (Angulo et al., 2016). Por el contrario, cuando el viento viene con dirección SE-E, es decir, del mar Mediterráneo el efecto foehn se produce en la cara sur del sistema central, pero este es un aire caliente, que al secarse produce sequías y marchitamiento de los campos de Castilla y León, Cantabria y Asturias (Molina, 1978). Si el viento procede del W, calentará y resecará el valle del Ebro al quedar la humedad retenida en el sistema Ibérico y si procede del este hará lo mismo con las mesetas castellanas (Pedraza, 1972). Teniendo en cuenta esta información, cualquier estudio sobre el clima en la Península Ibérica deberá tener muy en cuenta la orografía a la hora de analizar los datos obtenidos.

La precipitación es un factor muy irregular a escala temporal (figura 1), variando entre 920 y 480mm anuales, lo que significa que las épocas de sequía son algo común en la región (Merino et al., 2015) y se han visto aumentadas tanto en frecuencia como en duración durante las últimas décadas, sin embargo, esto no tiene un impacto significativo en la precipitación anual acumulada (Blade et al., 2010). En cuanto a su disposición espacial, las sequías son mucho más frecuentes e intensas en la región mediterránea y son muy dependientes de las circulaciones atmosféricas (Merino et al., 2015), especialmente los territorios que no cuentan con la humedad proveniente del mar Mediterráneo. Debido a la naturaleza de las precipitaciones en la zona, sumado a la orografía y la distribución demográfica, las inundaciones representan un problema socioeconómico muy grave para la población y el medio (Merino et al., 2015).

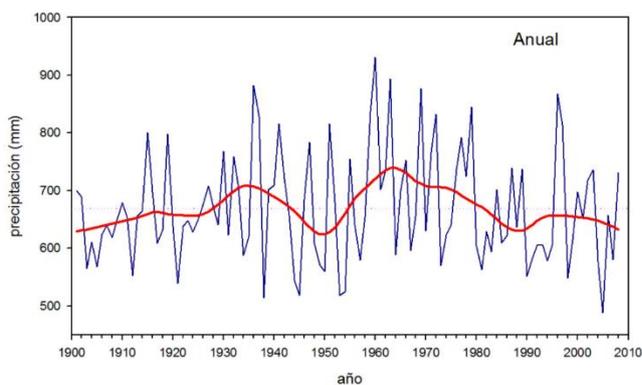


Figura 1: Distribución de precipitaciones en España durante el último siglo. Fuente: AEMET

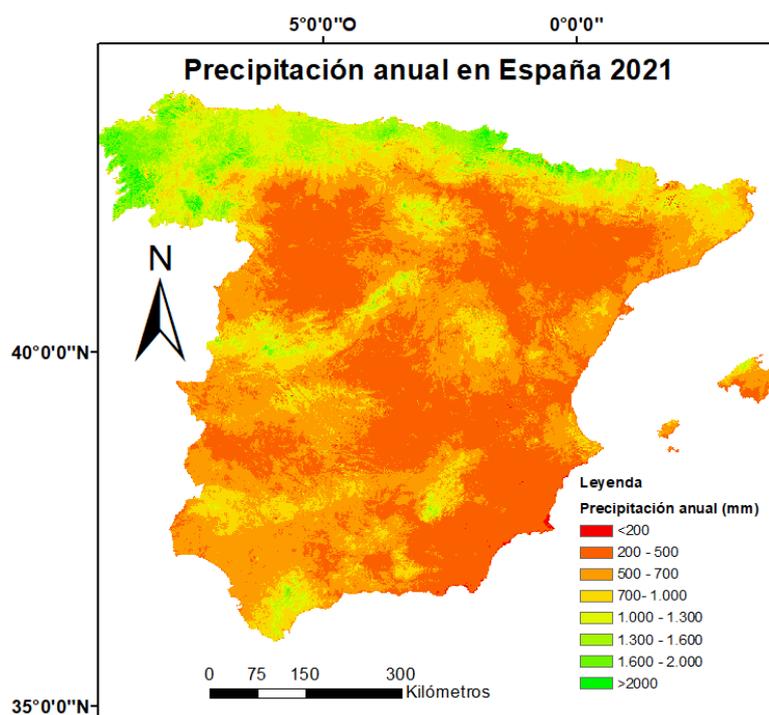


Figura 2: Distribución de la Precipitación en España en el año 2021. Fuente: elaboración propia con ArcGis a partir de datos de AEMET.

1.2 TEMPERATURA

Al hablar de cambio climático, lo primero que se nos viene a la mente es un aumento de la temperatura global, pero este aumento no tiene la misma magnitud en todas las zonas y depende mucho de su localización. Es importante tener esto en cuenta porque el territorio español presenta grandes diferencias en las temperaturas (figura 3) las cuales dependen de la continentalidad y orografía de la zona (Molina, 1978).

Destacamos dos grandes elementos condicionantes de la temperatura, el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, que debido a la gran capacidad del agua para retener el calor ejerce un efecto amortiguador de la temperatura en todo el litoral. El mar Mediterráneo al estar aislado se encuentra a mayor temperatura llegando hasta los 27°C en verano y nunca bajando de los 13 °C en invierno, mientras que el océano Atlántico está a unos 18 °C en verano y 11 °C en invierno, esto provoca que la parte sureste sea más templada que la mediterránea (Molina, 1978). Es en las zonas de interior donde nos encontramos una mayor variabilidad en las temperaturas a lo largo del año al no estar cerca de grandes masas de agua. La temperatura de estas zonas depende de su geografía, la parte norte es más fría que la cara sur con una diferencia de unos 5 °C de

media (figura 3) (Molina, 1978). Las zonas de montaña presentan una menor temperatura debido a su altura.

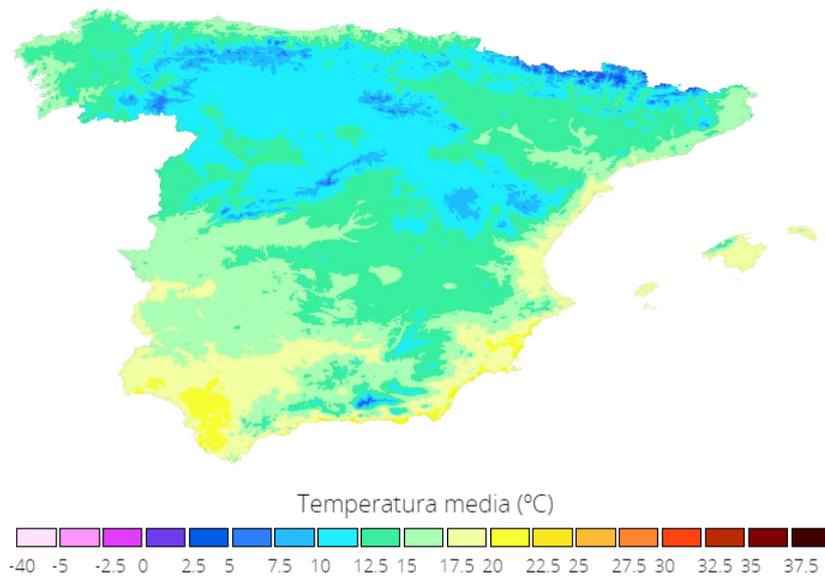


Figura 3: Temperatura media anual del territorio español excepto Canarias. Fuente: AEMET

1.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La North Atlantic Oscillation (NAO) es el efecto dominante en la atmósfera durante el invierno en todo el Atlántico norte, desde Norteamérica hasta Europa del este. Este fenómeno está producido por la interacción entre la zona de altas presiones situada en las islas portuguesas de las Azores y la zona de bajas presiones en Islandia. Distinguimos dos fases, una negativa (figura 4, a) y una positiva (figura 4, b). En la positiva el anticiclón de las Azores es muy fuerte y la borrasca de Islandia más débil, desplazando las masas de aire procedentes del Atlántico hacia el norte de Europa. En la fase negativa nos encontramos con un anticiclón y una borrasca debilitados o donde la borrasca atlántica ha descendido, desplazando las nubes hacia el Mediterráneo (Blade et al., 2010).

Esta diferencia en la fuerza ejercida entre anticiclón y borrasca es cuantificable y se expresa mediante el índice NAO (figura 4, c)

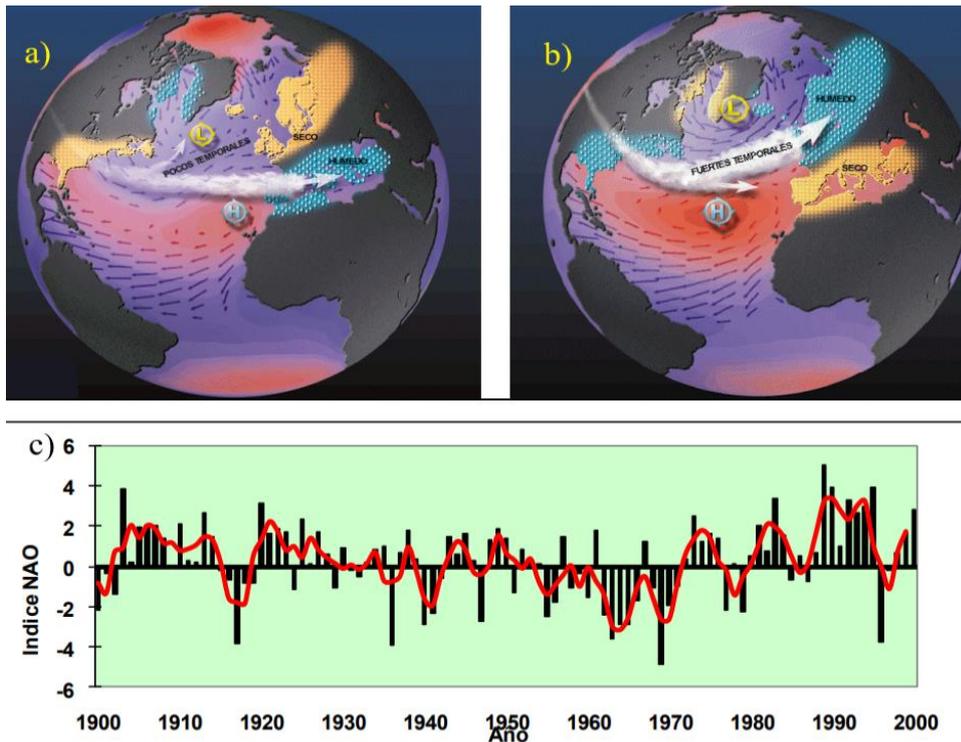


Figura 4: Evolución del índice NAO y modelo de las fases de la NAO. a: Flujo atmosférico durante la fase negativa de la NAO. B: Flujo atmosférico durante la fase positiva de la NAO. C: Evolución del índice NAO. Fuente: (Blade et al., 2010)

1.4 OBJETIVOS

- OBJETIVOS GENERALES

- Determinar la influencia del cambio climático en las precipitaciones y temperaturas del territorio español peninsular usando diferentes métodos estadísticos.
- Analizar diferencias en el clima entre zonas de litoral e interior de la Península Ibérica.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la existencia de una tendencia en las precipitaciones anuales y la temperatura de la Península Ibérica.
- Determinar la influencia de la NAO en el clima de la Península Ibérica.
- Analizar la influencia del cambio climático en el índice NAO
- Estudiar y comparar los resultados obtenidos usando diferentes métodos de análisis de datos con los resultados de otros autores.

2. ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio comprende el territorio peninsular español y las islas Baleares, situada entre los 36° y 43° de latitud Norte, se trata de un territorio con una diferencia de relieve muy grande, la altura media es de 660 metros con importantes cadenas montañosas como la cordillera Cantábrica o los Pirineos (Alonso et al., 2007; Babault y Teixell, 2007), lo que combinado con el efecto que ejercen el océano Atlántico y el mar Mediterráneo en cada uno de los extremos de la Península Ibérica hace que tengamos regímenes de lluvia muy dispares en todo el territorio (Merino et al., 2022).

Dentro de las formaciones geológicas capaces de influenciar el clima de la región nos encontramos (figura 5):

Cordillera Cantábrica: Cadena montañosa de más de 400 km de extensión situada en el norte de la Península Ibérica abarcando desde los Pirineos hasta Galicia. Geográficamente alcanza su punto más alto a su paso por León, Asturias y Cantabria en los picos de Europa, donde alcanza los 2500 metros de altura (Alonso et al., 2007). Geológicamente divide las zonas litorales del mar Cantábrico y la llanura castellano-leonesa, distinguiéndose una fuerte diferencia en los ecosistemas de cada ladera (Prieto, 1982.).

