

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA SEQUÍA EN ESPAÑA PENINSULAR. INFLUENCIA DE LOS PRINCIPALES PATRONES DE TELECONEXIÓN

Miguel Ángel CLEMENTE SALVADOR¹, María Luisa MARTÍN PÉREZ²,
Francisco VALERO¹, María Yolanda LUNA RICO³, Ana MORATA GASCA³,
Antonio MANZANO HERNÁNDEZ³, Sergio M. VICENTE SERRANO⁴,
Santiago BEGUERÍA PORTUGUÉS⁵, José Carlos GONZÁLEZ HIDALGO⁶

(1) Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid.

*(2) Escuela de Ingeniería Informática. Universidad de Valladolid. Campus de
Segovia.*

(3) Departamento de Desarrollo y Aplicaciones. Agencia Estatal de Meteorología.

*(4) Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones
Científicas.*

*(5) Estación Experimental de Aula Dei. Consejo Superior de Investigaciones
Científicas.*

*(6) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de
Zaragoza*

miguecle@ucm.es

RESUMEN

La sequía es el principal riesgo natural en términos de impacto económico y medioambiental en España. Por lo tanto, existe un gran interés en estudiar este fenómeno y su predictibilidad. Utilizando el índice SPEI de sequía, en este trabajo se analiza la influencia sobre ésta de los principales patrones de teleconexión que determinan la variabilidad hidrológica en la región de estudio (AO, NAO, EA, EAWR, SCAND y WeMO). Este análisis se realiza desde una descripción espacial y temporal. Los resultados aquí obtenidos muestran que la AO y la NAO son los patrones cuya incidencia en la variabilidad hidrológica es mayor, aunque la WeMO tiene mucha importancia al ser el patrón con mayor influencia en la sequía en el sureste. Esto es coherente con resultados obtenidos en trabajos previos de otros autores, que analizan la variabilidad de la precipitación y su relación con los patrones de teleconexión. Sin embargo, aparecen discrepancias debidas a que el índice de sequía utilizado en este estudio depende de otros parámetros además de la precipitación. Este trabajo se ha enmarcado dentro del proyecto DESEMON de AEMET, y podría ser de utilidad para el desarrollo de nuevas metodologías en la predicción estacional.

Palabras clave: sequía, SPEI, variabilidad hidrológica, patrones de teleconexión, predicción estacional, España, Península Ibérica.

ABSTRACT

Droughts are the main natural hazard regarding their economic and environmental impacts over Spain. Therefore, studying this phenomenon and its predictability is very interesting. By using the SPEI drought index, an analysis of the influence on droughts of the main teleconnection patterns (TPs) which determinate hydrological variability over the region under study (AO, NAO, EA, EAWR, SCAND and WeMO) is performed in this work. This analysis consists of a spatial and temporal description. Results obtained in this study reveal that AO and NAO are the patterns with maximum impact on droughts, although WeMO has great interest because it is the TP with the largest influence on droughts over southeastern Spain. This is coherent with results obtained previously by other authors, who analyzed precipitation variability and its relationship with TPs. However, there are some discrepancies, which arise from the fact that the drought index considered here depends not only on the precipitation, but it is also influenced by other factors. This study is within the DESEMON project of AEMET, and it could be useful for developing new seasonal forecast methodologies.

Key words: drought, SPEI, hydrological variability, teleconnection patterns, seasonal forecast, Spain, Iberian Peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

Una sequía es un periodo de tiempo en el que las condiciones meteorológicas producen un desequilibrio hidrológico importante, debido a la escasez de precipitaciones y/o a una evapotranspiración elevada (IPCC, 2014), que puede estar determinada por factores como temperaturas altas, humedad relativa baja y/o vientos fuertes. La sequía es el principal riesgo natural en España en términos de impacto económico y ambiental (Vicente Serrano et al., 2017). Por lo tanto, las incertidumbres existentes sobre la recurrencia de la sequía, sus impactos económicos y ambientales, las tendencias de las últimas décadas o las previsiones futuras en el contexto del Cambio Climático justifican la importancia del estudio de la sequía en España. También resulta de interés el concepto de la previsión estacional de la sequía, ya que esto permite minimizar los impactos de la misma mediante estrategias de prevención y adaptación (Turco et al., 2017).

