

ESTUDIO DE LAS SEQUÍAS EN LAS ISLAS CANARIAS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ÍNDICES MULTIESCALARES

STUDY OF DROUGHT IN THE CANARY ISLANDS THROUGH THE ANALYSIS OF MULTISCALE INDICES

Sara HERNÁNDEZ BARRERA¹, Rosmén TARIFE MÉNDEZ¹, Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS¹,

Yolanda CASTRO-DÍEZ¹, María Jesús ESTEBAN-PARRA¹

¹*Departamento de Física Aplicada. Universidad de Granada.*

sarahdezbarraera@gmail.com, rosmen.geo@gmail.com, srgamiz@ugr.es, ycastro@ugr.es, esteban@ugr.es

RESUMEN

En este trabajo se han estudiado las sequías en las Islas Canarias en el período 1970-2010 para diferentes escalas temporales. En la primera parte se ha analizado la evolución del régimen hídrico de las islas a partir de índices de sequía, en particular el SPEI, que tiene en cuenta el impacto de la temperatura en el balance hídrico, comparándolo con el índice SPI. Los resultados muestran un descenso del índice SPEI a partir de los 80 y el índice SPI presenta valores más bajos en la década de los 70 y principios de los 80. En la segunda parte del trabajo, se ha estudiado la relación de los índices con la Oscilación del Atlántico Norte y con los principales modos de variabilidad de la temperatura superficial del mar en el Atlántico, evaluando además su potencial predictivo para la estimación del valor del índice con varias estaciones de adelanto. Los resultados indican, en el caso de NAO, que dependiendo de la estación del año que se estudie existen correlaciones significativas o no. Para la SST, las correlaciones significativas son más fuertes e indican una predictibilidad con al menos una estación de adelanto.

Palabras claves: Sequía; Islas Canarias; Índice Estándar de Precipitación; Índice Estándar de Precipitación-Evapotranspiración; Oscilación del Atlántico Norte; Temperatura superficial del mar.

ABSTRACT

In this paper we have studied droughts at different time scales in the Canary Islands for the period 1970-2010. In the first part we have analysed the water regime evolution of the islands from drought indices, mainly the SPEI, which takes into account the impact of temperature on water balance, and it has been compared to the SPI index. The results show a decrease of the SPEI index from the 80's; the SPI presents lower values in the 70's and early 80's. In the second part of the work, we have studied the relationship of the indices with the North Atlantic Oscillation and with the main variability modes of the sea surface temperature in the Atlantic Ocean. In addition, it has been also evaluated its potential predictive skill for estimating the index several seasons in advance. The results show, particularly in the case of the NAO, that there are significant correlations or not depending on the considered season,. In the case of SST, significant correlations are stronger and indicate potential predictability with at least one season ahead.

Key words: Drought; Canary Islands; Standardised Precipitation Index; Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index; North Atlantic Oscillation; Sea Surface Temperature.

1. INTRODUCCIÓN

La sequía es un evento extremo que no cuenta con una definición universalmente aceptada, contemplándose más de 150 definiciones posibles para dicho término (Burton *et al.*, 1978; Wilhite and Glantz, 1985; Wilhite, 1993). Entre ellas podemos destacar, que la sequía es un riesgo penetrante, dada su frecuencia intermedia, su larga duración, su lenta velocidad de implantación, su carácter aleatorio en el tiempo, su gran extensión, y su elevada variabilidad espacial (Burton *et al.*, 1978). El estudio de la sequía se puede abordar usando diferentes índices, entre los que cabe destacar el índice de Palmer, que se basa en balances hídricos, considerando la entrada y salida de agua en el suelo en forma de precipitación y evapotranspiración potencial. Este índice ha sido criticado debido a sus innumerables insuficiencias, siendo su principal problema su carácter uni-escalar, es decir, sólo se puede obtener en una escala de tiempo concreta, impidiendo diferenciar diferentes tipos de sequías. El índice SPI, se basa en la cuantificación de la precipitación para un determinado mes del año y una determinada escala temporal, ajustándose a una distribución normal (McKee *et al.*, 1993; McKee and Edwards, 1997). La característica principal de este índice es que se puede calcular para diferentes escalas de tiempo, permitiendo así, controlar a corto plazo el abastecimiento de agua. El índice SPEI, es un índice que incorpora tanto datos de precipitación como de temperatura, lo que aumenta su interés debido a que los modelos climáticos predicen un marcado aumento de la temperatura en el siglo XXI, que hacen previsible importantes repercusiones en las condiciones de sequías al aumentar los procesos de evapotranspiración (Vicente-Serrano *et al.*, 2010).