Pirineos: Cadena montañosa formada a partir de la convergencia de las placas Ibérica y Euroasiática, formando una división natural entre la Península Ibérica y Francia. Se encuentra a una altura media de 2000 metros con algunos picos por encima de los 3000 metros formando en su ladera sur la cuenca del río Ebro, con una depresión que llega los 300 y 500 metros de altura (Babault y Teixell, 2007).

Sistema Central: Cadena montañosa situada en el centro de la Península Ibérica con una disposición WSW-ENE. Separa las cuencas del Duero y el Tago a lo largo de sus 600 Km de extensión alcanzando su máxima cota en el pico Almanzor de la sierra de Gredos en la provincia de Ávila (Ubanell, 1994).

Sistema Ibérico: Conjunto montañoso compacto formado por una serie de macizos unidos por altiplanos en dirección NW-SE. Actúa como borde de la meseta castellana al oeste y de la depresión del Ebro en el este. Alcanza alturas superiores a 2300 metros en el Moncayo, bloqueando las precipitaciones que llegan tanto a la meseta castellana como a la cuenca del Ebro (Pedraza y Vega, 1987.).

Sistemas Béticos: Relieve montañoso de gran extensión que ocupa gran parte de la comunidad andaluza, posee las mayores cotas de la Península Ibérica alcanzando en el Mulhacén la altura de 3481 metros. Se extiende en dirección WSW-ENE formando la depresión del Guadalquivir al oeste junto con sierra morena y la cuenca del Segura al oeste en la comunidad de Murcia (Vera, 1994).

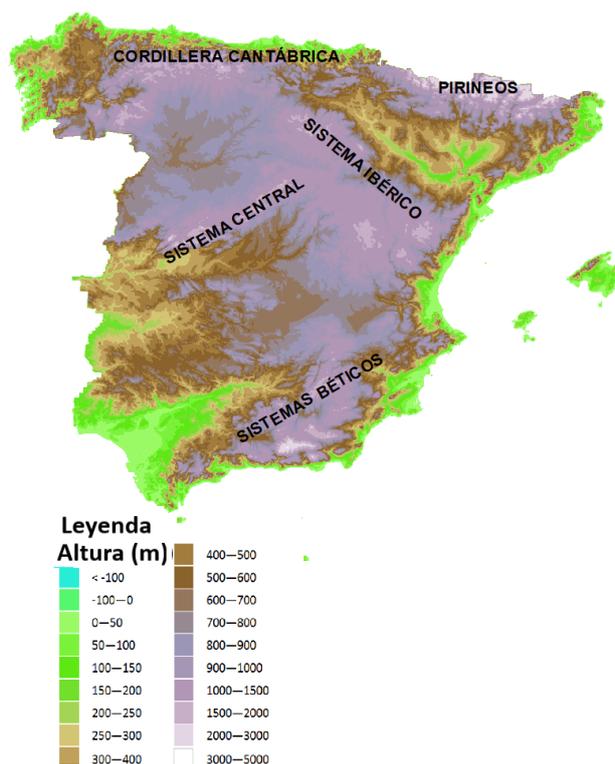


Figura 5: Mapa de elevación digital de la Península Ibérica española y baleares. Fuente: elaboración propia con ArcGis a partir de datos del MITECO.

A parte de las formaciones geológicas presentes, debido a la condición de península de nuestro territorio, las grandes masas de agua son clave a la hora de determinar el clima de la región. La Península Ibérica se encuentra rodeada en 7/8 partes de su territorio por el océano Atlántico, el mar Mediterráneo y mar Cantábrico (Molina, 1978.)

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 OBTENCIÓN DE DATOS.

Los datos de trabajo han sido obtenidos a partir de las series largas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con datos termo-pluviométricos de todo el siglo pasado. Trabajaremos con datos posteriores a 1940 para la temperatura debido a que consideramos que los datos de

fechas anteriores tienen menos fiabilidad o no son útiles, ya que existen períodos en blanco durante la guerra civil o la primera guerra mundial. En el estudio de la precipitación si tenemos la serie completa, pero se encontró que los resultados varían totalmente al utilizarlos, lo que podría deberse a un período de sequías (Merino et al., 2015) o a una metodología incorrecta en la recolección de los datos. AEMET explica que los datos de series largas pueden estar afectados por cambios en las condiciones de medida, debido a desplazamientos de la estación de medida o a la metodología de toma de muestras. Estos cambios han sido corregidos por modelos informáticos, pero puede no ser recomendable trabajar con datos muy antiguos.

Se dispone de información de 21 estaciones capaces de medir la temperatura con datos desde al menos 1940. En el caso de las precipitaciones el número de estaciones aumenta a 67, muchas de ellas muy cercanas entre sí. Se tomo los datos de estaciones cercanas y se calculó el valor medio de estas, aumentando la fiabilidad de los datos y evitando la redundancia en la información.

3.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Para el tratamiento de datos se ha utilizado el programa informático Rstudio que permite desarrollar herramientas abiertas de uso libre desarrollado por una gran comunidad. El principal uso de este programa es el análisis estadístico y el dibujo de gráficas, aunque tiene muchas otras funciones (Horton y Kleinman, 2015). Para el análisis exploratorio se utilizaron diferentes pruebas estadísticas todas con un intervalo de confianza superior al 95% para rechazar la hipótesis nula.

Test K-S

Para comprobar si existen diferencias importantes entre dos periodos de tiempo se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov entre los periodos 1940-1970 y 1970-2000. La prueba nos permitirá conocer la bondad de ajuste entre dos muestras de temperatura media anual y media de las máximas y mínimas diarias expresado mediante estadístico “D” que mide la distancia de desviación entre dos distribuciones (Merino et al., 2022). La hipótesis nula asume igualdad en las distribuciones mientras que un rechazo de la hipótesis nula confirma distribuciones diferentes. El test utiliza las siguientes fórmulas (zhang et al.,2010).

$$D = \sup | \hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i) |$$

Donde

- X_i : Es el i -ésimo valor de la muestra ordenados de menor a mayor
- $\hat{F}_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de encontrar valores menores o iguales que x_i .
- $F_0(x_i)$ es la probabilidad de encontrar valores menores o iguales que x_i cuando la hipótesis nula es cierta.

Por lo tanto, D es la diferencia entre la frecuencia acumulada teórica y la observada. Cuanto mayor sea el valor de D más se ajustará la distribución al modelo.

Para aceptar o rechazar la hipótesis nula, se calculará el p -valor, que viene dado por la siguiente fórmula:

$$p = P\left(\frac{D > D_i}{H_0}\right)$$

Un valor p muy grande nos indica que siendo cierta la hipótesis nula, el valor D observable (D_i) era esperable. Por el contrario, un valor p muy pequeño indica que siendo cierta la hipótesis nula, es muy improbable que ese valor de D sea posible. De esto se deduce:

Si $p \geq \alpha \rightarrow$ aceptar hipótesis nula

Si $p < \alpha \rightarrow$ rechazar hipótesis nula

Regresión lineal simple

Resulta interesante analizar como varían la temperatura y la precipitación en años distintos. Un análisis de la regresión nos permite establecer una relación funcional para relacionar dos variables: los años (variable independiente) con la precipitación y la temperatura, (variable dependiente). La regresión lineal arroja un gráfico de puntos donde la relación entre variables viene dada por una línea recta. El coeficiente r^2 expresa el porcentaje de igualdad respecto a lo esperado. El valor que podemos obtener varía entre 0 y 1, cuanto más cerca de 1 esté, el modelo explicará mejor la variabilidad de los datos de respuesta y más relacionado estará el paso del tiempo con un aumento en la temperatura. Para hacer una estimación del modelo usamos la siguiente fórmula de la que obtendremos una recta (Peláez, 2016):

$$Y = a + \beta X + \varepsilon$$

- a es la ordenada en el origen.

- β es la pendiente de la recta
- \mathcal{E} es un conjunto de muchos factores en los que cada uno influye un poco en el resultado final, lo llamaremos error.

Para que la recta se ajuste a la nube de puntos utilizaremos el método de mínimos cuadrados que utiliza la siguiente fórmula.

$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ Con esta fórmula estas comparando los valores reales con los estimados y se obtienen las expresiones: $a = \bar{y} - b\bar{x}$ y $b = \frac{S_{xy}}{S_x^2}$

Siendo \bar{x} e \bar{y} las medias muestrales para \mathbf{X} e \mathbf{Y} , S_x^2 es la varianza de la muestra y S_{xy} es la covarianza entre las muestras \mathbf{X} e \mathbf{Y} .

La dirección de la tendencia se analiza de la siguiente manera en función de la relación entre \mathbf{X} e \mathbf{Y} .

- Si $b_{Y/X} = 0$ no existen tendencias, también se usarán valores muy cercanos a 0 para evitar confusiones a la hora de interpretar los resultados plasmados en un mapa.
- Si $b_{Y/X} < 0$ la tendencia es negativa
- Si $b_{Y/X} > 0$ la tendencia es positiva

El problema que presenta la regresión lineal es su alta susceptibilidad a valores anómalos, un año de sequía intensa puede alterar el resultado total, por ello utilizaremos también una prueba más robusta en el análisis de datos climáticos, la prueba de Mann-Kendall.

Mann-Kendall

Para un análisis de tendencias más robusto utilizaremos la prueba de Mann-Kendall, test no paramétrico diseñado para analizar tendencias de parámetros ambientales, es una de las pruebas más utilizadas en climatología por su efectividad (Merino et al., 2015). La prueba consiste en una comparación de los datos en orden secuencial considerando la hipótesis de estabilidad. La prueba arroja dos resultados, el estadístico p y el factor tau . Si obtenemos un estadístico p menor a 0.05 rechazaremos la hipótesis nula existiendo una tendencia. La dirección y magnitud de esa tendencia vendrá dado por el factor tau , siendo la tendencia positiva en el caso de tau positivo

y negativa para el caso contrario. Cuanto mayor sea el valor de *tau* más grande será la tendencia presente en esa estación y viceversa (Wang et al., 2020).

El estadístico *tau* se obtiene utilizando la fórmula.

$$\beta = \text{Mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), j > i$$

El estadístico de la prueba se obtiene a partir de la fórmula:

$$UF_k = [s_k - E(s_k)] / [Var(s_k)] \quad (K = 1, 2, \dots, n)$$

Donde:

$$s_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad \text{Donde } a_{ij} = 1 \text{ cuando } x_i > x_j; a_{ij} = 0 \text{ cuando } x_i < x_j$$

$$E(s_k) = n \left(n - \frac{1}{4} \right); \quad Var(s_k) = n(n-1)(2n+5)/72$$

Este análisis es uno de los más fiables para analizar tendencias ambientales debido a que es poco susceptible a los valores anómalos. Sin embargo, presenta una importante limitación cuando las series presentan una fuerte correlación entre ellos. Debido a que los datos climáticos no son completamente independientes e igualmente distribuidos en el tiempo, se aumenta la posibilidad de falsos positivos en la tendencia (Merino et al., 2015).

Correlación de Kendall

Nos interesa conocer cómo afecta la NAO a las precipitaciones y temperaturas de la Península Ibérica y baleares. Para conocer la influencia se utilizó la prueba de correlación de Kendall, prueba no paramétrica utilizada para identificar pares similares en dos variables. Los resultados son el estadístico que nos permitirá rechazar la hipótesis nula, y en caso de rechazarla utilizaremos el factor Tau de Kendall. El factor Tau de Kendall varía entre -1 y 1 e indica una correlación positiva del 100% si el valor es 1 y del 100% pero inversa si el valor es -1 (abdi, 2007).

Para calcular el valor de Tau de Kendall se usa la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{C_n - NC_n}{C_n + NC_n}$$

Donde

C_n = número total de pares concordantes.

NC_n = número total de pares no concordantes (discordantes)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se van a exponer los resultados obtenidos y a compararlos con los obtenidos por otros autores con el objetivo de determinar su fiabilidad.