En este trabajo se estudia la relación entre el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI, del inglés *Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*) y distintas situaciones sinópticas recurrentes, caracterizables mediante patrones de teleconexión (TPs, del inglés *Teleconnection Patterns*). En concreto, se realiza un análisis de la relación entre la evolución temporal del SPEI en España peninsular y el valor de los índices asociados a los TPs cuya influencia es más notable en la variabilidad hidrológica en la Península. Dichos TPs corresponden a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, del inglés *North Atlantic Oscillation*), al patrón del Atlántico Este (EA: *East Atlantic*) y a la Oscilación del Mediterráneo Oeste (WeMO: *West Mediterranean Oscillation*).

Mediante este análisis se obtienen diversos estadísticos de correlación entre el SPEI y los TPs, estudiándose además la distribución espacial y la variabilidad temporal de la

relación entre las señales. El estudio se realiza teniendo en cuenta las distintas regiones hidroclimáticas de la Península, obtenidas a partir de técnicas multivariantes.

El trabajo se enmarca en el proyecto DESEMON de AEMET, que estudia la sequía en España. Por lo tanto, podrá servir de base para futuras investigaciones con aplicaciones en la predicción estacional de la sequía o para el análisis e interpretación de casos de estudio concretos. En particular, a partir de los resultados obtenidos en este estudio, se podrá establecer, dentro de DESEMON, una metodología basada en modelización lineal múltiple que trate de predecir el índice SPEI a partir del valor de los índices que caracterizan a los TPs. Por otra parte, una mejor comprensión de las relaciones entre los distintos TPs y su impacto en la sequía en la Península podría ser de utilidad para el desarrollo de nuevas metodologías de predicción estacional.

2. MÉTODOS

2.1. Índice de sequía SPEI

En el presente estudio se ha utilizado el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, del inglés *Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*) para analizar las características de la sequía. Este índice es de carácter multiescalar, lo cual permite la identificación de distintos tipos de sequía y sus impactos en el contexto del Cambio Climático (Beguería et al., 2008). Al igual que otros índices de sequía, el SPEI puede caracterizar la magnitud, intensidad y duración de las sequías, permitiendo realizar comparaciones en el tiempo y en el espacio. El SPEI se calcula a partir de distribuciones de probabilidad basadas en la variable:

$$D_i = P_i - PET_i$$

donde P es la precipitación acumulada, PET es la evapotranspiración potencial (del inglés *Potential EvapoTranspiration*, que depende de la temperatura y de otras variables), y el subíndice i hace referencia al periodo en el que se calcula, que habitualmente es de un mes pero puede ser acumulativo, de manera que la variable contenga información de varios meses. Esto facilita la interpretación de la severidad de la sequía, que será mayor si los valores de D_i son negativos durante un periodo de tiempo prolongado.

El índice SPEI es un índice estandarizado, con media 0 y varianza 1. Valores negativos de SPEI indican que $PET > P$ en un cierto periodo, por lo que se tiene sequía. Por el contrario, si $P > PET$ se tiene una situación húmeda. Las sequías pueden venir dadas tanto por escasez de precipitación como por evapotranspiración elevada, o bien por una combinación de ambos factores.

En este estudio se trabaja con el SPEI03, que utiliza un periodo de agregación de 3 meses. La base de datos de SPEI utilizada se centra en España peninsular (Vicente Serrano et al., 2017). Tiene una resolución espacial de 5.5 km y resolución temporal semanal (desde 1962 hasta 2014), de manera que se calcula con la información de precipitación y evapotranspiración potencial de los tres meses previos a cada semana. Dado que los datos de los patrones de teleconexión (o TPs, del inglés *Teleconnection Patterns*) tienen resolución mensual, para el SPEI se elige el dato correspondiente a la primera semana del mes, ya que este valor se relacionará con el promedio de los TPs de los tres meses anteriores.

