



Universidad de Almería



Facultad de Ciencias Experimentales

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO CONJUNTO DE LOS DIAS
EXTREMOS DE TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN EN CUATRO
ESTACIONES REPRESENTATIVAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA**

**STUDY OF THE JOINT BEHAVIOR OF THE EXTREME DAYS OF AVERAGE
TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN FOUR REPRESENTATIVE SEASONS
OF THE IBERIAN PENINSULA**

Autor:

Gabriel Tovar Céspedes

Tutor:

Fernando Sánchez Rodrigo

Contenido

ABSTRACT.....	3
RESUMEN.....	3
1.INTRODUCCIÓN	3
2.MATERIALES Y MÉTODOS.	4
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
3.1. Temperaturas y precipitaciones en las estaciones estudiadas.....	6
3.2. Variables $X(t)$ e $Y(t)$	9
3.2.1. A Coruña	9
3.2.2. Madrid	10
3.2.3. Sevilla.....	12
3.2.4. Valencia.....	14
3.2.5. Discusión.....	15
4. CONCLUSIONES	17
5. BIBLIOGRAFÍA.....	18

ABSTRACT

In this work a data analysis of four climatological stations of the Iberian Peninsula during the period 1950-2019 is presented. The objective is to relate extreme temperature conditions with dry days (no rainfall) and wet days (rainfall greater than 1 mm). The percentiles 10th and 90th of the reference period 1971-2000 are used as threshold values to define cold and warm days. Results show that a negative relationship between rainfall and temperature prevail in spring and summer, meanwhile this relationship is positive in Winter in western stations, probably due to the advection of warm and wet air accompanying disturbances from the Atlantic in this season of the year.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis de datos climatológicos de cuatro estaciones de la Península Ibérica durante el periodo 1950-2019. El objetivo es relacionar condiciones extremas de temperatura con días secos (sin lluvia) y húmedos (lluvias superiores a 1 mm). Los percentiles 10 y 90 del periodo de referencia 1971-2000 se utilizan como valores umbral para definir los días fríos y cálidos. Los resultados muestran que una relación negativa entre lluvias y temperatura predomina en primavera y verano, mientras que esta relación es positiva en invierno en las estaciones occidentales, probablemente debido a la advección de aire cálido y húmedo que acompaña a las perturbaciones procedentes del Atlántico en esta estación del año.

1. INTRODUCCIÓN

Podemos considerar a la temperatura como una variable continua, bien representada desde el punto de vista estadístico por la función de distribución normal. Las precipitaciones, en cambio, son una variable discontinua e intermitente y, aunque podemos construir variables “continuas” como la cantidad de precipitaciones acumulada en un cierto intervalo de tiempo, su representación estadística es más apropiada usando otras funciones de distribución, como la distribución gamma (Horton et al., 2001). A estas diferencias se suma la variedad de procesos físicos que afectan a su interdependencia. La relación básica entre temperatura y precipitación resulta de las leyes de la termodinámica, tales como la ley de Clausius-Clapeyron, la transferencia de calor sensible y calor latente durante los cambios de fase del agua en el seno de las nubes y en la superficie terrestre, y las propiedades radiativas de los diferentes subsistemas del sistema climático (Trenberth, 2011). La relación entre temperatura media superficial y precipitación varía según la localización geográfica y la estación del año (Du et al., 2013): en verano, las nubes asociadas con la precipitación reducen la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre, lo cual, junto con el aumento de la evapotranspiración, resulta generalmente en un decrecimiento de la temperatura superficial. En invierno, por el contrario, la emisión de radiación de onda larga emitida por las nubes puede incrementar la temperatura superficial. Estos factores explican la aparición de una relación negativa en verano y positiva en invierno, sobre todo en latitudes medias. Además, otros factores pueden influir en esta relación, como la presión superficial, intensidad del viento y circulación atmosférica (Berg et al., 2015).

En términos de impactos, la covariabilidad de temperaturas y precipitaciones puede ser más importante que los cambios de una u otra variable considerados individualmente (Hao et al., 2013). La temperatura es una de las variables climáticas mejor estudiadas, mientras que nuestra capacidad para predecir las precipitaciones es limitada debido a las complejas interacciones entre múltiples factores. Por tanto, la caracterización de la covariabilidad entre ambas variables puede mejorar nuestra comprensión del comportamiento de las precipitaciones, así como del impacto conjunto de ambas variables (Singh et al., 2020).

Diferentes métodos se han propuesto en la literatura para afrontar este problema: Beniston (2009) usó la aproximación de cuantiles de la distribución conjunta de ambas variables para definir modos climáticos (cálido/seco, cálido/húmedo, frío/seco, frío/húmedo) y caracterizar sucesos extremos; una metodología similar fue utilizada por Morán-Tejada et al (2013) para estudiar los extremos climáticos de regiones montañosas en la Península Ibérica (IP) y por López-Moreno et al. (2011) para estudiar la influencia de la NAO en regiones montañosas de la cuenca mediterránea; en otros casos, el estudio se ha centrado en el análisis del comportamiento de los extremos de precipitación y su relación con las temperaturas (Dobrinsky et al., 2018; Chen et al., 2021; Pinskiwar, 2021); varios autores han utilizado el análisis de cópulas para el estudio de la interdependencia entre ambas variables (Lazoglou y Anagnostopoulou, 2019; Dong et al., 2021); el análisis de la función de distribución bivariante puede ayudar a entender algunas de las relaciones causales: Hao et al (2020) compararon la distribución conjunta gaussiana bivariante de temperatura y precipitación a escala global y resolución mensual con la distribución condicional dados diferentes estados del ENSO, y Rodrigo (2021) usó el análisis de composites para estudiar el comportamiento de los coeficientes de correlación estacionales entre temperatura y precipitación de la Península Ibérica (IP) bajo la acción combinada de los patrones EA y NAO.

En este trabajo se presenta una aproximación simple al problema siguiendo los trabajos de Beniston (2009). La posición geográfica de la IP, situada en una región de transición entre latitudes medias y subtropicales, entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, así como su compleja orografía, la convierten en una región especialmente interesante para los estudios climáticos, y, de hecho, ha sido catalogada como un área especialmente sensible al cambio climático (Giorgi, 2008). El objetivo de este trabajo es caracterizar el régimen conjunto de temperaturas y precipitaciones en cuatro estaciones meteorológicas representativas de los principales dominios climáticos de la Península Ibérica.

2.MATERIALES Y MÉTODOS.

Para este estudio se tuvieron en cuenta los datos de temperaturas máximas y mínimas y precipitaciones diarias en cuatro localidades representativas de los principales dominios climáticos de la Península Ibérica (Martín Vide y Olcina Cantos, 2001). Los datos fueron extraídos de la base de datos European Climate Assessment & Dataset Project (ECAD, Klein-Tank et al., 2002). Las estaciones seleccionadas (Figura 1) fueron A Coruña (43°22'N, 8°23'W, 21 m sobre el nivel del mar), Madrid (40°25'N, 3°41'W, 657 m), Valencia (39°28'n, 0°22'E, 16 m) y Sevilla (37°23'N, 5°59'W, 31 m). A Coruña, en la costa noroeste de la IP, posee un clima dominado por la influencia del Océano Atlántico, con precipitaciones máximas en invierno, mínimas en verano, abundante nubosidad y

elevada humedad. Madrid, en la Meseta Central de la IP, tiene máximas precipitaciones en invierno y primavera, mínimas en verano, frecuentes heladas en los meses de invierno y altas temperaturas máximas en verano. Valencia, en la costa mediterránea, presenta las características típicas del clima mediterráneo, con máximos pluviométricos en otoño, frecuentemente de carácter torrencial. Por último, Sevilla, en la Cuenca del Guadalquivir, al SW de la IP, presenta máximas precipitaciones en invierno, mínimas en verano, y muy elevadas temperaturas en los meses de verano.