A partir de los datos proporcionados por AEMET de series largas de precipitación y temperatura para distintas estaciones termo-pluviométricas, se han realizado diversos análisis estadísticos buscando encontrar tendencias en los parámetros y establecer una relación entre el clima de la Península Ibérica y la NAO

4.1 ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Se busca determinar la existencia de una tendencia creciente o decreciente en alguno de los parámetros estudiados y comparar los resultados obtenidos al usar distintos análisis estadísticos.

Test k-s

Se ha realizado un test K-S entre dos muestras de temperaturas máximas, mínimas y medias de los períodos 1940-1970 y 1970-2000. Los resultados expresados en la tabla (ver anexo 1) y plasmados en la (figura 6) muestran que la temperatura en la segunda mitad del siglo pasado cambio significativamente en la mayor parte de la Península Ibérica, pero no en toda. En la meseta castellano-leonesa para la temperatura mínima (figura 6, b) no se identifican diferencias entre ambos períodos. Para las temperaturas medias ocurre algo similar pero con mayor distribución por todo el territorio (figura 6, c). Esto es compatible con los resultados de la mayoría de artículos (Chazarra et al., 2018; Blade et al., 2010) en el que señalan que el ritmo de crecimiento de la temperatura esta aumentando (Blade et al., 2010).

Para ayudar a entender estos resultados en la (figura 7) se han representado los períodos en los que la diferencia entre muestras es menor (figura 7, a) y en la que es mayor (figura 7, b) para ese período.

Estos resultados nos dicen que existe un cambio en la distribución normal de las temperaturas, especialmente en el caso de las temperaturas máximas, para conocer la magnitud de las tendencias que estan sucediendo realizaremos nuevas pruebas.

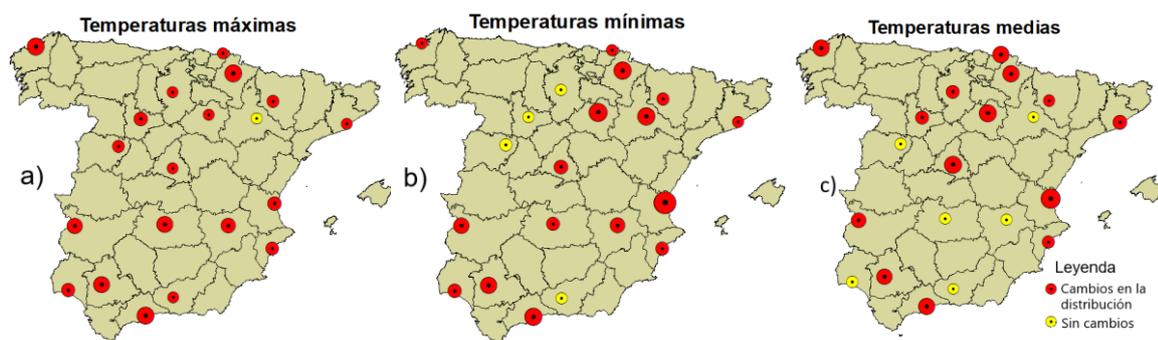


Figura 6: Estaciones donde se ha realizado un test K-S entre dos distribuciones de datos correspondientes a los períodos 1940-1970 y 1970-2000. a: para las temperaturas máximas, b: para las temperaturas mínimas, c: para las temperaturas medias. Las estaciones en rojo presentan un cambio en la distribución normal y las que están en amarillo no la presentan.

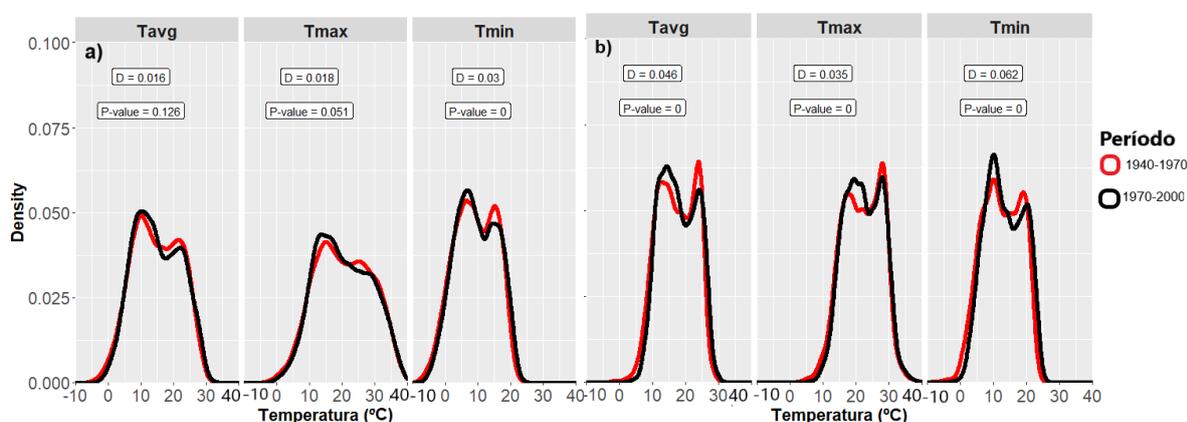


Figura 7: Distribución de frecuencia de temperatura en: a) Zaragoza, b) Valencia. Curva roja: período 1940-1970, curva negra: período 1970-2000.

Regresión lineal

Temperatura

Se realizó una regresión lineal para las temperaturas máximas, mínimas y medias. Se recogieron los resultados estadísticos obtenidos en la tabla (ver anexo 2) y se representó en un mapa (figura 8) en función de la dirección de la tendencia y de la magnitud de esta.

Se observa una clara tendencia general ascendente para todas las temperaturas estudiadas. Las zonas más afectadas son el litoral Mediterráneo y la comunidad de Madrid en específico.

La costa mediterránea recibe menos humedad que la Atlántica, por lo que su ambiente es más seco, sumado a que algunos estudios han revelado que el mar Mediterráneo está sufriendo un aumento de su temperatura más acelerado que el resto de masas de agua debido a que se encuentra muy aislado del resto de océanos y no intercambia agua con ellos (notivoli et al., 2021). Destaca por encima del resto de zonas de interior la comunidad de Madrid, que presenta

unas tendencias muy altas en comparación a los territorios cercanos. Esto no tiene una explicación evidente, pero algunos autores señalan su continentalidad (García y Álvarez, 2008) como factor potenciador, donde al estar completamente rodeado de montañas, la humedad recibida es menor. Otra hipótesis es la de que la ciudad de Madrid crea una “isla de calor” por su gran tamaño y emisión de gases (Gómez, 1993) absorbiendo mucha más radiación solar de la que sería normal. Los efectos secundarios de este fenómeno son una degradación de la atmósfera local que disminuye la calidad del aire en la ciudad, unido a una modificación de la distribución de los vientos debido a las edificaciones que favorecen el aumento de las partículas en suspensión en el aire, aumentando los problemas respiratorios (Mata, 2010). Otro estudio realizado por (Garcla y Gómez., 1996) relaciona el fenómeno de la “isla de calor” de Madrid con la propia topografía de la ciudad, donde las isoterma coinciden con los espacios construidos en zonas con la misma altitud, pero cuando el terreno se vuelve irregular se incurvan. Las cuñas de aire frío transcurren por las vaguadas del río Manzanares y la vaguada del Abroñigal, mientras que el aire caliente transcurre por los espacios construidos, favoreciendo el aumento de temperatura en las áreas pobladas. Estas zonas de acumulación del calor pueden afectar a los datos obtenidos por la estación meteorológica, atribuyendo este gran aumento en la temperatura a toda la comunidad cuando solo está ocurriendo en la ciudad. En la (figura 9) se muestran las estaciones con la mayor tendencia.

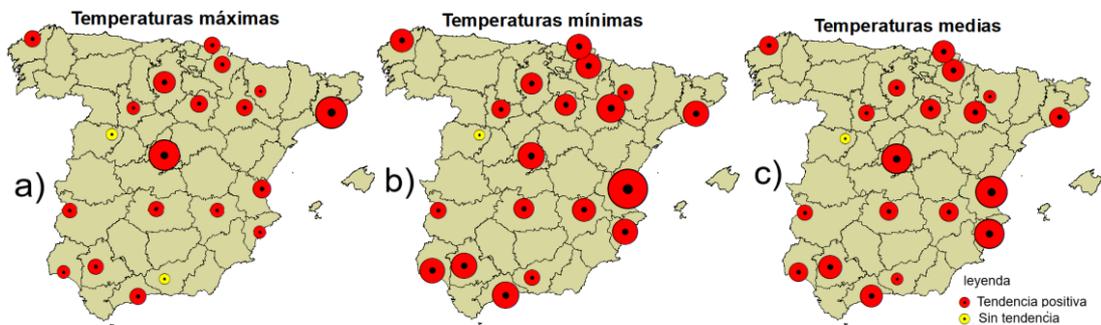


Figura 8: Estaciones donde se ha realizado una regresión lineal para el período 1940-2000. a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. Las estaciones en rojo presentan tendencia positiva y las amarillas no presentan ninguna.

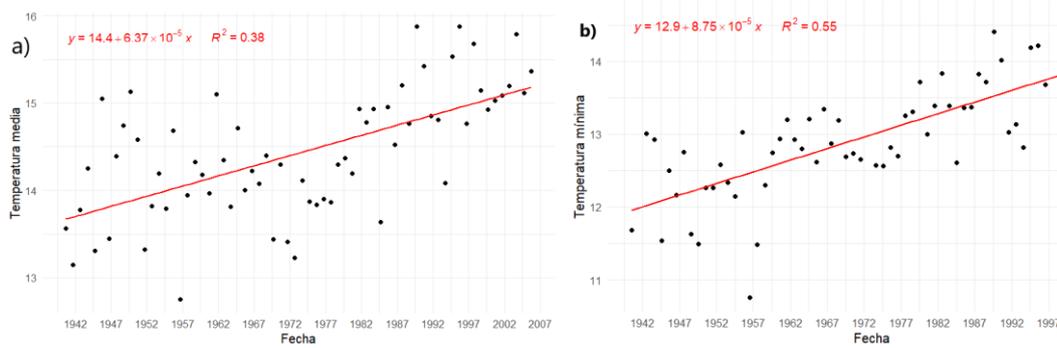


Figura 9: Regresión lineal de temperaturas para el período 1940-2000, a: para la media de las temperaturas de Madrid, b: para la media de las mínimas de Valencia.

Precipitación

Al igual que para la temperatura se hizo una regresión lineal para la precipitación media anual en distintos períodos (ver anexos 3 y 4) y con esos datos se crearon mapas temáticos de tendencia de temperaturas (figura 10). En el primer análisis se observa un aumento en las precipitaciones en el norte mientras se produce una disminución en el sur, concretamente en el valle del Guadalquivir. Estos resultados coinciden con lo hallado en otro trabajo (Merino et al., 2022), con la diferencia que aquí se observa una tendencia mucho más clara en la meseta castellana. Por el contrario, sí la serie empieza a partir de 1950, no encontramos ninguna tendencia clara. Actualmente, el pensamiento más extendido es que el cambio climático no afecta de forma directa a la precipitación anual de un lugar, aunque sí que afecta a los regímenes globales desplazando las corrientes atmosféricas (Jacob y Winner, 2009; Blade et al., 2010). Los resultados del análisis (ver anexo 3) podrían ser explicados por los ciclos de sequía naturales (Gallardo et al, 2016; Merino et al., 2015), ya que como se observa en la (figura 1), en los primeros años del siglo pasado hubo un importante período de sequía. Si eliminamos ese período del análisis nos encontramos con la desaparición de las tendencias en la precipitación, por lo que la hipótesis resulta factible.

En la figura 11 se han representado las diferencias en las regresiones cuando se utilizan períodos diferentes.