2.2. Patrones de teleconexión (TPs)

Los datos de los distintos TPs utilizados en este trabajo tienen resolución temporal mensual, y se ha seleccionado el periodo 1962-2014 para que sea común al periodo de SPEI. Se han obtenido de la página web de la NOAA (NOAA, 2018) y de la Universitat de Barcelona (Universitat de Barcelona, 2018). En este trabajo se presentan los resultados más relevantes, obtenidos para los siguientes TPs:

- NAO: *North Atlantic Oscillation* (Oscilación del Atlántico Norte)
- EA: *East Atlantic* (Atlántico Este)
- WeMO: *West Mediterranean Oscillation* (Oscilación del Mediterráneo Oeste)

2.3. Herramientas utilizadas

El comportamiento hidrológico en España no es uniforme en todo el territorio, sino que hay regiones diferenciadas susceptibles de sufrir sequía o periodos húmedos, en función de las situaciones sinópticas dominantes.

Para analizar la sequía en las distintas zonas peninsulares y su relación con los TPs, se ha utilizado una división en grupos o clusters, definidos como áreas en las que la evolución temporal del índice SPEI es relativamente homogénea. Esta división se llevó a cabo utilizando el método de clusterización por k-means (Arthur & Vassilvitskii, 2007). Realizando este proceso para distintos valores del número de clusters (k), se obtiene un resultado óptimo para k=6, (para k>6 las distancias residuales apenas disminuyen). Los clusters resultantes se muestran en la Fig. 1.

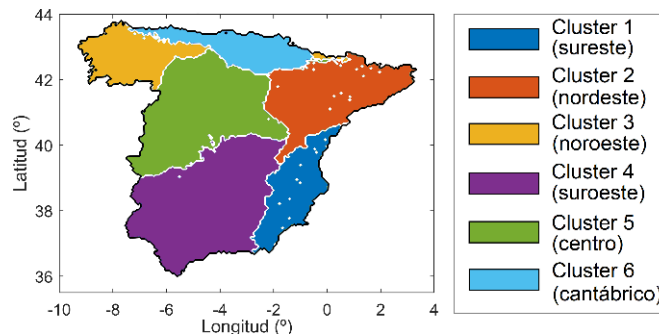


Fig. 1: Clusters para el SPEI03, obtenidos mediante el método de k-means.

En una primera aproximación, se calcula el valor del SPEI promedio en cada uno de los clusters y se analiza su comportamiento, comparándolo con el de los TPs. Posteriormente se obtienen distribuciones espaciales de correlación entre el SPEI y los diferentes TPs. Las correlaciones significativas se han determinado a partir de un contraste de hipótesis basado en un test t de Student al 95% de confianza (Wilks, 2011), filtrando además valores inferiores a 0.2 en valor absoluto. Las distribuciones espaciales obtenidas se comparan con las correlaciones del SPEI promedio de los clusters, con el fin de comprobar la robustez de los resultados.

Por otra parte, para analizar la variabilidad temporal del índice de sequía y compararla con la de los TPs, se han utilizado transformadas de wavelets (“ondículas”; Morlet et al., 1982). Concretamente, se ha llevado a cabo un análisis de wavelets de Morlet continuas (Büssow, 2007). Comparando los wavelets obtenidos para los TPs y para el SPEI en cada cluster (no mostrado), se puede estudiar si ambos guardan relación. Las

similitudes encontradas fueron mayores introduciendo un desfase de 3 meses (es decir, comparando el wavelet del SPEI en un mes con el del promedio de los TPs en los 3 meses anteriores), lo cual corrobora la decisión de comparar el SPEI de un mes con el promedio de los TPs en los 3 meses anteriores.