Los datos diarios correspondientes al periodo 1950-2019 fueron integrados para realizar el estudio a escala estacional. Las estaciones del año se definieron en la forma usual: invierno (Diciembre, Enero, Febrero), primavera (Marzo, Abril, Mayo), verano (Junio, Julio, Agosto), y otoño (Septiembre, Octubre, Noviembre).



Figura 1. Mapa con la ubicación de las cuatro estaciones seleccionadas.

Para cada día i , los datos de la temperatura máxima (TX_i) y mínima (TN_i) se promediaron para obtener el valor de la temperatura media (T_i) en la forma usual

$$T_i = \frac{TX_i + TN_i}{2} \quad (1)$$

A continuación, se utilizó el periodo 1971-2000 como periodo de referencia siguiendo las recomendaciones de la WMO, que establece que los valores “normales” climatológicos deben obtenerse a partir de periodos de 30 años. A partir del subconjunto de datos de este periodo se determinaron los percentiles 10 (T_{10}) y 90 (T_{90}) para cada estación del año y cada estación meteorológica. Definimos un día frío si $T_i < T_{10}$ y un día cálido si $T_i > T_{90}$. Para las precipitaciones definimos un día húmedo si la cantidad diaria de las precipitaciones $P_i > 1$ mm, mientras que un día seco se define si $P_i = 0$ mm.

El siguiente paso, para cada estación meteorológica, cada estación del año, y cada año t del periodo completo de análisis, fue contabilizar el número de días cálidos (N_c), fríos (N_f), húmedos (N_h) y secos (N_s).

Definimos dos nuevas variables, $X(t)$, $Y(t)$, en la forma

$$X(t) = N_c(t) - N_f(t) \quad \forall t = 1950, \dots, 2019 \quad (2)$$

$$Y(t) = N_h(t) - N_s(t) \quad \forall t = 1950, \dots, 2019 \quad (3)$$

Según esta definición, si $X(t) > 0$ hay un predominio de días cálidos en el año t , y si $Y(t) > 0$ hay un predominio de días húmedos en el año t (días fríos y secos si, respectivamente, $X(t) < 0$, $Y(t) < 0$).

Estas dos nuevas variables pueden representarse en un plano bidimensional, con los valores de $X(t)$ correspondientes al eje de abscisas y los valores de $Y(t)$ al eje de ordenadas. De esta forma puede obtenerse una visión clara de las condiciones conjuntas de ambas variables, pues en esta representación el conjunto de años cálidos/húmedos estará ubicado en el primer cuadrante, fríos/húmedos en el segundo cuadrante, fríos/secos en el tercer cuadrante, y cálidos/secos en el cuarto cuadrante (Figura 2):

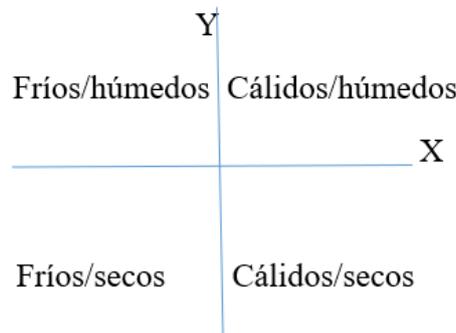


Figura 2. Interpretación física de las variables X e Y.

Nuestro objetivo es el estudio del comportamiento conjunto de ambas variables. Así, para cada estación meteorológica y cada estación del año, se analizó la posible existencia de una relación lineal ente $X(t)$ e $Y(t)$, es decir,

$$Y(t) = a + bX(t) \quad (4)$$

Los valores del coeficiente de correlación entre ambas variables se consideraron significativos si pasaban el t-test de significación a un nivel de confianza del 95%. Además, se intentó ver si ha habido un cambio significativo en nuestras variables comparando los resultados correspondientes a dos subperiodos del periodo total: 1950-1984, y 1985-2019.

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Temperaturas y precipitaciones en las estaciones estudiadas.

Las Figuras 3 a 6 muestran el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas (izquierda) y las precipitaciones acumuladas (derecha), a resolución anual, para el periodo de estudio en las estaciones seleccionadas, A Coruña, Madrid, Sevilla y Valencia, respectivamente. Además de las ligeras diferencias entre estaciones en el orden de magnitud de las variables TX y TN, puede apreciarse la tendencia creciente de las temperaturas, mientras que las precipitaciones muestran un comportamiento fluctuante, sin una clara tendencia, al menos a partir de una primera inspección visual.

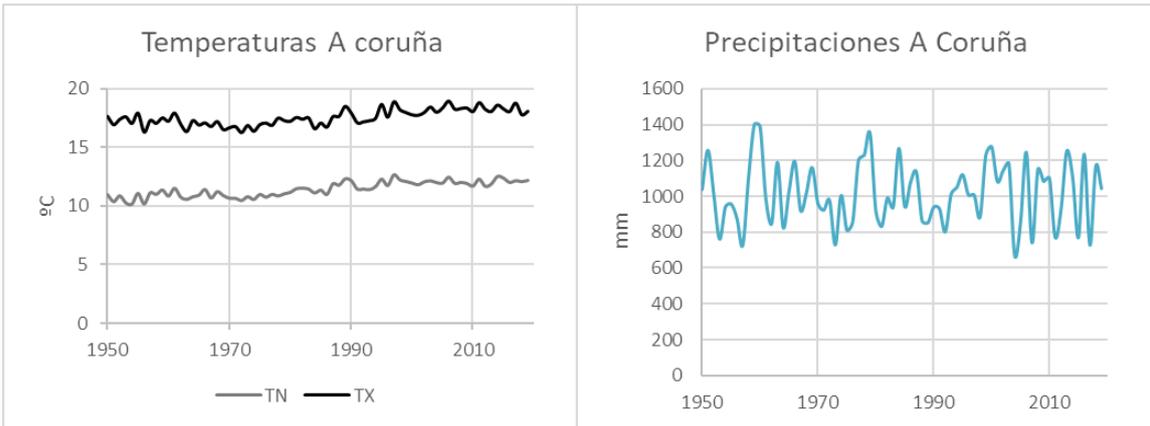


Figura 3. Temperaturas máximas y nmínimas (izquierda) y precipitaciones acumuladas (derecha) en A Coruña durante el periodo de estudio 1950-2019.