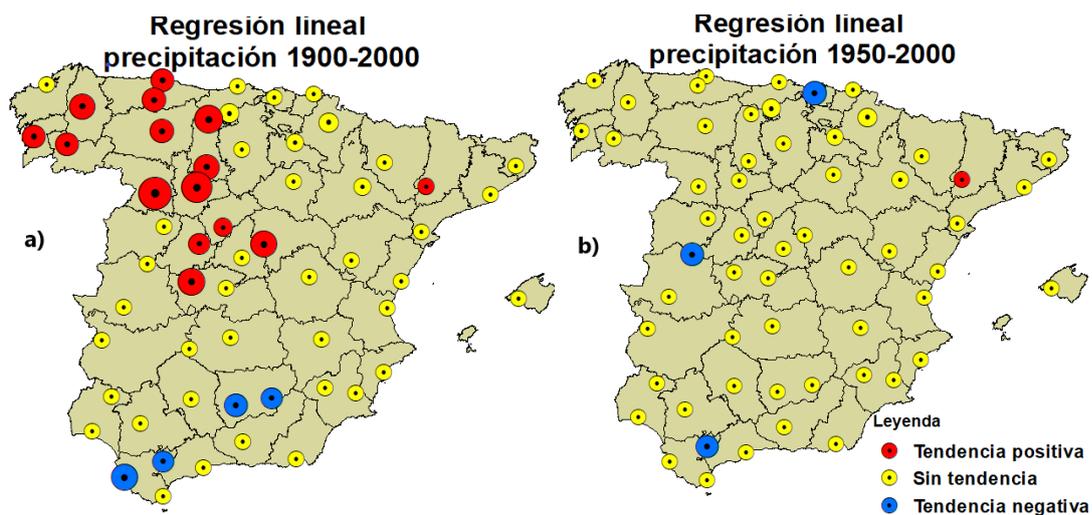


Figura 10: Regresión lineal para la precipitación anual en distintos períodos. a: 1900-2000, b: 1950-2000. En rojo las estaciones con tendencia positiva, en azul las que presentan tendencia negativa y en amarillo las que no presentan ninguna. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

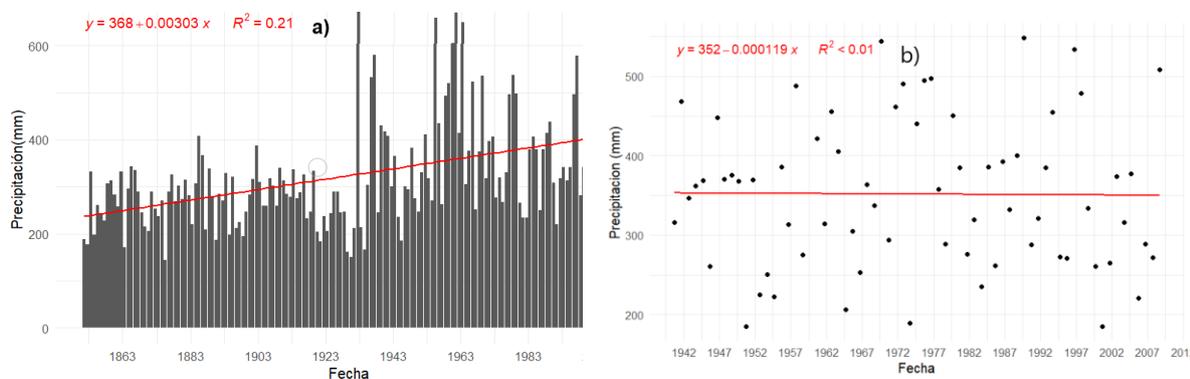


Figura 11: Regresión lineal de precipitaciones en Toledo, a: 1855-2000, b: 1950-2000. Fuente: elaboración propia con RStudio a partir de datos de AEMET.

Test de Mann-Kendall

Precipitación

Según los resultados del análisis de tendencias (ver anexo 6) existe un aumento de las precipitaciones al norte del sistema central (figura 12, a) mientras que existe una clara disminución en las precipitaciones del valle del Guadalquivir. Estos resultados son parecidos a los obtenidos a partir de la regresión lineal de la (figura 10), pero aquí el aumento en la tendencia se extiende más al sur y por el litoral Cantábrico. Cuando analizamos el período de 1950-2000 (ver anexo 7), de nuevo obtenemos resultados similares a los del apartado anterior, la principal diferencia entre la regresión lineal y el Mann-Kendall es que en la (figura 12, b) se mantiene la tendencia negativa para la precipitación en el valle del Guadalquivir. Este fenómeno ya ha sido

comprobado anteriormente por otros autores (Gallardo et al., 2016), donde se señala este valle como uno de los lugares de la Península Ibérica que más sufre de un régimen de precipitación muy irregular, facilitando la aparición de falsos positivos en las pruebas (Gallardo et al., 2016).

Tanto para el análisis de Mann-Kendall como en la regresión lineal se observa cierta tendencia negativa en la costa cantábrica. Según el trabajo de (Torrijo et al., 2016) esta disminución estaría relacionada con un aumento de las corrientes de aire provenientes del sur, quedando la humedad de las nubes retenida en el sistema central o en la cara sur de la cordillera Cantábrica, lo que explicaría el aumento de precipitación en Burgos y Ávila.

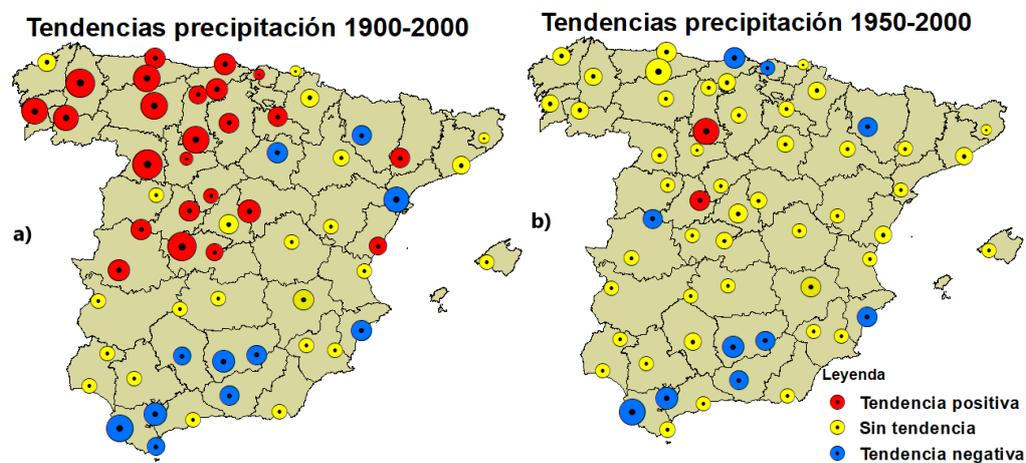


Figura 12. Mapas de tendencias de las precipitaciones durante el siglo pasado. a: período 1900-2000, b: período 1950-2000. En rojo las estaciones con tendencia positiva, en azul las que presentan tendencia negativa y en amarillo las que no presentan ninguna. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

Temperatura

A diferencia de los resultados obtenidos para las tendencias de la precipitación, estos son muy claros (ver anexo 5), existe una tendencia positiva en toda la Península Ibérica para todas las variables estudiadas (figura 13), temperatura media y la media de las máximas y mínimas. Al igual que en la regresión lineal, el mayor aumento de temperatura nos lo encontramos en el litoral Mediterráneo y en Madrid.

Si observamos el mapa encontramos una situación curiosa, en la estación de Salamanca no existen evidencias de que las temperaturas hayan aumentado durante el período estudiado. Este resultado es muy raro ya que al ser un territorio de interior rodeado por muchas cordilleras debería ser más sensible a las tendencias globales de aumento de temperaturas. Si comparamos

con estudios similares encontramos que sus resultados coinciden. En el estudio publicado por (Díaz, 2004) en el que también utiliza la prueba de Mann-Kendall para series largas del período 1943-2003. Según sus resultados él tampoco encontró una tendencia significativa en las temperaturas para Salamanca, aunque si demostró un aumento en el número de días de “ola de calor”. Coincide también con mis resultados la gran tendencia encontrada para la costa valenciana y su ausencia en la estación de San Sebastián. Por el contrario, en este trabajo se encontró una tendencia mucho menos elevada para la provincia de La Coruña que en el presentado por este autor, esto puede ser atribuido a que su trabajo tiene en cuenta la gran ola de calor que ocurrió en el año 2003, obteniendo resultados más pronunciados.



Figura 13: Análisis de tendencias con la prueba de Mann-Kendall para: a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. En rojo las estaciones con tendencia positiva, en azul las que presentan tendencia negativa y en amarillo las que no presentan ninguna. Fuente: elaboración propia con ArcGis a partir datos de AEMET.

4.2 ÍNDICE DE TELECONEXIÓN

Se ha analizado el efecto de la NAO en el clima de la Península Ibérica, así como su relación con el cambio climático.

Correlación Nao-precipitación

Tenemos una clara relación entre la NAO y las precipitaciones de la Península Ibérica (ver anexos 8, 9, 10 y 11), especialmente en invierno. Las precipitaciones aumentan en gran medida durante la fase negativa de la NAO y disminuyen durante la positiva (figura 14). La influencia es especialmente notable en invierno, cuando la NAO tiene mas fuerza. Durante el invierno (figura 14, a) afecta a toda la Península Ibérica modificando los niveles normales de precipitación en función de si se encuentra en fase positiva o negativa, excepto a las zonas bañadas por el mar Cantábrico y la región de Murcia. En Murcia como ya hemos visto, la gran muralla natural de montañas impide que llegue la humedad del Atlántico. En el caso del País Vasco, debido a la orientación de la corriente atmosférica es posible que las montañas de la

comunidad y la propia cordillera Cantábrica lo impidan. Una vez llegada la primavera (figura 14, b) disminuye la fuerza de la NAO (Blade et al., 2010) y ya no consigue afectar al mediterráneo. En el verano (figura 14, c) la NAO se encuentra completamente debilitada y normalmente España se ve influenciado por el anticiclón de las Azores, que nos proporciona ese clima mediterráneo propio de los meses estivales (Chazarra et al., 2018). En otoño (figura 14, d) observamos un repunte en la fuerza de la NAO, aunque con menor intensidad que en primavera, afectando a la mitad oeste de la Península Ibérica. Estos resultados coinciden con lo esperado ya que la NAO es el principal fenómeno meteorológico que afecta al sur de Europa (Blade et al., 2010). Para las anomalías encontradas en el Mediterráneo y en el Cantábrico, es algo común que estas zonas sean menos sensibles a fenómenos meteorológicos provenientes del Atlántico. Esta hipótesis ha sido ampliamente contrastada en multitud de trabajos (Parra et al., 2004; Rodrigo, 2016), debido a la orografía que bloquea la humedad proveniente del Atlántico.

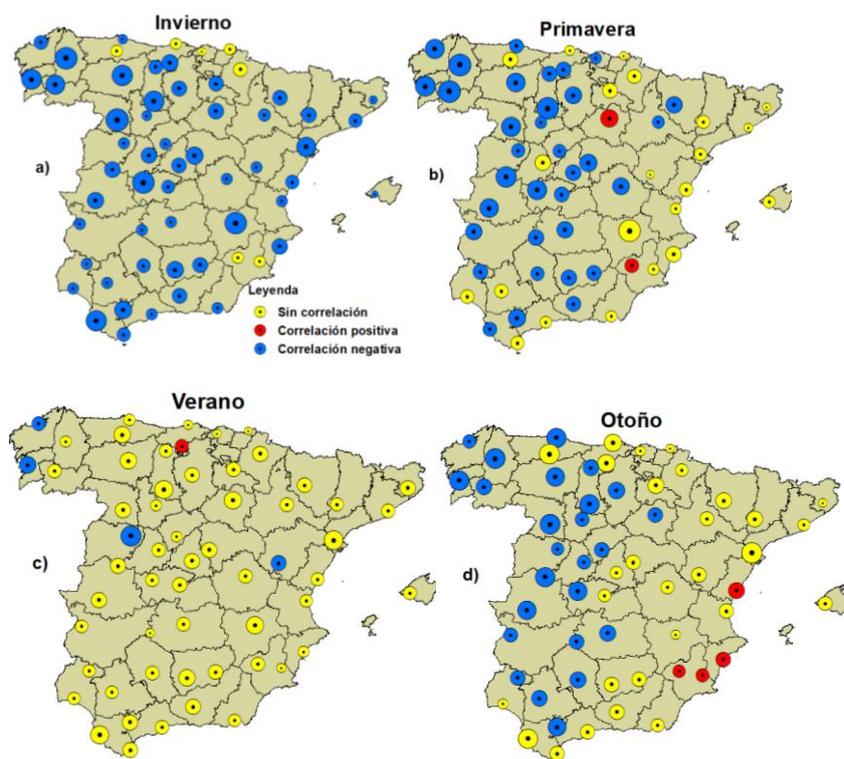


Figura 14: Relación entre el índice NAO y las precipitaciones durante: a: en invierno, b: en primavera, c: en verano, d: en otoño. En rojo las estaciones con correlación positiva, en azul las que presentan correlación inversa y en amarillo las que no presentan correlación. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

Correlación NAO y Temperatura

Se analizó la influencia de la NAO en la temperatura de la zona de estudio de la misma forma que con la precipitación (ver anexos 12, 13, 14 y 15). Al contrario que con la precipitación, es más complicado encontrar una relación. En invierno y primavera (figura 15 y 16) nos hemos encontrado indicios de influencia en las temperaturas mínimas y máximas. La fase positiva parece aumentar las temperaturas extremas, pero no parece influenciar en las medias estacionales. La fase negativa también las disminuye. La relación temperatura-NAO se podría explicar por la nubosidad asociada al fenómeno. Cuando la Nao se encuentra en su fase positiva, la nubosidad y humedad se dirigen hacia el norte y este de Europa sin pasar por España, esta disminución de la nubosidad aumenta la radiación solar que llega a la superficie, aumentando la temperatura. Para las temperaturas medias, los resultados obtenidos en primavera e invierno no muestran ningún indicio de que la NAO afecta a la media estacional de las temperaturas, lo que podría indicar que el aumento de máximos y mínimos no es lo bastante importante para afectar a la temperatura media.