En Canarias, el impacto de las sequías es un problema de gran magnitud, dado que las islas se encuentran en una situación de marcada sobreexplotación de sus recursos hídricos (Morales *et al.*, 2000). Por ello, en este trabajo se han analizado los episodios de sequía a partir de índices de sequía, en particular del SPEI y el SPI. También se ha estudiado su posible relación con la NAO (García *et al.*, 2001) y con los principales modos de variabilidad de la temperatura superficial del mar en el Atlántico.

2. DATOS

Los datos de precipitación mensual y de temperatura media mensual utilizados en este trabajo han sido facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Estos datos han sido tratados para seleccionar aquellas estaciones adecuadas para este estudio. El control de calidad se ha basado en desechar aquellas series cuyos registros fueran inferiores a 40 años (1970-2010) y que contuvieran más de un 15% de huecos. Debido a que en el cálculo del índice SPEI se combinan los datos de precipitación y temperatura, se han eliminado aquellas estaciones en las que no se disponía de ambos parámetros. Como resultado final se obtienen 10 estaciones de temperatura y 11 de precipitación, de las 45 y 219, respectivamente, que disponíamos inicialmente. Se dispone de una estación menos de temperatura porque en el caso en el que las estaciones no se localizan en el mismo emplazamiento, se ha considerado la proximidad geográfica como el factor determinante a la hora de seleccionar ambas estaciones.

3. METODOLOGÍA

3.1. Índices de sequía: SPEI y SPI

El índice SPI (*Standardized Precipitation Index*) se basa en la cuantificación de la precipitación acumulada para un determinado mes de un año dado en una determinada escala temporal, ajustándose a una distribución normal (McKee *et al.*, 1993; McKee and Edwards, 1997). En la Tabla 1, se muestra la clasificación de las sequías según el valor del índice SPI.

SPI	CATEGORÍA
<1.65	Extremadamente húmedo
1.28 a 1.64	Muy húmedo
0.84 a 1.27	Moderadamente húmedo
-0.84 a 0.84	Normal
-1.28 a -0.83	Moderadamente seco
-1.65 a -1.27	Muy seco
<-1.65	Extremadamente seco

TABLA 1: Clasificación de las sequías según el índice SPI.

El índice SPEI (*Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*) combina datos de precipitación y temperatura y se basa en el mismo procedimiento de cálculo que el índice SPI. Se obtiene calculando la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración (PET). Esto representa un balance hídrico climático que se calcula para diferentes escalas de tiempo.

Para el cálculo de los índices de sequía, tanto del SPI como del SPEI, se ha utilizado el software desarrollado por Santiago Beguería y Sergio M. Vicente Serrano (<http://digital.csic.es/handle/10261/10002>). El índice SPI se calcula a partir de los datos de precipitación acumulada, permitiendo utilizar el intervalo de meses que se desee, en nuestro caso se ha calculado para 3 y 12 meses, generando una serie temporal del índice en cada una de las dos escalas mensuales elegidas. Análogamente, en el caso del SPEI, el programa de cálculo, también proporciona series temporales de dicho índice. A partir de un archivo de datos de precipitación y temperatura media mensual y la localización de la estación, el software calcula el índice SPEI acumulado en el intervalo de meses que se desee, al igual que en el SPI, generando un nuevo archivo con la serie temporal del índice.