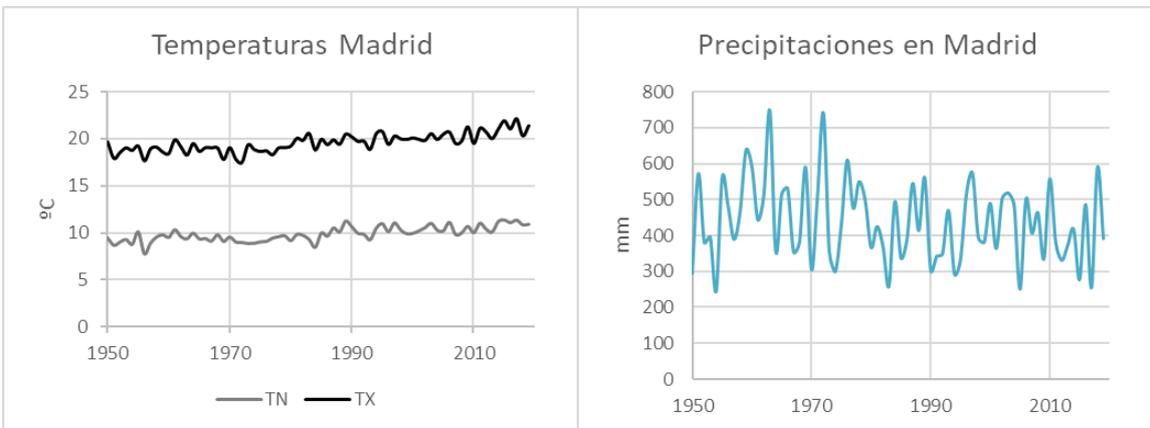


Figura 4. Como Figura 3, para Madrid

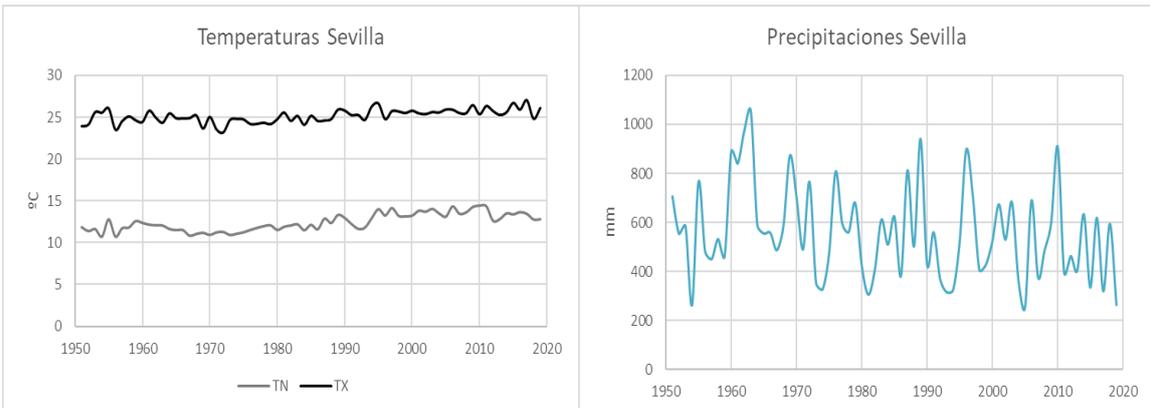


Figura 5. Como Figura 3, para Sevilla.

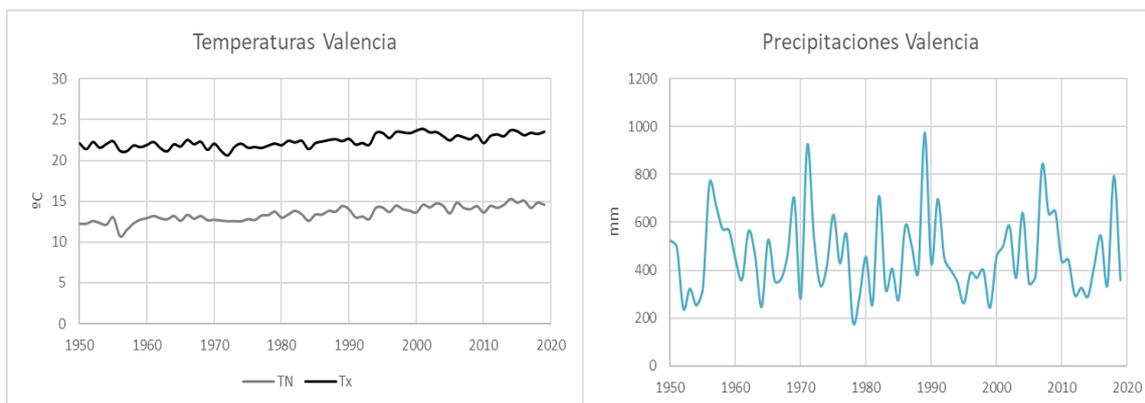


Figura 6. Como Figura 3, para Valencia.

Este primer resultado ya nos advierte de la complejidad de las relaciones entre temperaturas y precipitaciones.

Siguiendo con nuestro plan de trabajo, el siguiente paso fue, una vez determinadas las temperaturas medias diarias, obtener los percentiles T_{10} y T_{90} de las series estacionales correspondientes al periodo de referencia 1971-2000 para cada una de las localidades en estudio. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Percentiles T_{10} y T_{90} para cada estación del año y cada localidad durante el periodo de referencia 1971-2000.

Localidad	Estación	$T_{10}(^{\circ}\text{C})$	$T_{90}(^{\circ}\text{C})$
A Coruña	Invierno	7.9	14.0
	Primavera	9.8	16.2
	Verano	15.4	20.8
	Otoño	11.5	19.5
Madrid	Invierno	3.4	10.5
	Primavera	7.9	18.6
	Verano	18.3	28.0
	Otoño	8.0	22.6
Sevilla	Invierno	8.0	15.0
	Primavera	12.5	21.7
	Verano	21.9	30.2
	Otoño	13.2	26.3
Valencia	Invierno	8.8	16.0
	Primavera	12.0	20.1
	Verano	20.8	27.0
	Otoño	13.5	24.4

Los datos de la Tabla 1 muestran claramente el marcado carácter estacional del clima en las localidades de la IP, con valores muy elevados en verano y mínimos en invierno, con la primavera y el otoño como estaciones de transición. Pueden apreciarse además las diferencias entre las cuatro localidades, así, por ejemplo, los valores de T_{10} y T_{90} en invierno en Madrid (situada en la Meseta Central, donde son frecuentes las heladas de invierno) son claramente inferiores a los de las otras estaciones.

3.2. Variables X(t) e Y(t)

A continuación, continuando con nuestro plan de trabajo, expondremos los resultados obtenidos en los diagramas X-Y para las cuatro localidades en estudio y cada una de las estaciones del año. El objetivo es comprobar si existe, a escala estacional, una relación significativa entre ambas variables, es decir, entre la frecuencia de días extremos de temperatura y días secos y húmedos. En aquellos casos en que se obtuvo una relación significativa entre ambas variables, el análisis se repitió dividiendo el periodo de estudio en dos subperiodos, para analizar si esta relación es estable, o, por el contrario, ha cambiado de un periodo a otro.

3.2.1. A Coruña

La Figura 7 muestra los diagramas X-Y para A Coruña en cada una de las estaciones del año.