En las estaciones de verano y otoño (figura 17 y 18) no se ha encontrado que la NAO influya de ninguna manera a las temperaturas. Este resultado tiene sentido porque si en los meses de mayor fuerza de la NAO la influencia en las temperaturas no es muy clara, en los meses más débiles esta influencia debería ser mucho menor. Si comparamos los resultados obtenidos con los de otros trabajos (Rodrigo, 2016) parece que se llega a los mismos resultados, pero solo cuando el análisis se hace diferenciando las 4 estaciones. En el caso de utilizar el índice medio anual no se encuentran relaciones (Parra et al., 2004), probablemente debido a que el verano eclipsa los valores del resto del año.

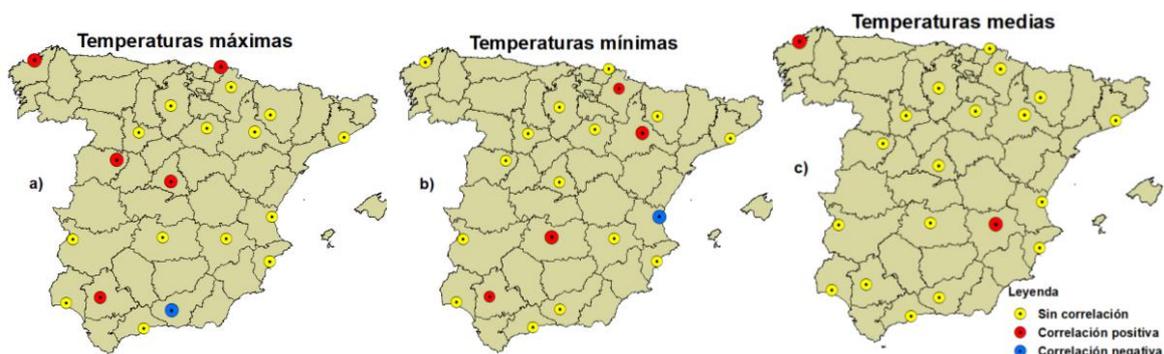


Figura 15: Correlación entre la temperatura y la NAO en invierno. a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. En rojo las estaciones con correlación positiva, en azul las que presentan correlación inversa y en amarillo las que no presentan correlación. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

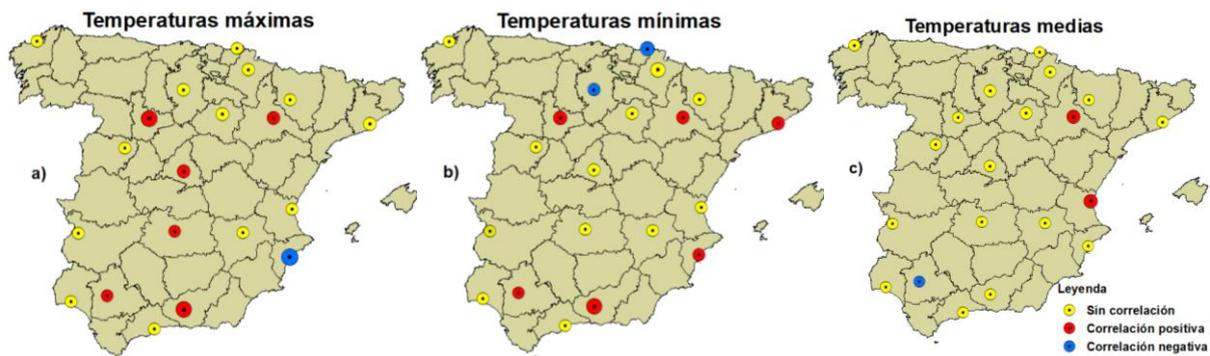


Figura 16: Correlación entre la temperatura y la NAO en primavera. a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. En rojo las estaciones con correlación positiva, en azul las que presentan correlación inversa y en amarillo las que no presentan correlación. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

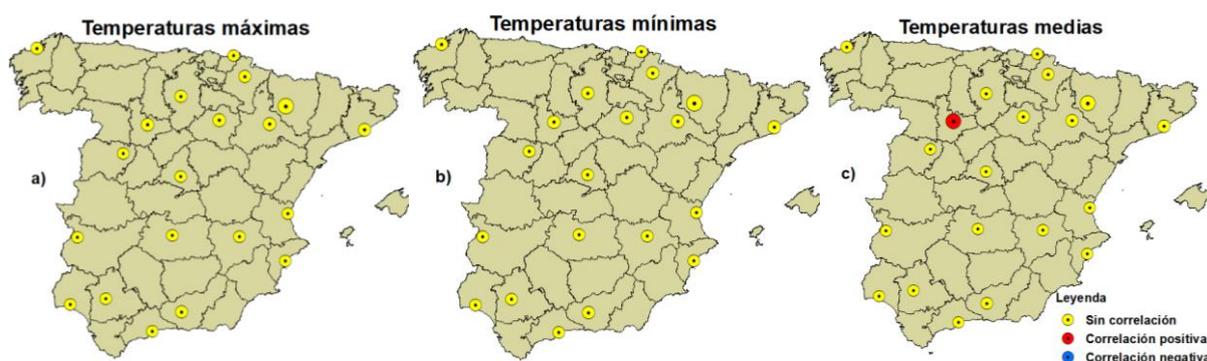


Figura 17: Correlación entre la temperatura y la NAO en verano. a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. En rojo las estaciones con correlación positiva, en azul las que presentan correlación inversa y en amarillo las que no presentan correlación. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.



Figura 18: Correlación entre la temperatura y la NAO en otoño. a: temperaturas máximas, b: temperaturas mínimas, c: temperaturas medias. En rojo las estaciones con correlación positiva, en azul las que presentan correlación inversa y en amarillo las que no presentan correlación. Fuente: elaboración propia con ArcGis con datos de AEMET.

Tendencia de la NAO.

El propio índice de la NAO también sufre variaciones temporales, como vemos en el gráfico de tendencias (figura 19), actualmente el índice NAO se encuentra siguiendo una tendencia positiva. Esta tendencia está causada por una disminución en la fuerza de la borrasca Ártica (Gillett et al., 2003). A su vez, algunos autores han señalado que esta disminución no sigue un patrón natural y lo han relacionado con un aumento en la concentración de GEI (Gillett et al., 2003; Woollings y Blackburn, 2012). Como ya se ha demostrado en los apartados anteriores, el aumento en el índice NAO provocará una disminución en las precipitaciones recibidas en la Península Ibérica y aumentará las temperaturas en algunos puntos.

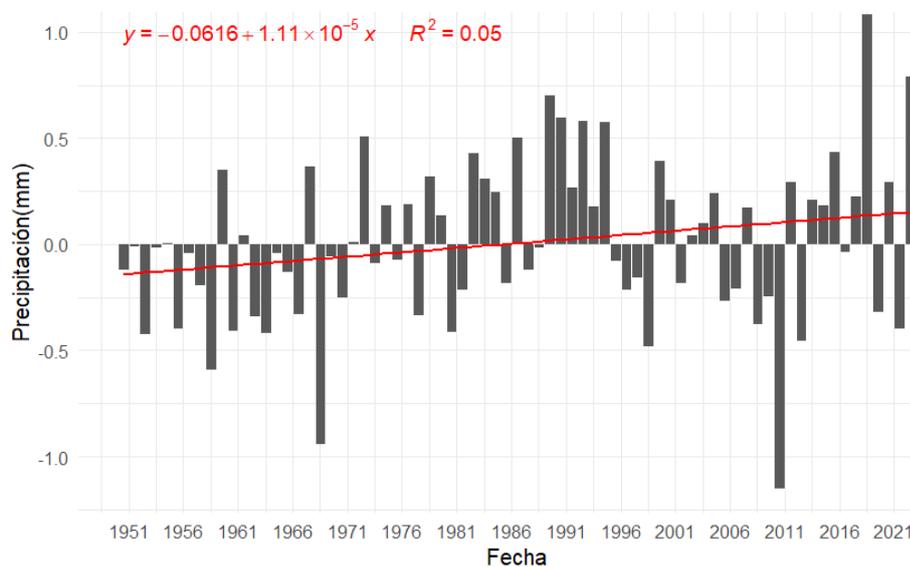


Figura 19: Evolución del índice NAO. Fuente: elaboración propia a través de RStudio a partir de datos de la organización meteorológica mundial.

5. CONCLUSIONES

La temperatura general de la Península Ibérica y Baleares, así como sus valores extremos, están aumentando. Todas las pruebas estadísticas han dado como resultado una clara tendencia de las temperaturas a aumentar con el paso de los años. El ritmo de crecimiento de la temperatura es mayor en la costa mediterránea debido a que es un mar cerrado con dificultad para intercambiar agua con otros océanos, haciendo que sea más susceptible a los aumentos de temperatura. El interior es más sensible a los cambios de temperatura debido a que la mayor parte del aire que recibe es seco, la humedad ha quedado retenida en alguna de las grandes formaciones geológicas que posee la península, sin embargo, este aumento es menor al esperado respecto a

las zonas de litoral. En el caso de Madrid a la continentalidad hay que sumarle su gran actividad industrial y humana, así como la gran cantidad de superficie asfaltada, generando así una isla de calor que aumenta los picos de temperatura de la zona.

El caso de la precipitación es diferente, existen grandes fluctuaciones en los regímenes de lluvia, dando lugar a períodos de sequía e inundaciones. No se ha identificado un aumento en la precipitación en los últimos 70 años, pero si un período de sequía durante los primeros 10 años del siglo pasado. En conclusión, no se ha identificado que el cambio climático modifique las precipitaciones a escala local.

Después de realizar tres análisis estadísticos distintos para las tendencias de precipitación y temperatura, se ha llegado a la conclusión de que el mejor método a utilizar es la prueba de Mann-Kendall por su resistencia a valores extremos puntuales, si bien los resultados entre esta prueba y la regresión lineal son parecidos, los hallados con Mann-Kendall se ajustan mejor a los resultados de otros trabajos. En el caso de la prueba K-S, aporta información útil para el análisis climático en escalas grandes de tiempo, pero el resto de las pruebas resultan más eficaces en el análisis de tendencias.

Tras analizar el efecto de la NAO en la zona de estudio, se ha determinado que las precipitaciones se ven fuertemente influenciadas por este fenómeno, aumentando de forma significativa cuando esta se encuentra en su fase negativa, excepto en el litoral Cantábrico y Murcia. Esta influencia es mucho más fuerte en invierno, cuando afecta a toda la península. Durante el resto de estaciones esta influencia va disminuyendo hasta llegar al verano donde la NAO es muy débil y no tiene efectos. Para la temperatura se ha encontrado cierta relación durante la primavera y el invierno, aumentando los máximos y mínimos en la fase positiva, pero sin afectar a la temperatura media general. El propio índice NAO presenta una tendencia a permanecer más tiempo en su fase positiva, disminuyendo las precipitaciones y aumentando las temperaturas. Existe cierta relación causal entre el aumento del índice NAO y el cambio climático por los cambios en las corrientes atmosféricas árticas (Gillett et al., 2003).