3. RESULTADOS

Para estudiar la estructura espacial de las relaciones entre los TPs y el SPEI, se han calculado las correlaciones entre el SPEI promedio de cada cluster y cada TP. Como se observa en la Fig. 2, cada TP presenta correlaciones en determinadas regiones. Se aprecia que en los clusters afectados la magnitud o incluso el signo de las correlaciones varía a lo largo del año: las correlaciones de la NAO (Fig. 2a) y de la WeMO (Fig. 2c) se debilitan en verano, mientras que las obtenidas para el EA (Fig. 2b) cambian de fase en esta estación (pasan de ser positivas a ser negativas). Las correlaciones máximas se observan para la NAO en invierno (entre enero y mayo), así como para la WeMO en algunos clusters durante el mismo periodo.

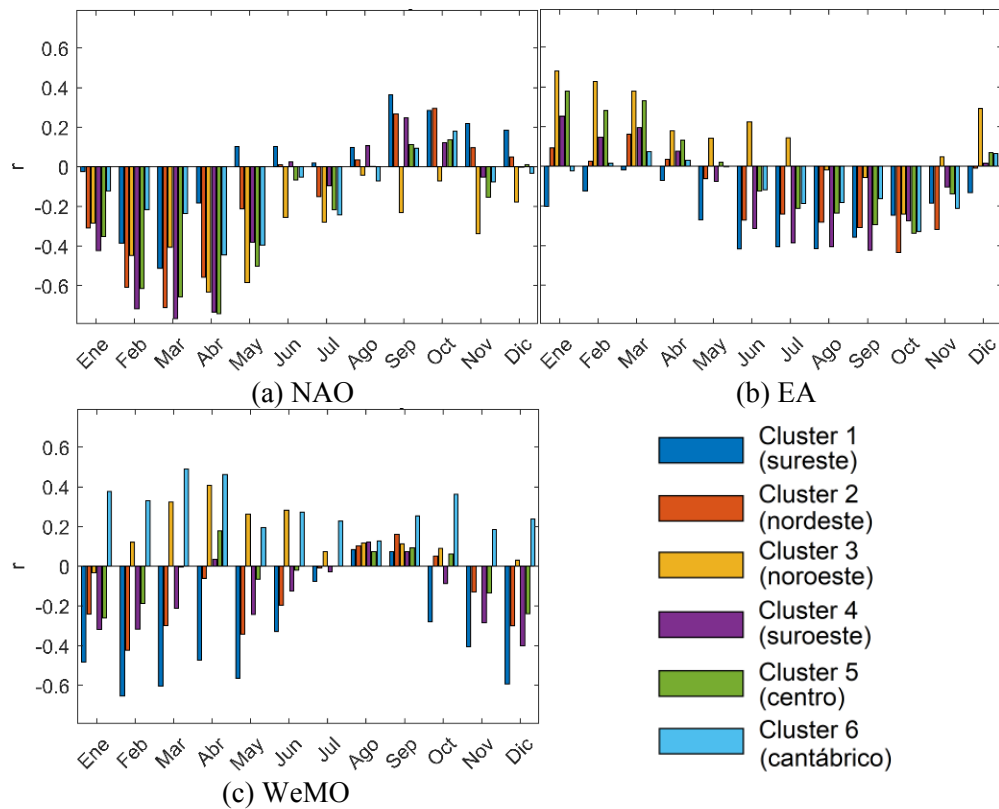


Fig. 2: Correlaciones entre el SPEI03 promediado espacialmente en cada cluster en el mes indicado y los TPs promediados temporalmente en los 3 meses anteriores.

Por otra parte, hay casos en los que el signo de las correlaciones es distinto en cada cluster, para un mismo TP y un mismo mes, como ocurre en la WeMO. Para este TP,

entre noviembre y mayo se observan correlaciones negativas en el sureste, nordeste y suroeste, y correlaciones positivas en el Cantábrico y en el noroeste.

Teniendo en cuenta los valores altos de la correlación de algunos TPs con el SPEI para algunos clusters, se decidió estudiar con más detalle la distribución espacial de las correlaciones. En la *Fig. 3* se muestran las correlaciones espaciales entre el SPEI de marzo y los TPs en invierno, pues es el caso en el que se dan las máximas correlaciones.