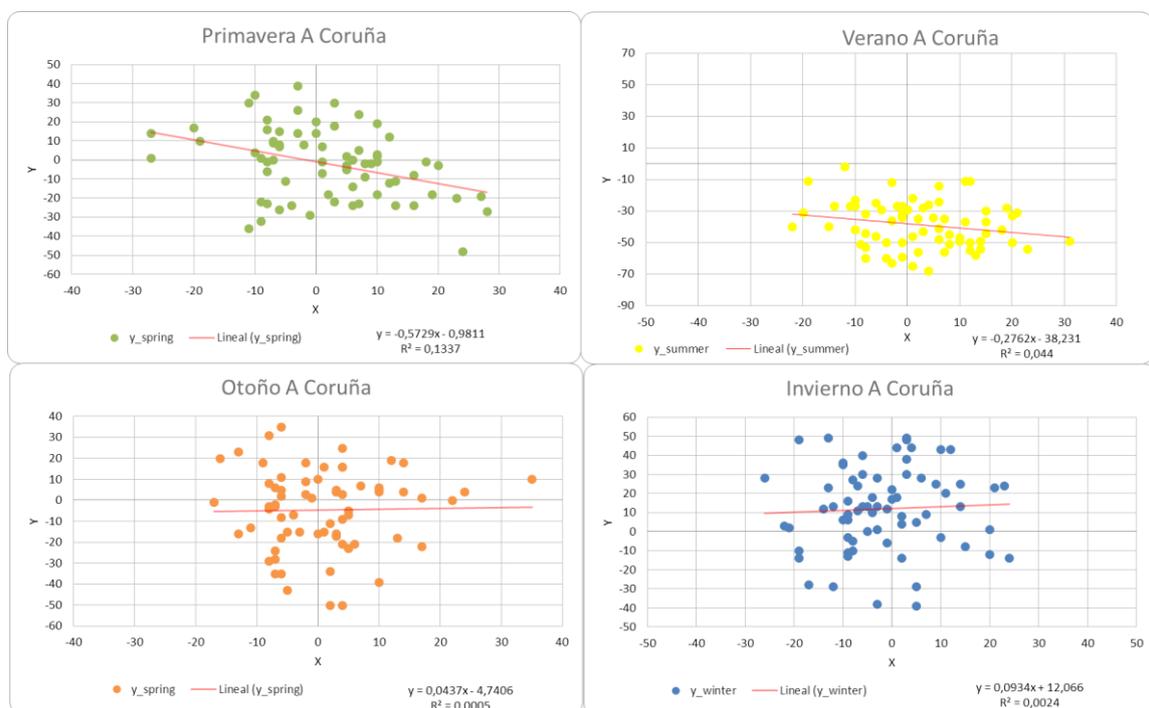


Figura 7. Diagramas X-Y para cada estación del año en A Coruña, periodo 1950-2019.

Puede apreciarse como la nube de puntos se distribuye por los cuatro cuadrantes en el otoño y el invierno, mientras que en verano los valores de nuestras variables se concentran en los cuadrantes correspondientes a tiempo seco ($Y < 0$), tanto en días cálidos como fríos. Una relación significativa y negativa entre ambas variables (coeficiente de correlación -0,36) se observa en primavera, con los puntos distribuidos principalmente entre el cuadrante frío-húmedo y el cálido-seco.

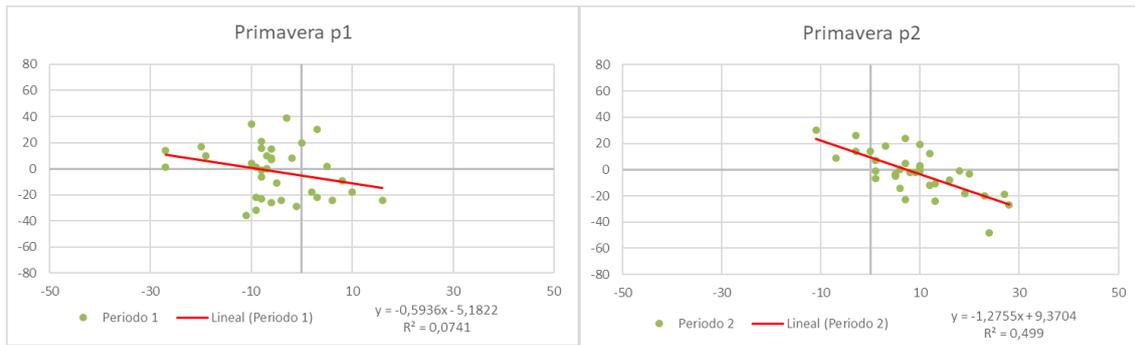


Figura 8. Diagramas X-Y para primavera en los dos subperiodos p1=1950-1985 y p2=1986-2019.

En la primavera donde hubo ajuste significativo se dividió en dos periodos p1=1950-1985 y p2=1986-2019 se pueden ver los resultados en la figura 8. Puede apreciarse cómo pese a mantenerse la relación negativa, ésta se intensifica en el segundo subperiodo, desde valores no significativos desde un punto de vista estadístico en el primer subperiodo (coeficiente de correlación $-0,27$, pendiente $-0,6 \pm 0,4$) a valores estadísticamente significativos (nivel de confianza del 95%) en el segundo subperiodo (coeficiente de correlación $-0,7$, pendiente $-1,3 \pm 0,2$ en p2).

3.2.2. Madrid

La Figura 8 muestra los resultados para el caso de Madrid. En este caso, la frecuencia de días secos ($Y < 0$) es predominante en las cuatro estaciones del año. Sólo la primavera y el verano muestran una relación significativa y negativa entre ambas variables (coeficientes de correlación $-0,63$ para primavera y $-0,40$ para el verano). En otoño e invierno, los coeficientes de correlación, aunque negativos, no son significativos ($-0,22$ en otoño y $-0,002$ en invierno). Este resultado muestra que, en estas estaciones del año, los modos dominantes son los de días calurosos-secos o bien fríos-húmedos. Esta relación negativa es típica de estaciones en latitudes medias, y, como vemos, aparece fundamentalmente en el semestre cálido del año.