3.2. Evaluación de la Oscilación del Atlántico Norte en las sequías

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO, North Atlantic Oscillation) es la principal circulación atmosférica que determina el clima de invierno en la zona del Atlántico Norte (Hurrell *et al.*, 2003). Durante la fase positiva de la NAO, las condiciones secas afectan al sur de Europa, mientras que aumentan las precipitaciones en el norte de Europa (Hurrell *et al.*, 2003; Hurrell y Van Loon 1997; Trigo *et al.*, 2002). Y en la fase negativa de la NAO ocurre el patrón contrario.

El propósito de evaluar el comportamiento de la NAO en invierno es que se puede utilizar para predecir la sequía en los siguientes meses y estaciones, y así predecir las tendencias de los recursos hídricos.

El índice NAO utilizado ha sido descargado de la página web del National Weather Service Climate Prediction Center (ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh). Una vez obtenidos los datos y calculado el índice NAO de invierno (diciembre-febrero y diciembre-marzo, periodo en el que la NAO está mejor definida y desarrollada, Hurrell *et al.*, 2003; Osborn *et al.*, 1999) y de primavera (marzo-mayo), se han identificado los años correspondientes a las fases positivas y negativas del índice NAO.

Para determinar si los promedios del índice SPEI, representan de manera significativa las condiciones de humedad o sequedad en las fases positivas o negativas se ha utilizado el test Wilcoxon-Mann-Whitney. Este test, basado en rangos, es ligeramente menos potente que las pruebas paramétricas, pero no requiere muestras de una distribución normal (Helsel y Hirsch, 1992).

3.3. Evaluación de los impactos de la SST en las sequías

Diversos estudios han mostrado la relación entre las variaciones de la temperatura de la superficie del mar (SST), con variables climáticas relacionadas con el ciclo hidrológico (Gámiz-Fortis *et al.*, 2010, 2011; Ionita *et al.*, 2010, 2011). En este trabajo se ha analizado la relación entre el SPEI y los principales modos de variabilidad de la SST en el Atlántico en base estacional mediante análisis de correlaciones, estudiando tanto la influencia de la SST contemporánea como la de las estaciones previas.

La base de datos de SST usada es la HadISST1.1 del Hadley Centre (Rayner *et al.*, 2003). Esta base de datos cubre el periodo 1870-2011 y son datos en rejilla de resolución $1^\circ \times 1^\circ$. Se han obtenido los principales modos de variabilidad de la SST en el área comprendida entre 80°W - 30°E y 20°S - 90°N mediante el Análisis de Componentes Principales, PCA en el periodo 1970-2010. Para evitar problemas de colinealidad en el análisis de correlaciones entre los modos temporales de la SST y el SPEI, se ha sustraído la tendencia en los datos de SST.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Previamente a la caracterización temporal del régimen hídrico de Canarias, se han analizado las tendencias de las series de precipitación y temperatura medias anuales, utilizando para ello el método de regresión lineal, encontrándose aumentos significativos en la temperatura media anual del orden de $0.4^\circ\text{C}/\text{década}$ y la ausencia de cambios significativos en las series anuales de precipitación. La Figura 1 muestra, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos para la estación del El Hierro, y la Tabla 2 resume los resultados de estas tendencias para cada una de las estaciones seleccionadas en este estudio.

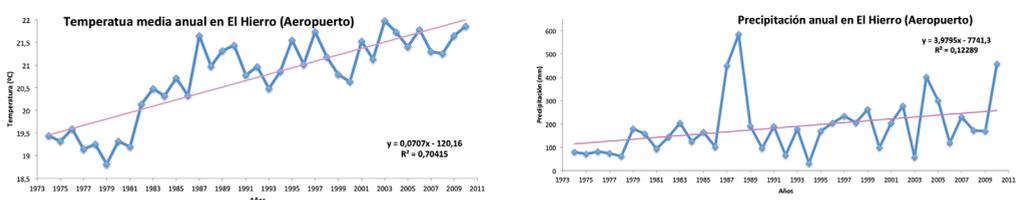


FIG. 1: Evolución temporal de la temperatura anual ($^\circ\text{C}$) y de la precipitación anual (mm) para la estación de El Hierro