Las correlaciones entre el SPEI y la NAO son negativas y elevadas en gran parte del territorio, a excepción del Cantábrico y de la vertiente mediterránea, donde no son significativas. El EA produce correlaciones positivas en el cuadrante noroeste. Finalmente, la WeMO presenta un patrón de correlaciones bipolar, con valores negativos en la vertiente mediterránea y positivos en el área cantábrica. La información obtenida en estos mapas es consistente con el análisis por clusters realizado en la *Fig. 2*, como se analiza con mayor detalle posteriormente.

3.1. NAO

En vista de la *Fig. 2a*, la NAO produce correlaciones negativas en prácticamente todo el territorio peninsular, a excepción de la zona sureste (cluster 1) durante algunos meses del año. Estas correlaciones son más importantes en la vertiente atlántica (clusters 3, 4 y 5, correspondientes al noroeste, suroeste y centro, respectivamente), aunque también se dan en el nordeste (cluster 2) y en el Cantábrico (cluster 6). Este patrón es consistente con la información observada en la *Fig. 3a*, donde prácticamente todo el territorio muestra correlaciones negativas significativas, a excepción de la zona sureste y puntos del Cantábrico.

Durante una fase de NAO positiva tiene lugar una situación de bloqueo sobre la Península Ibérica, que produce un SPEI negativo (la precipitación es escasa). En cambio, en la fase negativa de la NAO el paso de borrascas y frentes tiene lugar más al sur, afectando a la Península Ibérica, con vientos del oeste y suroeste. Estos vientos producen precipitaciones que son más intensas en la vertiente atlántica, mientras que al sureste de la Península los frentes llegan más desgastados y apenas se producen precipitaciones. En esta última región se han observado incluso correlaciones positivas en algunos meses, que pueden deberse al largo recorrido continental del viento del oeste, que llega seco y recalentado, incrementando la evapotranspiración potencial. Por el contrario, en el nordeste peninsular las correlaciones son negativas y elevadas. Esto puede deberse a que, como las borrascas circulan por latitudes bajas, pueden llevar asociado viento del sureste antes de su paso, especialmente en el este y norte peninsular, aumentando la precipitación en el nordeste. En el Cantábrico, puede producirse efecto Foehn de los vientos del sur, sureste y suroeste, de manera que las precipitaciones en esta región no son elevadas.