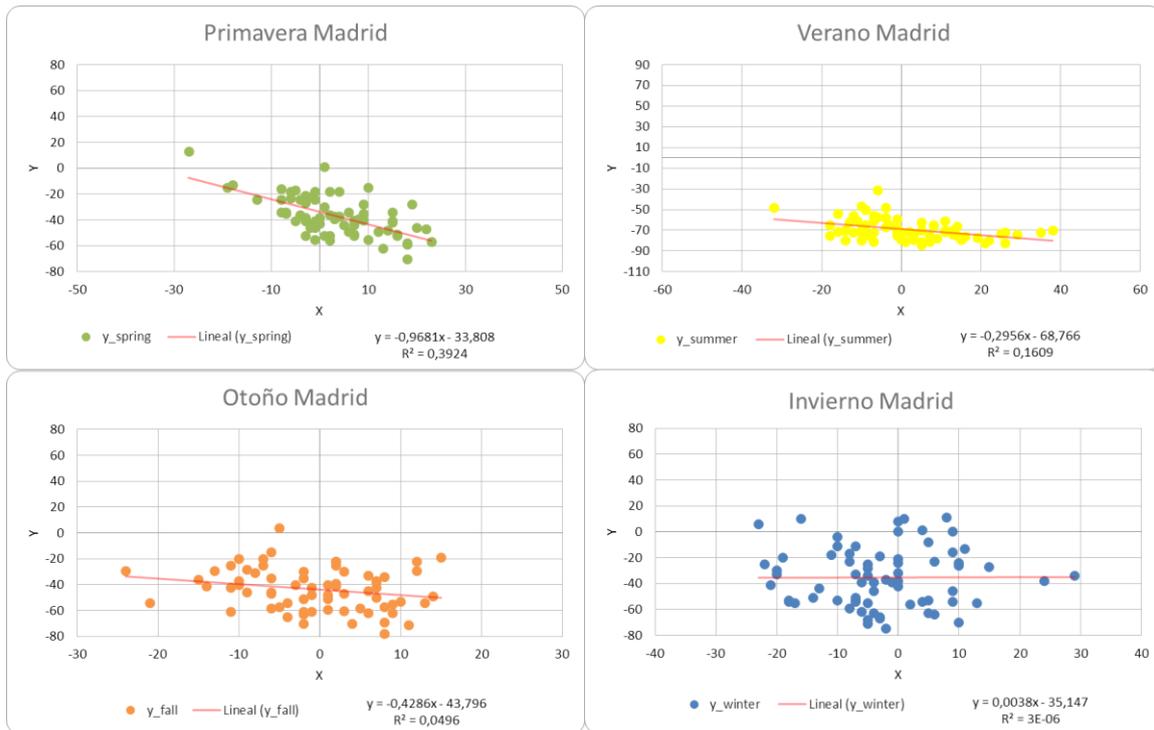


Figura 9. Como Figura 7, para Madrid

En los casos en que hubo ajustes significativos (primavera y verano) se dividió el periodo de estudio en dos subperiodos de longitud similar $p1=1950-1985$ y $p2=1986-2019$, y se repitió el análisis para cada uno de ellos. Los resultados se muestran en la Figura 10. En el caso de la primavera los coeficientes de correlación son -0.67 para $p1$ y -0.61 para $p2$, y los valores de la pendiente son (redondeando) $-1.1 \pm 0,2$ y $-1.2 \pm 0,2$, respectivamente. En el caso del verano, vemos como en el subperiodo 1 dominan los días secos y frío y en el subperiodo 2 dominan los días secos y cálidos, se obtienen los coeficientes de correlación -0.23 y -0.41 y las pendientes $-0,3 \pm 0,2$ y $-0,3 \pm 0,1$ para, respectivamente, $p1$ y $p2$. Teniendo en cuenta que tanto los coeficientes de correlación como los parámetros del ajuste son del mismo orden de magnitud, no se aprecian diferencias entre ambos subperiodos, aunque en el caso del verano se pierde la significación estadística en el primer subperiodo, quizás como consecuencia de la escasez de precipitaciones durante esta época del año.

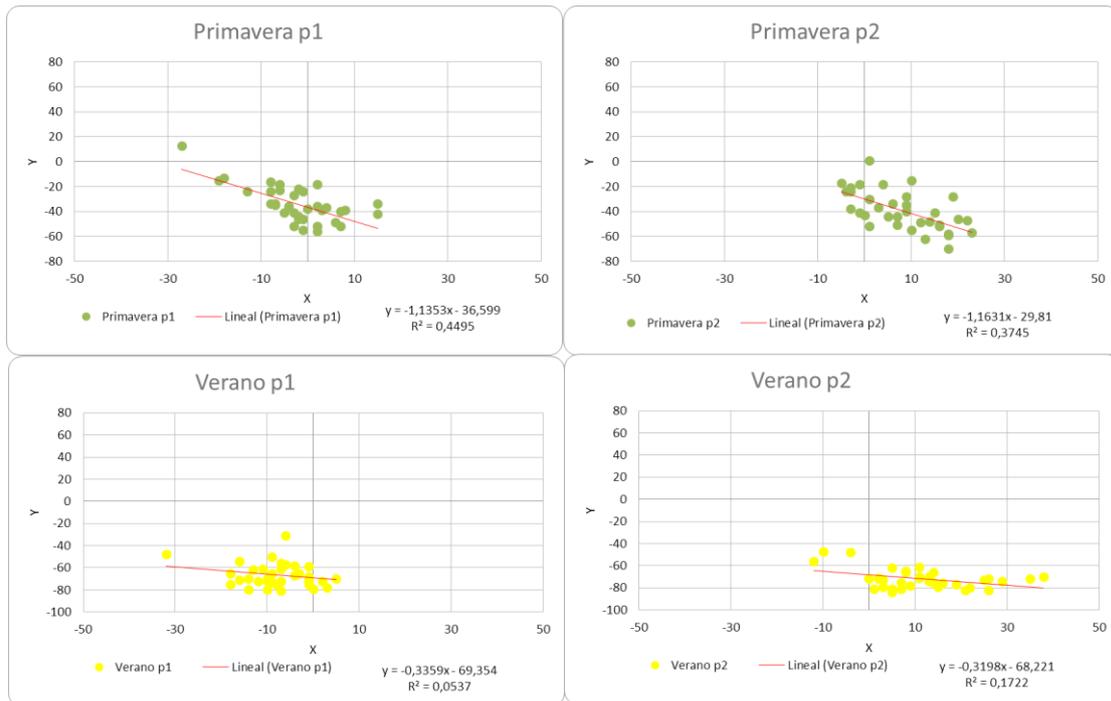


Figura 10. Diagramas X-Y para primavera y verano en los dos subperiodos p1=1950-1985 y p2=1986-2019.

3.2.3. Sevilla

La Figura 11 muestra los diagramas X-Y para el caso de Sevilla. La frecuencia de más días secos ($Y < 0$) es predominante en las cuatro estaciones del año. En este caso se obtienen regresiones significativas para el invierno (positiva) y la primavera (negativa). En el caso de la primavera el coeficiente de correlación es -0.37 , mientras que en invierno es $+0.41$. La relación negativa entre X e Y en primavera nos informa de que las condiciones en el SW de la IP durante esta época del año son similares a las de Madrid, en la Meseta central, mostrando la típica relación negativa entre temperaturas y precipitaciones propia de latitudes medias. En cambio, en invierno, la relación es positiva, probablemente como consecuencia de la advección de masas de aire húmedo procedentes del Atlántico, que traen las frecuentes borrascas invernales junto advecciones de aire húmedo y relativamente cálido en esta época del año.

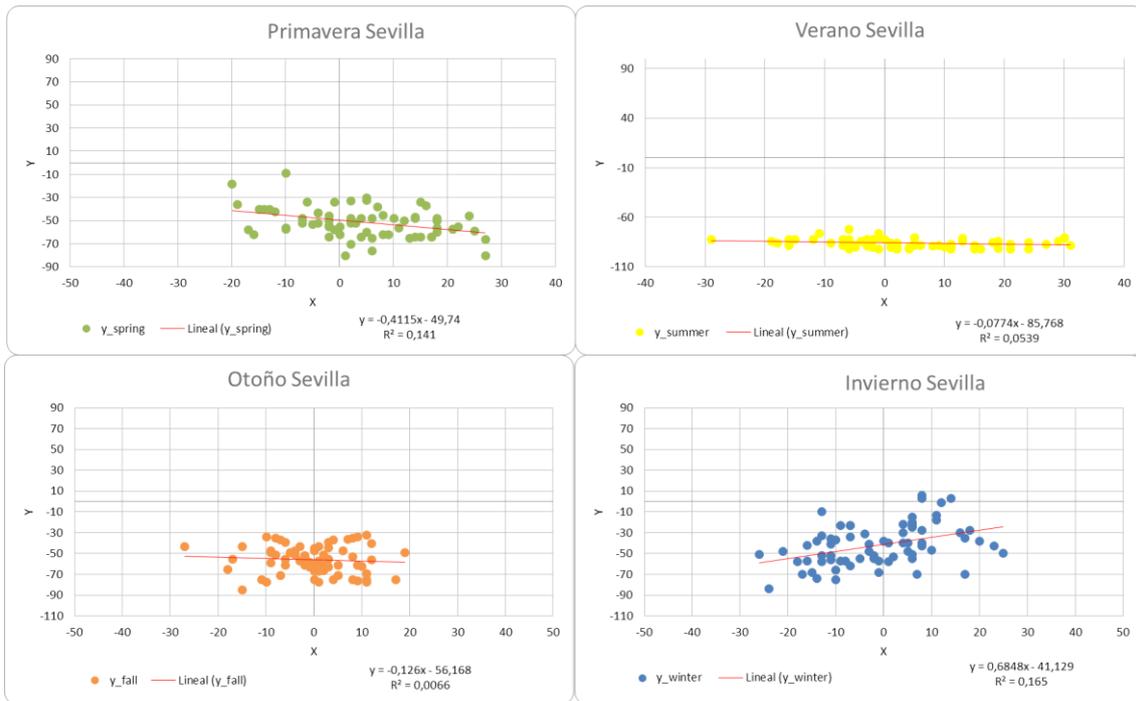


Figura 11. Como Figura 7 para Sevilla.