6. BIBLIOGRAFÍA

Molina, J. J. C. (1978). Factores del clima de la Península Ibérica. *Paralelo 37*, (2), 5-13.

Alonso, J. L., Pulgar, F. J. Á., & Pedreira, D. (2007). El relieve de la Cordillera Cantábrica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(2), 151-163.

Gallardo, M. P., Fortis, S. G., Díez, A. Y. C., & Esteban-Parra, M. J. (2016). Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el periodo 1901-2012. *Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters*, (42), 67-88.

- Babault, J., & Teixell, A. (2007). El relieve de los Pirineos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(2), 135-150.
- Badii, M. H., Guillen, A., Lugo Serrato, O. P., & Aguilar Garnica, J. J. (2014). Correlación no-paramétrica y su aplicación en la investigaciones científica non-parametric correlation and its application in scientific research. *International Journal of Good Conscience*, 9(2), 31-40.
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. (2010). Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2(2), 281-313.
- Chazarra, A., Rodríguez Ballesteros, C., & Flores Herráez, C. (2018). Climatología y observaciones.
- Serrano Notivoli, R., Saz Sánchez, M. Á., & Tejedor Vargas, E. (2021). Clima, Sociedad y Medio Ambiente. *Geographicalia*.
- García-Fayos, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica.
- Garcla, F. F., & Gómez, A. L. (1996). La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal. *Estudios Geográficos*, 57(224), 473-494.
- Gillett, N. P., Graf, H. F., & Osborn, T. J. (2003). Climate change and the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 193-210.
- Gómez, A. L. (1993). *El Clima urbano: teledetección de la isla de calor en Madrid*. Editorial CSIC-CSIC Press.
- Horton, N. J., & Kleinman, K. (2015). *Using R and RStudio for data management, statistical analysis, and graphics*. CRC Press.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric environment*, 43(1), 51-63.
- Kane, S., Reilly, J., & Tobey, J. (1992). An empirical study of the economic effects of climate change on world agriculture. *Climatic change*, 21(1), 17-35.
- Sousa, A., García-Murillo, P., González Pérez, M. I., & García Barrón, L. (2004). La desaparición de las lagunas del entorno de Doñana (Huelva, España) y su relación con cambios climáticos recientes.
- Esteban Parra, M. J., Pozo Vázquez, D., Castro Díez, Y., & Trigo, R. M. (2004). Impacto de la NAO sobre las temperaturas máximas y mínimas de la Península Ibérica.
- Prieto, J. A. F. (1982). Aspectos geobotánicos de la Cordillera Cantábrica. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid* (Vol. 39, No. 2, pp. 489-513). Real Jardín Botánico.
- Merino, A., García-Ortega, E., Navarro, A., Sánchez, J. L., & Tapiador, F. J. (2022). WRF hourly evaluation for extreme precipitation events. *Atmospheric Research*, 274, 106215.
- Merino, A., López, L., Hermida, L., Sánchez, J. L., García-Ortega, E., Gascón, E., & Fernández-González, S. (2015). Identification of drought phases in a 110-year record from Western Mediterranean basin: Trends, anomalies and periodicity analysis for Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change*, 133, 96-108.
- García de Pedraza, L., & García Vega, C. (1987). Caracteres meteorológicos de la Cordillera Central y del Sistema Ibérico.
- García de Pedraza, L. (1972). Fenómenos de estancamiento y Foehn.
- Peña Angulo, D., González-Hidalgo, J. C., Trigo, R., & Cortesi, N. (2016). La variabilidad espacial de las temperaturas en la Península Ibérica explicada por los tipos de tiempo de circulación zonal: Este y Oeste. Un posible efecto Foehn a escala peninsular.
- Bladé, I., Cacho, I., Castro-Díez, Y., Gomis, D., González-Sampériz, P., Míguez-Macho, G., ... & Vargas-Yáñez, M. (2010). Climate in Spain: past, present and future. Regional climate change assessment report.
- Pörtner, H. O., & Peck, M. A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *Journal of fish biology*, 77(8), 1745-1779.
- Rodrigo, F. S. (2016). Influencia de la NAO en la covariabilidad de temperaturas y precipitaciones de invierno en España, 1946-2005.

- Vera, J. A. (1994). Geología de Andalucía. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2), 306-317.
- Ubanell, A. G. (1994). Los modelos tectónicos del Sistema Central Español.
- García, F. F., & Álvarez, D. R. (2008). Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. *Estudios geográficos*, 69(265), 495-518.
- Woollings, T., & Blackburn, M. (2012). The North Atlantic jet stream under climate change and its relation to the NAO and EA patterns. *Journal of Climate*, 25(3), 886-902.
- Torrijo, R., Lomas, A., & López Díaz, J. A. (2016). Caracterización sinóptica de los regímenes estacionales de precipitación en observatorios de series largas.
- Zhang, G., Wang, X., Liang, Y. C., & Liu, J. (2010). Fast and robust spectrum sensing via Kolmogorov-Smirnov test. *IEEE Transactions on Communications*, 58(12), 3410-3416.
- Peláez, I. M. (2016). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *Revista Seden*, 14, 195-214.
- Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., ... & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8, 14.
- Abdi, H. (2007). The Kendall rank correlation coefficient. *Encyclopedia of measurement and statistics*, 2, 508-510.
- Mata, E. V. (2010). Calidad del aire y sus efectos en la salud humana. *Revista Éxito Empresarial*, 149, 1-5.
- López Díaz, J. A. (2004). Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura.
- RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R (Versión 3.3.3)*. RStudio. Disponible en: URL <http://www.rstudio.com/>. (Accedido: 4 de mayo de 2022).
- Redlands, C. E. S. R. I. (2011). *ArcGIS Desktop: (Versión 10.8.1) ArcGis*. Disponible en: URL www.esri.com. (Accedido: 7 de mayo de 2022)

ANEXO

Anexo 1: significación estadística para la temperatura máxima, mínima y media entre los periodos 1940-1970 y 1970-2000. Test K-S

Estación	Estadístico Tmax	D	Estadístico Min	T	D	Estadístico Tavg	D
Albacete	0.006	0.023	0.03		0.02	0.051	0.019
Alicante	<0.001	0.036	<0.001		0.03	0.001	0.027
Badajoz	<0.001	0.039	<0.001		0.028	0.049	0.018
Barcelona	<0.001	0.043	0.002		0.026	<0.001	0.033
Burgos	<0.001	0.031	0.086		0.017	0.021	0.016
Cádiz	<0.001	0.039	<0.001		0.039	0.016	0.021
Ciudad-Real	0.003	0.025	0.005		0.023	0.295	0.013
Granada	<0.001	0.034	0.297		0.013	0.082	0.017
Huelva	<0.001	0.036	<0.001		0.035	0.053	0.018
Huesca	<0.001	0.033	0.009		0.022	0.003	0.024
La Coruña	0.003	0.024	0.001		0.026	0.001	0.026
Madrid	<0.001	0.038	<0.001		0.031	<0.001	0.036

Málaga	<0.001	0.038	<0.001	0.028	0.10	0.017
Murcia	0.029	0.02	0.018	0.021	0.03	0.025
Pamplona	<0.001	0.032	<0.001	0.041	<0.001	0.031
Salamanca	0.001	0.026	0.007	0.023	0.003	0.024
Sevilla	0.001	0.027	<0.001	0.046	0.045	0.019
Soria	0.007	0.023	0.001	0.027	0.005	0.023
Valencia	<0.001	0.035	<0.001	0.062	<0.001	0.046
Valladolid	<0.001	0.031	0.095	0.017	0.009	0.022
Zaragoza	0.051	0.018	<0.001	0.03	0.126	0.016

Anexo 2: Regresión lineal de la temperatura para la Península Ibérica para el periodo 1940-2000.

Estación	R ² de las máximas	R ² de las mínimas	R ² de las medias	Estación	R ² de las máximas	R ² de las mínimas	R ² de las medias
Albacete	0.06+	0.24+	0.17+	La Coruña	0.11+	0.24+	0.17
Alicante	0.13+	0.28+	0.37+	Madrid	0.38+	0.30+	0.38+
Badajoz	0.08+	0.11+	0.10+	Málaga	0.11+	0.30+	0.23+
Barcelona	0.39+	0.29+	0.19+	Murcia	0.13+	0.29+	0.25+
Burgos	0.21+	0.21+	0.12+	Pamplona	0.04+	0.01+	0.02+
Cádiz	0.01+	0.33+	0.16+	Salamanca	0.02+	<0.01	<0.01
Ciudad-Real	0.09+	0.18+	0.15+	Sevilla	0.09+	0.29+	0.25+
Granada	<0.01+	0.10+	0.03+	Soria	0.12+	0.21+	0.19+
Huelva	0.04	0.27	0.16	Valencia	0.14+	0.55+	0.41+
Huesca	0.02+	0.11+	0.05+	Valladolid	0.05+	0.15+	0.11+
Zaragoza	0.11+	0.34+	0.23+				

Anexo 3: Regresión lineal de la precipitación anual para la Península Ibérica para el periodo 1900-2000.

Estación	R ²	Estación	R ²	Estación	R ²	Estación	R ²
Albacete	<0.01	Coruña	0.02	Logroño	0.05	Sevilla	<0.01
Alicante	0.070	Cuenca	<0.01	Lugo	0.12	Soria	0.03
Almadén	0.070	Daroca	<0.01	Madrid	0.02	Talavera	0.14
Almería	0.050	Figuera	0.06	Málaga	0.01	Teruel	<0.01
Aracena	<0.01	Gibraltar	0.04	Mao	<0.01	Toledo	0.03
Ávila	0.07	Gijón	0.09	Murcia	0.03	Tortosa	0.03
Badajoz	<0.01	Girona	<0.01	Oña	0.07	Valencia	<0.01
Barcelona	0.02	Granada	0.05	Ourense	0.09.	Valladolid	0.18
Bilbao	<0.01	Grazalema	0.07	Oviedo	0.100	Zamora	0.21
Burgos	0.04	Guadalajara	0.13	Palencia	0.12	Zaragoza	<0.01
Bustamante	0.04	Guerrí	<0.01	Palma	<0.01	San Fernando	0.13
Cáceres	0.03	Hervás	<0.01	Pamplona	<0.01	San Sebastián	<0.01
Segovia	0.03	Huelva	<0.01	Pontevedra	0.09.	Santander	0.05

Castellón	0.05	Huesca	<0.01	Salamanca	<0.01	Ciudad Real	<0.01
Cazorla	0.07	Jaén	0.09	Segovia	0.03	Lleida	0.06
Cehegín	<0.01	León	0.10	Córdoba	0.02		

Anexo 4: Regresión lineal de la precipitación anual para la Península Ibérica para el periodo 1950-2000

Estación	R ²	Estación	R ²	Estación	R ²	Estación	R ²
Albacete	<0.01	Coruña	0.03	Logroño	<0.01	Sevilla	<0.01
Alicante	0.02	Cuenca	<0.01	Lugo	0.03	Soria	0.03
Almadén	<0.01	Daroca	<0.01	Madrid	<0.01	Talavera	<0.01
Almería	<0.01	Figueras	0.03	Málaga	0.03	Teruel	0.03
Aracena	<0.01	Gibraltar	<0.01	Mao	<0.01	Toledo	<0.01
Ávila	0.06-	Gijón	<0.01	Murcia	<0.01	Tortosa	<0.01
Badajoz	<0.01	Girona	<0.01	Oña	<0.01	Valencia	0.03
Barcelona	<0.01	Granada	<0.01	Ourense	<0.01	Valladolid	0.05
Bilbao	0.11-	Grazalema	0.09	Oviedo	<0.01	Zamora	<0.01
Burgos	<0.01	Guadalajara	<0.01	Palencia	<0.01	Zaragoza	<0.01
Bustamante	<0.01	Guerrri	<0.01	Palma	<0.01	San Fernando	<0.01
Cáceres	0.03	Hervás	0.10-	Pamplona	<0.01	San Sebastián	<0.01
Segovia	<0.01	Huelva	<0.01	Pontevedra	0.02	Santander	<0.01
Castellón	<0.01	Huesca	0.03	Salamanca	<0.01	Ciudad Real	<0.01
Cazorla	<0.01	Jaén	<0.01	Segovia	<0.01	Lleida	<0.01
Cervera	0.04	Linares	<0.01	Córdoba	<0.01	León	<0.01
Cehegín	<0.01						

Anexo 5: Análisis de tendencia de la temperatura en la Península Ibérica para el periodo 1940-2000 con el método de Mann-Kendall.