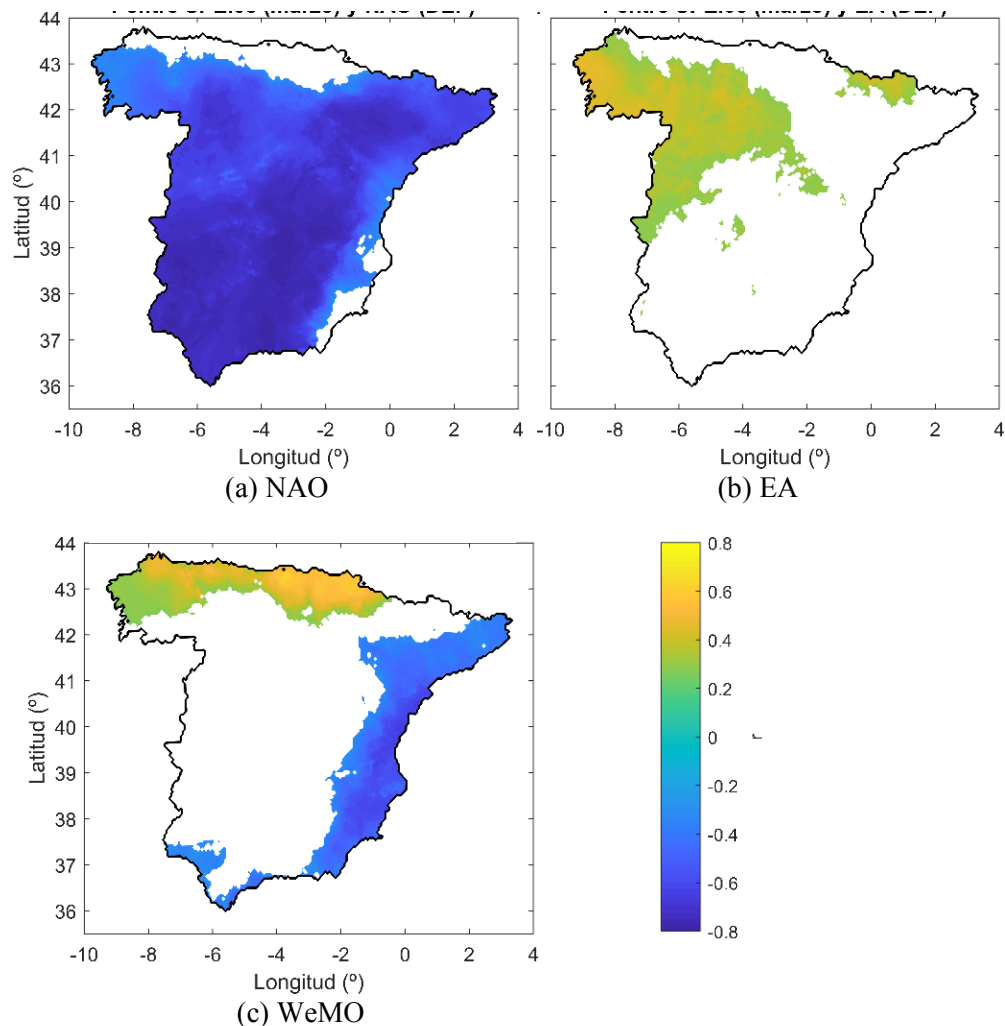


Fig. 3: Mapas de correlación entre SPEI03 (marzo) y promedio de los TPs en DEF. Se representan únicamente los puntos en los que las correlaciones obtenidas son estadísticamente significativas, según un test t de Student al 95% de confianza.

En vista de la *Fig. 2a*, las correlaciones son más intensas y extensas en los meses comprendidos entre enero y abril, en los que se utilizan los valores del índice de la NAO entre octubre y marzo. Esto responde a que durante el invierno la NAO tiene una señal más intensa, puesto que las anomalías de geopotencial asociadas a este TP son mayores. Además, en esta época del año el origen de la precipitación en España es fundamentalmente advectivo (está causada por frentes, borrascas, ríos de humedad...), debido a la falta de energía para producir convección. En verano sucede lo opuesto: las precipitaciones son principalmente de origen convectivo, por lo que es razonable que las correlaciones se debiliten en estos meses, observándose incluso correlaciones positivas (especialmente en la mitad este). Además, en estos meses los centros de acción se desplazan hacia el norte, de manera que sobre la Península ya no

aparece un área de anomalías positivas de presión, sino que aparecen anomalías ligeramente negativas que se extienden desde el norte de África.

3.2. EA

Como se puede ver en la *Fig. 2b*, el EA produce correlaciones positivas en los meses invernales y negativas en verano, produciéndose una transición gradual entre ambos comportamientos. Las correlaciones positivas invernales se dan en la mitad occidental (clusters 3, 4 y 5, correspondientes al noroeste, suroeste y centro, respectivamente), como puede verse en la *Fig. 3b*. En verano las correlaciones negativas se dan en casi todos los clusters, aunque son más importantes en los clusters del sur y este (clusters 1, 2 y 4, correspondientes al sureste, nordeste y suroeste, respectivamente).

Este comportamiento se puede entender en base a la distribución de anomalías de geopotencial asociadas al EA: durante una fase positiva de este TP predomina el paso de borrascas lejos de la Península y al noroeste de la misma, con vientos predominantes del suroeste, que traen precipitaciones a la vertiente atlántica. Los vientos del suroeste también traen temperaturas elevadas, aunque en invierno no son suficientemente altas como para producir una evapotranspiración elevada. Sin embargo, en verano el patrón se debilita, y los vientos del suroeste no traen tanta humedad, predominando el efecto del incremento de evapotranspiración causado por las temperaturas elevadas.