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm/década)	TEMPERATURA (°C/década)
La Gomera - Alajeró	43.0	0.201
Fuerteventura - Aeropuerto	-7.4	0.52
Gran Canaria - Gando	9.6	0.37
El Hierro - Aeropuerto	39.8	0.71
Tenerife - Izaña	-60.8	0.35
Lanzarote - Aeropuerto	3.2	0.44
La Palma - Aeropuerto	30.9	0.40
Tenerife - Los Rodeos	-34.1	0.32
Tenerife - Sta. Cruz	4.8	0.32
Lanzarote - Tías	1.2	
Gran Canaria - Valleseco	-31.1	0.46

TABLA 2: Valor de la pendiente para la temperatura media anual (°C/década) y la precipitación anual (mm/década). Las tendencias significativas al nivel de confianza del 95% se indican en negrita.

Una vez determinadas estas tendencias, se han identificado los episodios de sequía en el período 1970-2010. Los resultados muestran que los índices SPEI y SPI, calculados para 3 meses, presentan una evolución temporal similar, en cambio para los índices de 12 meses estas diferencias se acentúan. El índice SPEI muestra un descenso desde finales de los 80, en cambio el índice SPI presenta valores más bajos en los 70 y principios de los 80. La Figura 2 muestra los resultados para la estación de Santa Cruz de Tenerife.

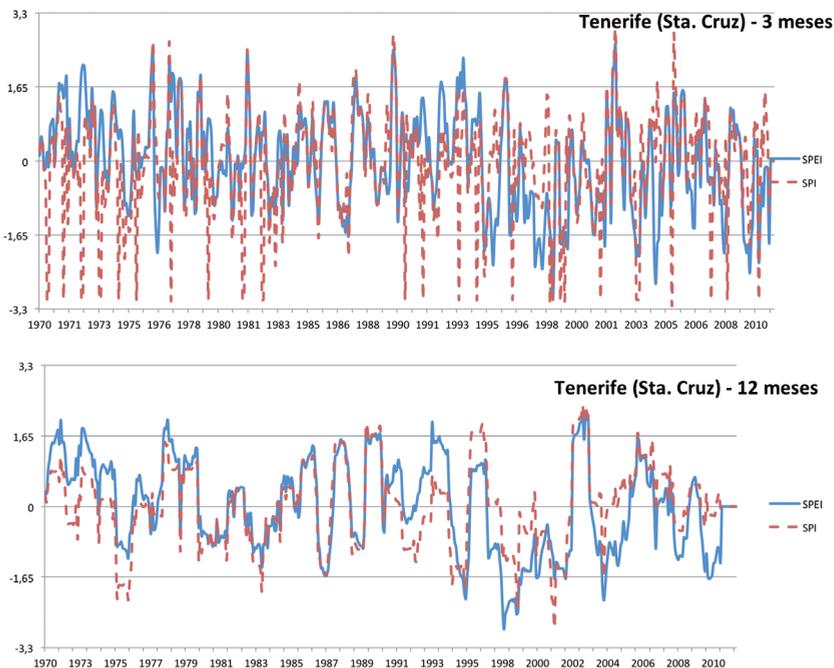


FIG. 2: Evolución temporal de los índices SPEI (color azul) y SPI (color rojo) acumulados para 3 y 12 meses en el periodo 1970-2010, en la estación de Santa Cruz de Tenerife.

En el estudio de las correlaciones entre la NAO y los índices (SPEI y SPI) se puede concluir que para el invierno no se obtienen correlaciones significativas, pero sí para la primavera: el índice SPEI presenta correlaciones significativas positivas para las estaciones orientales, y en el caso del índice SPI, sólo muestra una correlación significativa la estación de Los Rodeos (Tenerife). Las correlaciones más significativas se han obtenido para el índice NAO (diciembre-marzo) y los índices SPEI y SPI de marzo, cuyos valores se muestran en la Tabla 3. Puede observarse que estas correlaciones son negativas y significativas para las islas occidentales. También se han obtenido correlaciones negativas y significativas en las islas más occidentales para la NAO anual y los índices SPEI y SPI de 12 meses.