Estación	Temperatura media anual de las mínimas		Temperatura media anual de las máximas		temperatura media anual	
	Estadístico	tau	Estadístico	tau	Estadístico	tau
Albacete	>0.001	0.325	0.0375	0.176	>0.001	0.286
Alicante	>0.001	0.370	0.008	0.223	>0.001	0.325
Badajoz	0.011	0.216	0.004	0.245	0.002	0.261
Barcelona	0.003	0.260	>0.001	0.409	>0.001	0.363
Burgos	0.006	0.228	>0.001	0.323	>0.001	0.298
Cádiz	>0.001	0.326	0.489	0.0592	0.009	0.221
Ciudad real	0.001	0.273	0.023	0.193	0.005	0.236
Granada	0.010	0.217	0.507	0.056	0.132	0.127
Huelva	>0.001	0.312	0.195	0.11	0.007	0.227
Huesca	0.021	0.193	0.219	0.104	0.075	0.151

La Coruña	>0.001	0.367	0.002	0.258	>0.001	0.306
Madrid	>0.001	0.385	>0.001	0.446	>0.001	0.442
Málaga	>0.001	0.348	0.003	0.248	>0.001	0.311
Pamplona	>0.001	0.379	0.002	0.272	>0.001	0.354
Salamanca	0.982	0.002	0.125	0.13	0.364	0.077
San Sebastián	0.082	0.147	0.017	0.202	0.064	0.157
Sevilla	>0.001	0.309	0.031	0.182	>0.001	0.287
Soria	>0.001	0.288	0.005	0.238	>0.001	0.290
Valencia	>0.001	0.608	>0.001	0.393	>0.001	0.527
Valladolid	0.012	0.212	0.015	0.205	0.008	0.224
Zaragoza	>0.001	0.406	>0.001	0.183	>0.001	0.314

Anexo 6: Análisis de tendencia de la precipitación en la Península Ibérica para el periodo 1900-2000 con el método de Mann-Kendall.

Estación	Estadístico	tau	Estación	Estadístico	tau
Albacete	0.451	-0.040	Coruña	0.063	0.100
Alicante	<0.001	-0.181	Cuenca	0.605	-0.028
Almadén	0.353	-0.051	Daroca	0.636	0.025
Almería	0.499	0.151	Figueras	0.0015	0.171
Aracena	0.580	-0.0298	Gibraltar	0.004	-0.154
Ávila	0.002	0.161	Gijón	<0.001	0.208
Badajoz	0.654	0.0241	Girona	0.95	-0.003
Barcelona	0.075	0.0956	Granada	0.018	-0.127
Bilbao	0.942	0.004	Grazalema	<0.001	-0.186
Burgos	0.017	0.128	Guadalajara	<0.001	0.231
Bustamante	0.001	0.175	Guerri	0.756	-0.017
Cáceres	0.008	0.143	Hervás	0.019	0.125
Segovia	0.040	0.110	Huelva	0.883	0.008
Castellón	0.001	0.139	Huesca	0.251	-0.061
Cazorla	0.005	-0.149	Jaén	<0.001	-0.218
Cehegín	0.393	0.046	León	<0.001	0.262
Cervera	<0.001	0.269	Linares	0.001	0.174
Ciudad Real	0.94	0.004	Lleida	0.006	0.148
Córdoba	0.038	-0.111	Lluvia	0.454	-0.040
Logroño	0.0086	0.141	Segovia	0.040	0.11
Lugo	<0.001	0.24	Sevilla	0.698	-0.021
Madrid	0.086	0.092	Soria	0.022	-123
Málaga	0.861	-0.009	Talavera	<0.001	0.25
Mao	0.407	-0.044	Teruel	0.956	-0.003
Murcia	0.086	-0.092	Toledo	0.004	0.154

Oña	0.003	0.162	Tortosa	0.046	0.107
Ourense	<0.001	0.206	Valencia	0.73	0.018
Oviedo	<0.001	0.214	Valladolid	<0.001	0.300
Palencia	<0.001	0.236	Zamora	<0.001	0.302
Palma	0.396	-0.467	Zaragoza	0.379	0.047
Pamplona	0.429	0.043	San Fernando	<0.001	-0.256
Pontevedra	<0.001	0.196	San Sebastián	0.435	-0.042
Salamanca	0.890	0.0075	Santander	0.007	0.144
Segovia	0.040	0.11			

Anexo 7: Análisis de tendencia de la precipitación en la Península Ibérica para el periodo 1950-2000 con el método de Mann-Kendall.

Estación	Estadístico	tau	Estación	Estadístico	tau
Albacete	0.958	-0.005	Coruña	0.773	0.026
Alicante	0.041	-0.184	Cuenca	0.093	-0.151
Almadén	0.377	-0.080	Daroca	0.360	-0.082
Almería	0.284	-0.096	Figuera	0.026	-0.200
Aracena	0.978	>0.001	Gibraltar	0.539	-0.056
Ávila	>0.001	0.306	Gijón	0.200	-0.115
Badajoz	0.085	-0.154	Girona	0.346	-0.085
Barcelona	0.973	0.035	Granada	0.020	-0.212
Bilbao	>0.001	-0.312	Grazalema	0.007	-0.244
Burgos	0.619	-0.045	Guadalajara	0.085	0.154
Bustamante	0.763	0.0275	Guerri	0.214	-0.112
Cáceres	0.764	0.028	Hervás	0.002	-0.276
Segovia	0.896	0.012	Huelva	0.804	-0.021
Castellón	0.126	0.137	Huesca	0.009	-0.236
Cazorla	0.013	-0.223	Jaén	0.007	-0.244
Cehégín	0.169	0.123	León	0.214	-0.212
Cervera	0.739	0.024	Linares	0.456	-0.067
Córdoba	0.261	-0.101	Segovia	0.040	0.11
Ciudad Real	0.154	-0.128	Lleida	0.158	-0.127
Logroño	0.326	0.088	Segovia	0.896	0.013
Lugo	0.927	0.009	Sevilla	0.127	-0.137
Madrid	0.363	-0.081	Soria	0.244	-0.105
Málaga	0.158	-0.127	Talavera	0.214	-0.111
Mao	0.056	-0.171	Teruel	0.061	-0.168
Murcia	0.844	-0.081	Toledo	0.301	-0.093

Oña	0.517	0.059	Tortosa	0.989	-0.001
Ourense	0.958	-0.005	Valencia	0.844	0.018
Oviedo	0.844	-0.018	Valladolid	0.191	0.118
Palencia	0.027	0.198	Zamora	0.887	-0.013
Palma	0.212	0.112	Zaragoza	0.864	-0.016
Pamplona	0.209	-0.113	San Fernando	0.002	-0.279
Pontevedra	0.647	0.042	San Sebastián	0.167	-0.124
Salamanca	0.642	-0.042	Santander	0.002	-0.275

Anexo 8: Coeficiente de correlación de Kendall y estadístico de probabilidad entre la precipitación y el índice NAO en invierno.

Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ
Albacete	<0.01	-0.43	Coruña	<0.01	-0.14	Logroño	<0.01	-0.14
Alicante	<0.01	-0.15	Cuenca	<0.01	-0.38	Lugo	<0.01	-0.19
Almadén	<0.01	-0.38	Daroca	<0.01	-0.28	Madrid	<0.01	-0.40
Almería	<0.01	-0.24	Figueras	<0.01	-0.13	Málaga	<0.01	-0.34
Aracena	<0.01	-0.40	Gibraltar	<0.01	-0.39	Mao	0.023	-0.112
Ávila	<0.01	-0.23	Gijón	0.019	-0.12	Murcia	0.15	-0.07
Badajoz	<0.01	-0.43	Girona	<0.01	-0.14	Oña	0.018	-0.12
Barcelona	<0.01	-0.17	Granada	<0.01	-0.43	Ourense	<0.01	-0.26
Bilbao	0.92	-0.0045	Grazalema	<0.01	-0.38	Oviedo	0.15	-0.072
Burgos	<0.01	-0.26	Guadalajara	<0.01	-0.34	Palencia	<0.01	-0.26
Bustamante	0.014	-0.12	Guerri	<0.01	-0.29	Palma	<0.01	-0.14
Cáceres	<0.01	-0.38	Hervás	<0.01	-0.39	Pamplona	0.218	-0.062
Segovia	<0.01	-0.25	Huelva	<0.01	-0.41	Pontevedra	<0.01	-0.20
Castellón	<0.001	-0.17	Huesca	<0.01	-0.34	Salamanca	<0.01	-0.32
Cazorla	<0.001	-0.36	Jaén	<0.01	-0.4	Segovia	<0.01	-0.24
Cehegín	0.27	-0.05	León	<0.01	-0.36	Segovia	<0.01	-0.25
Teruel	<0.01	-0.33	Tortosa	<0.01	-0.24	Valladolid	<0.01	-0.31
Toledo	<0.01	-0.40	Valencia	<0.01	-0.21	Zamora	<0.01	-0.35
Cervera	<0.01	-0.3	Linares	<0.01	-0.34	Sevilla	<0.01	-0.42
Ciudad Real	<0.01	-0.42	Lleida	<0.01	-0.26	Soria	<0.01	-0.35
Córdoba	<0.01	-0.42	Lluvia	<0.01	-0.30	Talavera	<0.01	-0.39
Zamora	<0.01	-0.35	San Fernando	<0.01	-0.40	Santander	0.81	-0.01
Zaragoza	<0.01	-0.25	San Sebastián	0.47	0.03			

Anexo 9: Coeficiente de correlación de Kendall y estadístico de probabilidad entre la precipitación y el índice NAO en primavera.

Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ
Albacete	0.645	-0.461	Coruña	<0.001	-0.264	Logroño	0.062	-0.095
Alicante	0.271	0.056	Cuenca	0.003	-0.148	Lugo	<0.001	-0.274
Almadén	0.002	-0.161	Daroca	0.584	-0.028	Madrid	0.032	-0.109
Almería	0.471	0.037	Figueras	<0.001	-0.190	Málaga	0.343	-0.048
Aracena	0.020	-0.118	Gibraltar	0.507	-0.034	Mao	0.634	0.024
Ávila	0.305	-0.052	Gijón	0.025	-0.114	Murcia	0.081	0.088
Badajoz	0.007	-0.136	Girona	0.546	-0.031	Oña	0.051	-0.099
Barcelona	0.535	0.031	Granada	0.400	-0.043	Ourense	<0.001	-0.269
Bilbao	0.036	-0.106	Grazalema	0.004	-0.147	Oviedo	0.063	-0.094
Burgos	<0.001	-0.217	Guadalajara	0.012	-0.127	Palencia	<0.001	-0.210
Bustamante	0.011	-0.130	Guerri	0.001	-0.162	Palma	0.059	0.098
Cáceres	<0.001	-0.177	Hervás	<0.001	-0.256	Pamplona	0.058	-0.096
Segovia	<0.001	-0.184	Huelva	0.062	-0.095	Pontevedra	<0.001	-0.239
Castellón	0.153	0.072	Huesca	0.010	-0.130	Salamanca	<0.001	-0.180
Cazorla	0.069	-0.092	Jaén	0.013	-0.125	Segovia	<0.001	-0.184
Cehegín	0.029	0.111	León	<0.001	-0.241	Segovia	<0.001	-0.184
Cervera	<0.001	-0.209	Linares	<0.001	-0.212	Sevilla	0.056	-0.097
Ciudad Real	0.003	-0.153	Lleida	0.247	-0.059	Soria	<0.001	0.241
Córdoba	0.013	-0.126	Lluvia	0.645	-0.023	Talavera	<0.001	-0.189
Teruel	0.640	0.024	Valladolid	0.002	-0.154	San Sebastián	0.311	-0.051
Toledo	0.021	-0.117	Zamora	<0.001	-0.195	Santander	0.434	-0.040
Tortosa	0.485	0.035	Zaragoza	0.028	-0.111	Valencia	0.236	0.060
San Fernando	0.047	-0.101						

Anexo 10: Coeficiente de correlación de Kendall y estadístico de probabilidad entre la precipitación y el índice NAO en verano.

Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ
Albacete	0.126	0.785	Coruña	0.003	-0.151	Logroño	0.134	0.076
Alicante	0.265	0.058	Cuenca	0.077	0.090	Lugo	0.412	-0.042
Almadén	0.983	0.001	Daroca	<0.001	0.167	Madrid	0.542	0.031
Almería	0.365	0.050	Figueras	0.172	-0.070	Málaga	0.706	0.021
Aracena	0.573	0.030	Gibraltar	0.347	0.052	Mao	0.049	0.101
Ávila	0.253	0.058	Gijón	0.136	-0.076	Murcia	0.814	0.012
Badajoz	0.172	0.072	Girona	0.596	-0.267	Oña	0.575	0.028
Barcelona	0.664	0.022	Granada	0.387	0.046	Ourense	0.970	0.002
Bilbao	0.916	0.005	Grazalema	0.549	0.032	Oviedo	0.830	-0.011
Burgos	0.196	0.066	Guadalajara	0.309	0.052	Palencia	0.342	0.048

Bustamante	0.036	0.106	Guerrí	0.019	0.119	Palma	0.064	0.095
Cáceres	0.563	0.03	Hervás	0.797	-0.013	Pamplona	0.870	0.008
Segovia	0.341	0.048	Huelva	0.402	0.047	Pontevedra	0.024	-0.114
Castellón	0.559	0.030	Huesca	0.117	0.080	Salamanca	0.047	-0.353
Cazorla	0.077	0.092	Jaén	0.284	0.057	Segovia	0.341	0.048
Cehegín	0.069	0.096	León	0.252	0.058	Segovia	0.341	0.084
Cervera	0.365	0.046	Linares	0.240	0.060	Sevilla	0.748	-0.018
Ciudad Real	0.392	0.044	Lleida	0.182	0.068	Soria	0.060	0.095
Córdoba	0.634	0.025	Lluvia	0.126	0.078	Talavera	0.634	-0.025
Toledo	0.228	0.062	Valladolid	0.753	0.016	San Fernando	0.639	0.026
Tortosa	0.094	0.085	Zamora	0.073	0.091	San Sebastián	0.935	-0.004
Valencia	0.790	0.014	Zaragoza	0.073	0.091	Santander	0.880	-0.008

Anexo 11: Coeficiente de correlación de Kendall y estadístico de probabilidad entre la precipitación y el índice NAO en otoño.

Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ	Estación	Estadístico	τ
Albacete	0.773	0.015	Coruña	<0.001	-0.204	Logroño	0.824	-0.011
Alicante	0.003	0.153	Cuenca	0.081	-0.089	Lugo	<0.001	-0.213
Almadén	0.024	-0.114	Daroca	0.836	-0.011	Madrid	0.083	-0.088
Almería	0.197	0.066	Figueras	0.018	-0.120	Málaga	0.891	-0.007
Aracena	0.008	-0.136	Gibraltar	0.195	-0.066	Mao	0.103	0.083
Ávila	0.049	-0.100	Gijón	<0.001	-0.169	Murcia	0.011	0.129
Badajoz	0.042	-0.103	Girona	0.954	-0.003	Oña	0.499	-0.034
Barcelona	0.930	0.004	Granada	0.700	-0.020	Ourense	<0.001	-0.213
Bilbao	0.597	-0.027	Grazalema	0.024	-0.115	Oviedo	0.188	-0.667
Burgos	0.002	-0.118	Guadalajara	0.123	-0.078	Palencia	<0.001	-0.170
Bustamante	0.272	-0.056	Guerrí	<0.001	-0.186	Palma	0.060	0.095
Cáceres	0.011	-0.128	Hervás	0.005	-0.144	Pamplona	0.476	-0.036
Segovia	0.025	-0.113	Huelva	0.070	-0.092	Pontevedra	<0.001	-0.215
Castellón	0.039	0.105	Huesca	0.027	-0.112	Salamanca	0.004	-0.145
Cazorla	0.850	-0.010	Jaén	0.070	-0.092	Segovia	0.025	-0.113
Cehegín	0.008	0.136	León	0.001	-0.164	Segovia	0.025	-0.113
Cervera	0.004	-0.150	Linares	0.004	-0.145	Sevilla	0.006	-0.139
Ciudad Real	0.031	-0.109	Lleida	0.521	-0.033	Soria	0.006	-0.140
Córdoba	0.008	-0.135	Lluvia	0.773	0.015	Talavera	0.010	-0.131
Toledo	0.090	-0.098	Valencia	0.058	0.014	Zaragoza	0.323	-0.050
Tortosa	0.131	0.08	Valladolid	0.004	-0.145	San Fernando	0.129	-0.077
Valencia	0.058	0.014	Zamora	<0.003	-0.150	San Sebastián	0.512	-0.033
Santander	0.372	-0.045						

Anexo 12: Correlación entre el índice NAO y la temperatura en invierno

Estación	Temperatura media anual de las mínimas		Temperatura media anual de las máximas		temperatura media anual	
	Estadístico	tau	Estadístico	tau	Estadístico	tau
Albacete	0.830	0.011	0.701	3019	0.046	0.100
Alicante	0.225	-0.068	0.738	0.019	0.134	0.084
Badajoz	0.181	0.091	0.509	-0.045	0.397	0.059
Barcelona	0.483	-0.042	0.820	-0.010	0.677	-0.028
Burgos	0.871	-0.009	0.338	0.053	0.680	0.023
Cádiz	0.900	-0.009	0.712	-0.025	0.794	-0.018
Ciudad real	0.007	0.153	0.134	0.071	0.116	-0.079
Granada	0.232	0.063	0.016	-0.127	0.368	-0.047
Huelva	0.631	-0.036	0.956	0.003	0.948	0.004
Huesca	0.465	-0.037	0.191	0.067	0.443	0.039
La Coruña	0.118	0.086	0.024	0.124	0.044	0.111
Madrid	0.218	0.082	0.024	0.149	0.117	0.104
Málaga	0.698	-0.022	0.725	-0.019	0.499	-0.036
Pamplona	0.403	0.045	0.596	0.029	0.969	-0.002
Salamanca	0.079	0.093	0.046	0.105	0.938	-0.005
San Sebastián	0.493	0.037	0.013	0.134	0.722	0.019
Sevilla	0.047	0.102	0.046	0.104	0.978	0.002
Soria	0.777	0.018	0.734	0.022	0.928	-0.058
Valencia	0.037	-0.190	0.124	0.096	0.307	-0.064
Valladolid	0.880	-0.008	0.706	0.019	0.737	0.018
Zaragoza	0.013	0.131	0.094	0.088	0.405	0.043

Anexo 13: Correlación entre el índice NAO y la temperatura en primavera

Estación	Temperatura media anual de las mínimas		Temperatura media anual de las máximas		temperatura media anual	
	Estadístico	tau	Estadístico	tau	Estadístico	tau
Albacete	0.207	0.074	0.737	0.019	0.061	0.107
Alicante	0.048	0.107	0.550	0.033	0.137	-0.08
Badajoz	0.954	-0.003	0.559	-0.029	0.739	-0.01
Barcelona	0.021	-0.116	0.671	-0.021	0.202	-0.06
Burgos	0.025	-0.126	0.118	-0.08	0.769	-0.014
Cádiz	0.384	-0.04	0.714	-0.018	0.628	-0.024
Ciudad real	0.736	0.016	0.621	-0.022	0.267	0.054
Granada	0.001	0.168	0.004	0.192	0.890	-0.007
Huelva	0.994	-0.037	0.827	0.011	0.810	-0.013

Huesca	0.555	-0.029	0.514	-0.032	0.365	0.042
La Coruña	0.856	-0.010	0.879	0.008	0.938	0.004
Madrid	0.797	0.013	0.046	0.104	0.802	-0.031
Málaga	0.660	0.021	0.227	0.059	0.279	-0.052
Pamplona	0.797	0.014	0.698	-0.022	0.242	0.066
Salamanca	0.865	0.010	0.408	-0.05	0.055	-0.121
San Sebastián	0.004	-0.161	0.507	-0.037	0.389	0.045
Sevilla	0.023	0.122	0.004	0.151	0.024	-0.120
Soria	0.116	-0.084	0.112	0.084	0.932	0.005
Valencia	0.756	0.015	0.224	0.061	0.017	0.119
Valladolid	0.021	0.130	0.003	0.165	0.131	-0.084
Zaragoza	0.037	0.142	0.004	0.165	0.014	0.126

Anexo 14: Correlación entre el índice NAO y la temperatura en verano

Estación	Temperatura media anual de las mínimas		Temperatura media anual de las máximas		temperatura media anual	
	Estadístico	tau	Estadístico	tau	Estadístico	tau
Albacete	0.872	0.010	0.568	0.033	0.711	0.021
Alicante	0.248	-0.065	0.813	-0.013	0.938	-0.008
Badajoz	0.628	-0.026	0.332	-0.05	0.398	-0.04
Barcelona	0.709	-0.018	0.059	-0.094	0.151	-0.071
Burgos	0.773	-0.015	0.069	-0.095	0.143	-0.077
Cádiz	0.282	-0.082	0.216	-0.062	0.174	-0.068
Ciudad real	0.416	-0.047	0.382	-0.036	0.003	-0.158
Granada	0.152	0.079	0.963	-0.021	0.815	-0.019
Huelva	0.268	-0.061	0.907	-0.006	0.659	-0.024
Huesca	0.203	-0.068	0.931	0.005	0.063	-0.100
La Coruña	0.062	0.103	0.218	0.068	0.114	0.087
Madrid	0.394	0.045	0.297	0.055	0.343	0.050
Málaga	0.045	0.122	0.277	0.067	0.104	-0.099
Pamplona	0.984	0.001	0.776	-0.014	0.627	0.024
Salamanca	0.912	0.006	0.991	0.006	0.261	0.060
San Sebastián	0.756	0.019	0.018	-0.168	0.826	-0.012
Sevilla	0.907	-0.002	0.195	0.047	0.978	-0.001
Soria	0.187	0.071	0.628	0.026	0.056	0.101
Valencia	0.689	-0.020	0.390	-0.043	0.298	-0.051
Valladolid	0.091	-0.100	0.408	0.048	0.007	0.159
Zaragoza	0.689	-0.065	0.624	0.006	0.410	0.124

Anexo 15: Correlación entre el índice NAO y la temperatura en otoño.

Estación	Temperatura media anual de las mínimas		Temperatura media anual de las máximas		temperatura media anual	
	Estadístico	tau	Estadístico	tau	Estadístico	tau
Albacete	0.222	-0.065	0.139	-0.079	0.558	-0.031
Alicante	0.207	-0.06	0.231	-0.064	0.574	-0.030
Badajoz	0.689	0.02	0.984	-0.001	0.962	0.002
Barcelona	0.429	-0.046	0.081	0.-102	0.152	0.083
Burgos	0.513	-0.036	0.485	0.039	0.706	-0.021
Cádiz	0.482	-0.041	0.176	-0.078	0.269	-0.064
Ciudad real	0.517	0.050	0.012	0.194	0.114	-0.122
Granada	0.744	-0.037	0.261	-0.066	0.645	-0.058
Huelva	0.041	0.102	0.672	0.02	0.242	0.058
Huesca	0.213	0.089	0.124	0.110	0.537	0.044
La Coruña	0.659	-0.024	0.912	0.006	0.859	-0.010
Madrid	0.194	0.068	0.401	0.044	0.312	0.053
Málaga	0.004	-0.176	0.009	-0.158	0.662	-0.026
Pamplona	0.333	0.059	0.135	0.092	0.668	0.026
Salamanca	0.140	0.079	0.582	0.029	0.922	0.005
San Sebastián	0.741	-0.017	0.394	-0.041	0.516	0.034
Sevilla	0.548	-0.034	0.435	-0.034	0.738	-0.018
Soria	0.288	0.058	0.312	0.054	0.431	0.055
Valencia	0.120	-0.098	0.272	-0.068	0.775	-0.109
Valladolid	0.729	-0.018	0.692	-0.021	0.761	-0.016
Zaragoza	0.018	0.079	0.028	0.047	0.036	0.154