3.3. WeMO

La WeMO es uno de los TPs cuya relación con la sequía en España es más interesante, ya que aparece un patrón bipolar, con correlaciones negativas en la vertiente mediterránea y positivas en la cantábrica. Esto se aprecia claramente en la *Fig. 2c*, donde se observan correlaciones negativas importantes en los clusters 1 (sureste) y 2 (nordeste), y, en menor medida, en el cluster 4 (suroeste). Por contra, se aprecian correlaciones positivas en el cluster 6 (Cantábrico) y en el cluster 3 (noroeste). Las correlaciones son mayores en los meses de invierno y primavera (entre diciembre y mayo), aunque también aparecen en el resto de meses salvo en verano.

Durante una fase negativa de la WeMO se tiene una advección de viento de levante sobre la Península. Este viento aporta humedad y precipitaciones a la vertiente mediterránea, donde las correlaciones observadas son negativas. Sin embargo, en el Cantábrico y en el oeste peninsular este viento es seco y cálido, por lo que se produce una disminución en la precipitación y un incremento en la evapotranspiración, dando lugar a sequía. Lo opuesto sucede durante una fase positiva, en la que el viento es del oeste o noroeste, dando lugar a precipitación en el Cantábrico y noroeste, y a tiempo seco en la región mediterránea.

Este patrón bipolar es especialmente claro en los meses comprendidos entre febrero y junio (*Fig. 3c*), cuando la precipitación en el área mediterránea es máxima. En noviembre y diciembre también se observan amplias correlaciones, coincidiendo con el máximo secundario de la precipitación (aunque en estos meses las correlaciones positivas en el Cantábrico son muy bajas). Las correlaciones en verano disminuyen considerablemente debido a que la precipitación en el área mediterránea es prácticamente nula y además puede deberse a otros factores, como la convección o la temperatura del mar.

El interés de la WeMO radica en que es el patrón que explica con mayor claridad el comportamiento hidrológico en la zona oriental peninsular, que además es una de las regiones donde las sequías son más recurrentes y sus impactos son más acusados. También resulta de interés para el estudio hidrológico en el Cantábrico, aunque en este caso la señal está muy repartida entre los distintos TPs.

4. DISCUSIÓN

Los mapas presentados en este trabajo (correspondientes al invierno) corroboran las conclusiones obtenidas en estudios previos. Rodríguez-Fonseca y Rodríguez-Puebla (2010) mostraron que la precipitación en invierno en la Península se correlacionaba con los TPs con distribuciones muy similares a las obtenidas en este trabajo para el índice de sequía. Las discrepancias existentes se pueden deber a que el índice de sequía considerado aquí tiene en cuenta otros factores además de la precipitación, como la temperatura, la humedad o el viento (a través de la evapotranspiración potencial), que también varían en función de los TPs. Por ejemplo, la correlación entre la precipitación en SON y la WeMO es negativa en el este y sur peninsulares, y no aparecen correlaciones positivas en el Cantábrico, como sí se observa en el caso del SPEI (no mostrado en este trabajo).

La NAO es el TP cuya influencia es más importante en la región de estudio, pues, realizando un análisis de funciones empíricas ortogonales (EOFs) de la presión a nivel del mar, el primer modo que se obtiene (que explica la mayor varianza) corresponde a la NAO (Trigo y Palutikof, 2001). Por lo tanto, es razonable que dicho TP explique gran parte de la precipitación (y, por tanto, de la sequía) en la Península Ibérica.