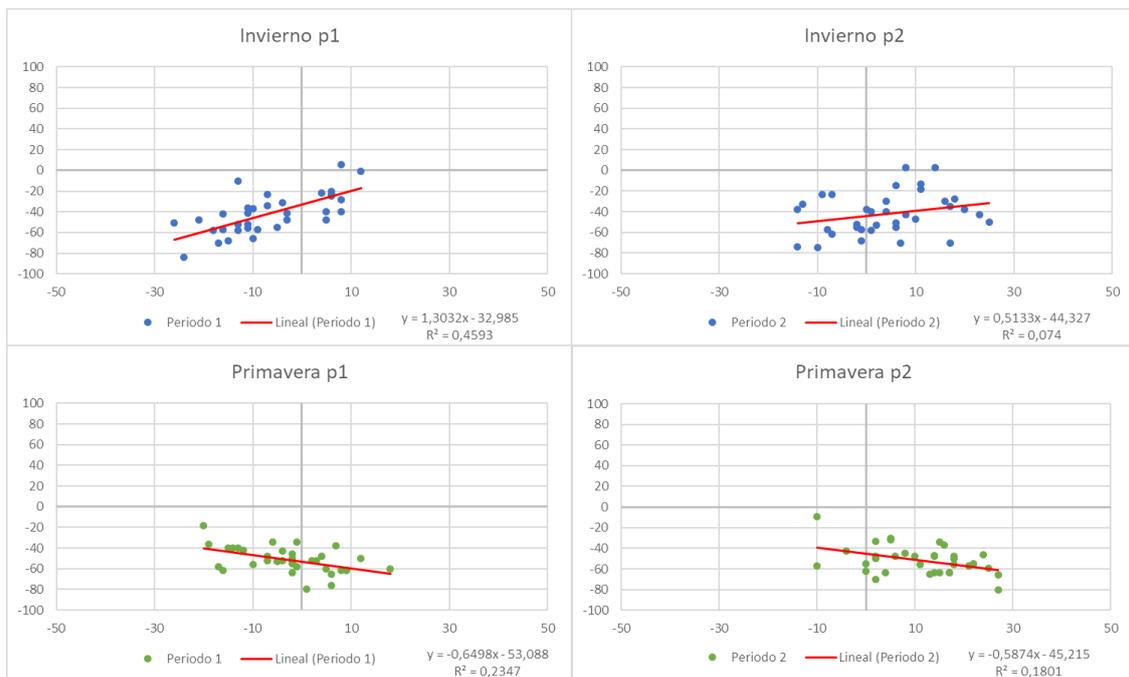


Figura 12. Diagramas X-Y para el invierno y la primavera en Sevilla y los subperiodos p1 y p2.

La división por subperiodos proporciona los resultados mostrados en la Figura 12. Puede apreciarse cómo las condiciones se mantuvieron estables en primavera entre los dos subperiodos, con valores similares del coeficiente de correlación (-0.48 Para p1, -0.42 para p2, ambos significativos al nivel de confianza del 95%) así como de las pendientes de la recta de regresión ($-0.7 \pm 0,2$ y $-0.6 \pm 0,2$ para, respectivamente, p1 y p2). En primavera, por tanto, la relación entre ambas variables se ha mantenido estable durante

todo el periodo de análisis. En invierno, en cambio, el primer subperiodo muestra un coeficiente de correlación de +0.68 (estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95%), mientras que, durante el segundo, aunque la relación sigue siendo positiva, ya no es estadísticamente significativa (coeficiente de correlación +0,27). Este resultado sugiere que hubo un cambio en los patrones de circulación atmosférica dominante, con una disminución en las advecciones de aire cálido y húmedo desde el Atlántico.

3.2.4. Valencia

La Figura 13 muestra los diagramas X-Y para el caso de Valencia.

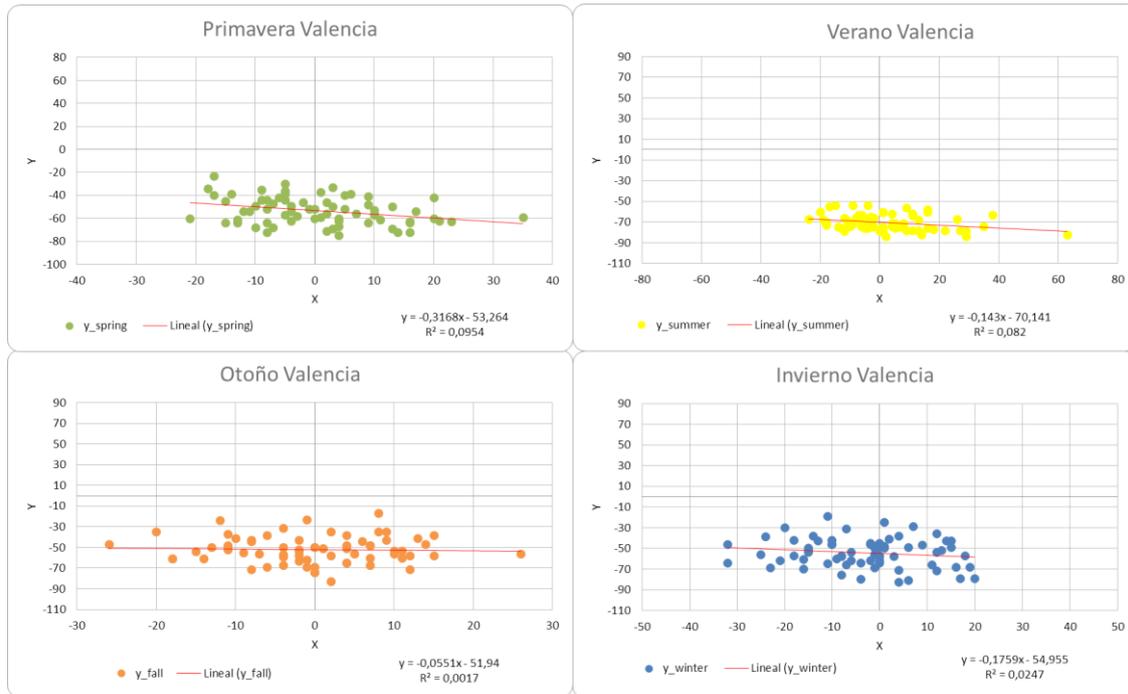


Figura 13. Como Figura 7, para Valencia.

En este caso, nuevamente puede apreciarse el predominio de los días secos ($Y < 0$) en las cuatro estaciones del año. Se encuentran regresiones significativas y negativas en primavera (coeficiente de correlación -0.31) y verano (-0.29). La Figura 14 muestra los diagramas X-Y correspondientes a los dos subperiodos en que se ha dividido el periodo total en estudio.