Estación	SPI (marzo)	SPEI (marzo)
La Gomera - Alajeró	-0.671	-0.667
Fuerteventura - Aeropuerto	-0.022	0.067
Gran Canaria - Gando	-0.106	-0.095
El Hierro - Aeropuerto	-0.412	-0.218
Tenerife - Izaña	-0.288	-0.202
Lanzarote - Aeropuerto	-0.197	-0.089
La Palma - Aeropuerto	-0.488	-0.426
Tenerife - Los Rodeos	-0.540	-0.501
Tenerife - Sta. Cruz	-0.399	-0.337
Lanzarote - Tías	-0.167	-0.089
Gran Canaria - Valleseco	-0.417	-0.397

TABLA 3: Correlaciones entre los índices SPI y SPEI de marzo (en escala de 3 meses) y el índice nao de diciembre a marzo. Los resultados significativos al 95% de nivel de confianza, se muestran en negrita.

Por otro lado, en el estudio de la posible influencia alineal de la NAO, para el SPEI de invierno no hay diferencia significativa en las condiciones de sequía entre periodos con NAO extrema de un signo u otro. En la Tabla 4 se muestran los resultados del test de Wilcoxon-Mann-Whitney para el índice SPEI en escala de 3 meses para los meses de febrero y mayo en función de la fase extrema de la NAO. Los resultados indican cambios significativos en los valores de las medianas del SPEI de mayo para las islas de El Hierro, La Palma, Tenerife y el norte de Gran Canaria, de tal forma que valores extremos positivos (/negativos) de la NAO se asocian a primaveras más secas (/menos secas).

En cuanto al análisis de la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar mediante PCA, se encuentran 3 vectores propios al aplicar la regla de North para las cuatro estaciones. Los patrones obtenidos son relativamente estables a lo largo del año, con pequeñas variaciones en cuanto a intensidad y localización, aunque existen diferencias en cuanto a la importancia de cada uno al explicar el porcentaje de varianza en cada época del año. Así la 1ª EOF rotada (REOF), con un porcentaje de varianza asociado en torno al 20%, presenta la conocida forma de herradura o tripolar de la SST (Czaja and Frankignoul, 2002), con correlaciones negativas (positivas en primavera) en todo el Atlántico tropical y al este de Terranova, y correlaciones de signo contrario centradas alrededor de los 50°W, 30°N. La 2ª REOF (3ª para el otoño) está asociada a la variabilidad del Atlántico tropical sur, explicando entre un 13 y 16 % de varianza, según la época del año. La 3ª REOF (2ª para el otoño), es la que más diferencias presenta a lo largo del año, está asociada a la variabilidad de la SST del Atlántico norte, con dos centros de correlaciones en la zona central del Atlántico norte y el Mar del Norte, que en el caso de la primavera se extiende por todo el sector oriental del Atlántico norte. Los porcentajes de varianza asociada en este caso están aproximadamente entre el 12 y 13%.

Estación	SPEI (invierno)		SPEI (primavera)	
	P	H	P	H
La Gomera - Alajeró	0.7500	0	0.2500	0
Fuerteventura - Aeropuerto	0.4121	0	0.3152	0
Gran Canaria - Gando	0.6485	0	0.8364	0
El Hierro - Aeropuerto	0.8333	0	0.0167	1
Tenerife - Izaña	0.5697	0	0.1091	0
Lanzarote - Aeropuerto	0.3758	0	0.9273	0
La Palma - Aeropuerto	0.2303	0	0.0121	1
Tenerife - Los Rodeos	0.6485	0	0.0061	1
Tenerife - Sta. Cruz	1	0	0.0121	1
Lanzarote - Tías	0.3833	0	0.8333	0
Gran Canaria - Valleseco	0.5273	0	0.0424	1

TABLA 4: Test de Wilcoxon-Mann-Whitney para el índice SPEI (escala de 3 meses) para los meses de febrero y mayo en función de la fase extrema de la nao. Los resultados significativos al 95% de nivel de confianza, se muestran en negrita.