Por su parte, el EA produce un incremento de la precipitación en el área de influencia atlántica (Rodríguez-Fonseca y Rodríguez-Puebla, 2010), especialmente en la zona de Galicia, donde dicho TP explica la precipitación a lo largo del año de forma más evidente que la NAO (Lorenzo et al., 2008). Sin embargo, este TP también afecta a la temperatura, dando lugar a temperaturas más elevadas durante una fase positiva, como ya estudiaron Sáenz et al. (2001), que obtuvieron correlaciones negativas entre la temperatura y el EA (aunque la definición del EA en este artículo es de signo opuesto a la utilizada aquí, por lo que una fase positiva del EA aquí definido daría lugar a temperaturas elevadas). Las temperaturas anómalamente altas en invierno no tienen un efecto significativo en la evapotranspiración potencial y, por tanto, domina el efecto del incremento de la precipitación, observándose correlaciones positivas entre el EA y el SPEI. Por contra, en verano el efecto dominante es el del incremento de temperatura, ya que en esta estación las temperaturas son elevadas y sus variaciones determinan fuertemente la evapotranspiración potencial, lo que, unido al hecho de que el EA se debilita en verano y aporta menos precipitación, da lugar a correlaciones negativas.

Finalmente, en el caso de la WeMO, Martín-Vide y Lopez-Bustins (2006) obtuvieron conclusiones similares a las que se ha llegado en este estudio, pero basándose en la precipitación. En dicho trabajo se analizaron las correlaciones entre la WeMO y la precipitación en la Península mes a mes durante los meses de octubre a marzo, comparándola con la correlación que se obtiene para la NAO. De esta forma, también se concluye que la WeMO tiene una mayor influencia en la vertiente mediterránea

que la NAO, algo que también se ha obtenido en el presente estudio, pues la WeMO es el TP que produce correlaciones más elevadas en el cluster del sureste.

REFERENCIAS

- Arthur, D. y Vassilvitskii, S. (2007). k-means++: The advantages of careful seeding. In/En Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms (pp. 1027-1035)
- Beguiría, S., Latorre, B., Reig, F., y Vicente-Serrano, S. M. (2018). About the SPEI. Recuperado de: <http://spei.csic.es/home.html> [Consultado: 02/06/2018]
- Büßow, R. (2007). An algorithm for the continuous Morlet wavelet transform. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(8): 2970-2979.
- IPCC (2014). Annex II: Glossary. [Mach, K. J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)] *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- Lorenzo, M., Taboada, J., y Gimeno, L. (2008). Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain). *International Journal of Climatology*, 28(11):1493-1505.
- Martin-Vide, J. y Lopez-Bustins, J.-A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11): 1455-1475.
- Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E., y Glard, D. (1982). Wave propagation and sampling theory-Part I: Complex signal and scattering in multilayered media. *Geophysics*, 47(2): 203-221.
- NOAA (2018). Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. Recuperado de: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/> [Consultado: 02/06/2018].
- Rodríguez-Fonseca, B. y Rodríguez-Puebla, C. (2010). Climate teleconnections affecting Iberian Peninsula climate variability. Predictability and expected changes. *Climate in Spain: Past, present and future. Regional climatic change assessment report*, 1: 53-68.
- Sáenz, J., Rodríguez-Puebla, C., Fernández, J., y Zubillaga, J. (2001). Interpretation of interannual winter temperature variations over southwestern Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D18): 20641-20651.
- Trigo, R. M. y Palutikof, J. P. (2001). Precipitation scenarios over Iberia: a comparison between direct GCM output and different downscaling techniques. *Journal of Climate*, 14(23): 4422-4446.
- Turco, M., Ceglar, A., Prodhomme, C., Soret, A., Toreti, A., y Francisco, J. D.-R. (2017). Summer drought predictability over Europe: empirical versus dynamical forecasts. *Environmental Research Letters*, 12(8): 084006.
- Universitat de Barcelona (2018). La Oscilación del la Mediterránea Occidental (WeMO). Recuperado de: <http://www.ub.edu/gc/es/2016/06/08/wemo/> [Consultado: 02/06/2018].

- Vicente-Serrano, S. M., Tomas-Burguera, M., Beguería, S., Reig, F., Latorre, B., Peña-Gallardo, M., Luna, M. Y., Morata, A., y González-Hidalgo, J. C. (2017). A high resolution dataset of drought indices for Spain. *Data*, 2(3): 22.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*, volume 100. Academic press. pp 467.