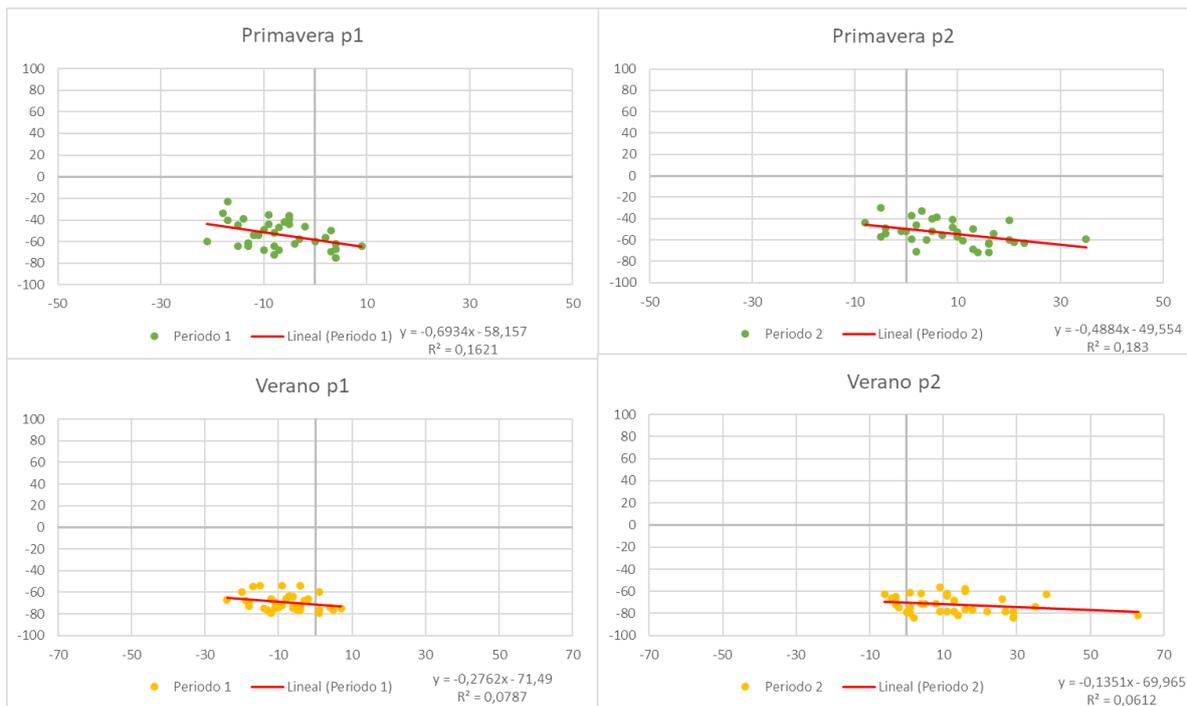


Figura 14. Diagramas X-Y para la primavera y el verano en Valencia y los subperiodos p1 y p2.

Los resultados muestran que apenas hay cambios en el comportamiento de las variables entre ambos subperiodos. En el caso de la primavera los coeficientes de correlación estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95% son -0.40 y -0.43 , y los valores de la pendiente de la recta de regresión $-0.7 \pm 0,3$ y $-0.5 \pm 0,2$ para, respectivamente, los subperiodos p1 y p2. En el caso del verano, vemos como en el subperiodo 1 dominan los días secos y frío y en el subperiodo 2 dominan los días secos y cálidos, se obtienen también coeficientes de correlación negativos (-0.28 y -0.25), y pendiente negativas (-0.3 y -0.1), aunque en este caso ligeramente por debajo del valor umbral de significación estadística. Este último resultado puede deberse probablemente a la escasez de precipitaciones del verano en el entorno mediterráneo.

3.2.5. Discusión.

Para empezar, vemos que todos los valores de las Y son negativos indicando condiciones secas con excepción de A Coruña. Esto nos indica una diferencia entre la España húmeda y la España seca donde en el norte hay más precipitaciones (Naredo J., 2006). Caracterizamos la zona seca con el clima mediterráneo con estaciones marcadas y relativamente bajas precipitaciones (Lionello et al., 2006) y la zona húmeda con mayores precipitaciones ya que tiene una mayor influencia de advecciones de aire húmedo procedentes del Atlántico (López-Moreno et al., 2011). Esto es evidente en el caso de A Coruña en las cuatro estaciones del año, excepto en verano (Figura 7). En las otras tres localidades, puede apreciarse el predominio de días secos ($Y < 0$) en las cuatro estaciones del año (Figuras 9, 11 y 13).

Respecto a la relación entre las variables X e Y, la Tabla 2 resume los resultados obtenidos para cada localidad y estación del año.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre X e Y para las cuatro localidades y estaciones del año, durante el periodo de estudio 1950-2019 (*= estadísticamente significativo al 95% de nivel de confianza).

Localidad	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
A Coruña	+0.05	-0.37*	-0.21	+0.02
Madrid	+0.00	-0.63*	-0.40*	-0.22
Sevilla	+0.41*	-0.37*	-0.23	-0.08
Valencia	-0.16	-0.31*	-0.29*	-0.04

Todas las relaciones significativas fueron negativas a excepción del invierno de Sevilla, esto se puede explicar por las consideraciones termodinámicas de la ecuación de Clausius-Clapeyron donde a mayor temperatura la atmosfera es capaz de albergar más humedad sin llegar a condensar, pero en invierno las temperaturas son más bajas lo que hace que disminuya este efecto, ya que incluso en los días más cálidos de invierno no se llegue a las temperaturas necesarias para causar este efecto (Du et al., 2013). En invierno, las estaciones occidentales (A Coruña y Sevilla) están abiertas a la influencia de flujos relativamente cálidos y húmedos de origen atlántico, del W y el SW, favoreciendo la relación positiva entre temperaturas y precipitaciones (López-Bustins et al., 2008; Rodrigo, 2019). Por otro lado, condiciones anómalamente frías suelen estar provocadas por condiciones anticiclónicas, responsables de las heladas de invierno en muchas estaciones del interior (Fernández-Montes y Rodrigo, 2012), así como flujos del N/NE (Rodríguez-Puebla et al., 2010), que provocan menores precipitaciones, contribuyendo a la relación positiva entre temperaturas y precipitaciones. Las relaciones negativas, pues, son principalmente en primavera y verano, cuando las temperaturas son más altas. En este caso, se ha invocado la interacción suelo-atmósfera para explicar este comportamiento (Trenberth 2011): menores precipitaciones están asociadas con una reducción de la humedad del suelo y del flujo de calor latente, y por tanto con un aumento del calentamiento de la superficie, resultando en mayores temperaturas.

Al dividir el periodo de estudio en dos subperiodos, vemos que estas relaciones se mantienen estables entre el primer subperiodo y el segundo, es decir, se mantiene el signo del coeficiente de correlación, aunque con ligeras diferencias en algunos casos. Entre estas diferencias podemos mencionar la pérdida de significación estadística en el segundo subperiodo en Madrid y Valencia en verano, probablemente debida a la escasez de precipitaciones en esta época del año, y a la reducción en el número de datos de la muestra.

Más interés tiene el comportamiento de la primavera en A Coruña y el invierno en Sevilla. La relación negativa de primavera en A Coruña se acentúa en el segundo subperiodo, y la relación positiva del invierno en Sevilla disminuye en el segundo subperiodo. Este resultado sugiere que durante el periodo 1985-2019 aumenta la frecuencia de las condiciones cálidas-secas en estos casos. Estas diferencias entre el primer y segundo subperiodo coinciden con la periodización establecida en el estudio de los cambios en las series temporales de radiación solar en Europa Occidental (Sánchez-Lorenzo et al., 2008), que establecen un aumento de la radiación solar en este periodo. Este aumento estaría relacionado con el incremento de las temperaturas máximas, la disminución de la nubosidad, y, por tanto, la disminución en la frecuencia de días húmedos, favoreciendo

una intensificación de las condiciones típicamente negativas en primavera (caso de A Coruña), o bien una reducción en las condiciones típicamente positivas en invierno (caso de Sevilla). Por otra parte, estos resultados son coherentes con los análisis de Déry y Wood (2005), quienes encontraron, a escala global, un periodo de condiciones predominantemente frías y húmedas entre 1950 y 1980, y un periodo de condiciones cálidas y secas desde la década de los 1980.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo pueden resumirse de la siguiente manera:

- 1) Excepto en el caso de A Coruña, se produce un predominio de la frecuencia de días secos ($Y < 0$) en todas las localidades y en todas las estaciones del año. Estas diferencias están relacionadas con la tradicional división climática de la IP, con un área relativamente húmeda al norte, y el predominio de las condiciones mediterráneas en el resto de la Península.
- 2) Es durante el semestre cálido del año (primavera-verano) donde se encuentra una relación significativa y negativa entre las variables X e Y en las cuatro estaciones estudiadas.
- 3) En Sevilla, en invierno, se detecta una relación positiva entre X e Y, consecuencia de la advección de masas de aire húmedo y relativamente cálido acompañando a las borrascas atlánticas.
- 4) A partir de la década de los 80 se detecta una intensificación de la relación negativa en primavera en A Coruña, y un debilitamiento de la relación positiva en invierno en Sevilla, coincidiendo con otros análisis que muestran un incremento de las condiciones cálidas-secas en las últimas décadas del siglo XX.

Este último resultado sugiere que el aumento de las temperaturas consecuencia del calentamiento global puede conducir al incremento de la frecuencia de los días cálidos-secos de primavera, o bien a la disminución de los días cálidos-húmedos en invierno, sobre todo en el área occidental de la IP. Este un aspecto que merece analizarse con más detalle en futuros trabajos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Beniston M. (2009). Decadal-scale changes in the tails of probability distribution functions of climate variables in Switzerland. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, Int. J. Climatol. 29: 1362–1368
- Berg P, Lintner BR, Findell K, Seneviratne SI, Van der Hurk B, Ducharme A, Cghéry F, Hagermann, S, Lawrence DM, Malyshev S, Meier A, Gentine P (2015). Interannual coupling between summertime surface temperature and precipitation over land: processes and implications for climate change. *J. Clim.* 28, 1308–1328. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00324.1>
- Chen, W., Cui, H., & Ge, Q. (2021). The spatial and seasonal dependency of daily precipitation extremes on the temperature in China from 1957 to 2017. *Int J Climatol*, 1–16. <https://doi.org/10.1002/joc.7320>
- Déry S J, Wood E F. Observed twentieth century land surface air temperature and precipitation co-variability. *Geophys Res Lett*, 2005,32, L21414, doi: 10.1029/2005GL024234
- Dobrinisky P, Da Silva N, Panthou G, Bastin S, Muller C, Ahrens B, Borga M, Conte D, Fosser G, Giorgi F, Gütler I, Kotroni V, Li L, Morin E, Önoł B, Quintana-Seguı P, Romera R, Zsolt Torma C (2018) Scaling precipitation extremes with temperatura in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios. *Clim Dyn* 51: 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x>
- Dong H, Huang S, Fang W, Leng G, Yang H, Ren K, Zhao J, Ma C (2021) Copula-based nonstationarity detection of the precipitation-temperature dependency structure dynamics and possible driving mechanism *Atmos Res* 249:105280. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105280>
- Du H, Wu Z, Jin Y, Zong S, Meng X (2013) Quantitative relationships between precipitation and temperatura over Northeast China, 1961–2010. *Theor. Appl. Climatol* 113:659–670. Doi: 10.1007/s00704-012-0815-7
- Fernández-Montes y Rodrigo (2012) Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula, 1929–2005. *Int. J. Climatol.*, 32: 2320–2332. <https://doi.org/10.1002/joc.3399>
- Giorgi F (2008) A simple equation for regional climate change and associated uncertainty. *J. Climate* 21: 1589–1604. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1763.1>
- Hao Z, Kouchak AA, Phillips TJ (2013) Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. *Environ. Res. Lett.* 8, doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034014.
- Hao Z, Zhang X, Singh VP, Hao F (2020) Joint modeling of precipitation and temperature under influences of El Niño Southern Oscillation for compound event evaluation and prediction. *Atmos Res* 245: 105090. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105090>
- Horton EB, Parker DE, Folland CK, Jones PD, Hulme M (2001) The effects of increasing the mean of the percentage of extreme values in gaussian and skew distributions. *Clim Change* 50: 509–510. <https://doi.org/10.1023/A:1010639227046>
- Klein-Tank AMG et al (2002) Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *Int J Climatol* 22(12):1441–1453.

Lazoglou G, Anagnostopoulou C (2019) Joint distribution of temperature and precipitation in the Mediterranean, using the Copula method. *Theor App Climatol* 135:1399–1411 <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2447-z>

Lionello, P., et al. (2006), *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier (Netherlands, Amsterdam), pp. 1–26.

López-Bustins, J.-A., Martín-Vide, J., Sánchez-Lorenzo, A., 2008. Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change* 63, 171–176.

López-Moreno JJ, Vicente-Serrano SM, Morán-Tejada E, Lorenzo-Lacruz J, Kenaway A, Beniston M (2011) Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Glob. Planet. Change.* 77, 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.003>

Martín Vide J, Olcina Cantos J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, Madrid.

Morán-Tejada, E.; Herrera, S.; López-Moreno, J.; Revuelto, J.; Lehmann, A. y Beniston, M. (2013). Evolution and frequency (1970-2007) of combined temperature-precipitation modes in the Spanish mountains and sensitivity of snow cover. *Reg. Environ. Change.* 13: 873-885.

Naredo J. (2006). *EL AGUA en el siglo XXI: gestión y planificación* / Editor: José M.^a Cuadrat Prats. Zaragoza: Institución «Fernando el Católico», 2006.

Pińskwar, I., Choryński, A. (2021). Projections of Precipitation Changes in Poland. In: Falarz, M. (eds) *Climate Change in Poland*. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70328-8_22

Rodrigo F. (2021) Exploring combined influences of seasonal East Atlantic (EA) and North Atlantic Oscillation (NAO) on the temperature-precipitation relationship in the Iberian Peninsula. *Geosciences* 11: 211. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050211>

Rodrigo F. (2019) Coherent variability between seasonal temperatures and rainfalls in the Iberian Peninsula, 1951–2016. *Theor. App. Climatol.* 135, 473–490. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2400-1>

Rodríguez-Puebla C, Encinas AH, García-Casado LA, Nieto S. 2010. Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change* 100: 667–684, DOI: 10.1007/s10584-009-9721-0.

Singh H, Jalili Pirani F, Reza Najafi M (2020) Characterizing the temperature and precipitation covariability over Canada. *Theor App Climatol* 139:1543–1558 <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03062-w>

Trenberth KE (2011) Changes in precipitation with climate change. *Clim Res* 47(1):123–138.