Las series de componentes principales asociadas a las diferentes REOFs muestran, en general, tendencias crecientes, es decir hacia un aumento de las anomalías de las temperaturas. Se han obtenido las correlaciones entre las series PCs rotadas asociadas a cada una de las REOFs significativas de la SST estacional y el índice SPEI de tres meses para la estación coetánea a la SST y las tres estaciones siguientes. A modo de ejemplo, la Tabla 5 resume los valores obtenidos para estas correlaciones en verano. Los resultados muestran que la influencia de la SST coetánea es más clara durante las estaciones de primavera y verano, donde las tres series PCs de la SST presentan correlaciones significativas con los índices de sequía. La primera PC asociada al tripolo atlántico presenta correlaciones negativas con todas las islas menos las más occidentales e Izaña, de tal forma que un aumento de la SST estaría relacionado con disminuciones en los valores del índice, y por tanto con la aparición de condiciones más secas tanto en primavera como en verano. La segunda PC presenta correlaciones significativas sólo en algunas de la localidades occidentales, mientras que la tercera PC presenta correlaciones significativas negativas para el verano en general, llegando a alcanzar valores en torno a -0.7, mientras que en primavera estas correlaciones significativas son menos elevadas y generalizadas. Durante el invierno y el otoño, el impacto es más moderado, de tal forma que sólo la primera PC muestra correlaciones negativas significativas con las estaciones más occidentales para el invierno y positivas con las más orientales durante el otoño.

En el análisis de las correlaciones con los índices retrasados, la SST de invierno mantiene su influencia en las estaciones siguientes. Así, la primera PC de invierno mantiene correlaciones significativas con los índices de sequía de las estaciones orientales y centrales más secas desde la primavera hasta el otoño siguiente, mientras que la tercera PC presenta correlaciones significativas para casi todas las estaciones tanto la primavera como el verano siguiente. El impacto de la SST de primavera, más limitado en el tiempo, aparece fundamentalmente asociado a la 3ª PC, que correlaciona negativamente con todas las estaciones, y de forma significativa, excepto en Alajeró y Valleseco, alcanzando correlaciones del orden de -0.6 en las estaciones más orientales, e indicando por tanto que aumentos de la SST en el Atlántico norte oriental inducen disminuciones en los valores del índice, por otro lado la 2ª PC de la SST de primavera presenta correlaciones significativas con algunas estaciones occidentales en el verano siguiente.

ESTACIÓN		1ª PC	2ª PC	3ª PC
La Gomera - Alajeró	Verano	0.177	0.445	0.381
	Otoño	-0.186	0.013	0.041
	Invierno	-0.208	-0.111	-0.259
	Primavera	0.219	-0.170	0.415
Fuerteventura - Aeropuerto	Verano	0.491	0.048	0.692
	Otoño	0.314	-0.102	0.373
	Invierno	0.282	0.208	0.108
	Primavera	0.634	0.286	0.421
Gran Canaria - Gando	Verano	0.555	0.021	0.637
	Otoño	0.109	-0.190	0.146
	Invierno	0.149	-0.047	-0.044
	Primavera	0.662	0.323	0.479
El Hierro - Aeropuerto	Verano	0.465	0.034	0.674
	Otoño	-0.121	-0.068	0.242
	Invierno	-0.258	-0.230	-0.204
	Primavera	0.307	0.220	0.479
Tenerife - Izaña	Verano	0.106	0.347	0.259
	Otoño	-0.082	-0.218	0.077
	Invierno	0.062	-0.040	0.102
	Primavera	0.384	0.317	0.404
Lanzarote – Aeropuerto	Verano	0.554	0.069	0.739
	Otoño	0.331	-0.106	0.168
	Invierno	0.095	0.190	0.032
	Primavera	0.645	0.346	0.459
La Palma – Aeropuerto	Verano	0.522	-0.065	0.761
	Otoño	-0.311	-0.266	-0.023
	Invierno	-0.228	-0.123	-0.144
	Primavera	0.380	0.099	0.365
Tenerife - Los Rodeos	Verano	0.343	-0.045	0.467
	Otoño	-0.045	-0.160	0.107
	Invierno	0.050	-0.181	0.020
	Primavera	0.538	0.270	0.293
Tenerife – Santa Cruz	Verano	0.540	0.105	0.654
	Otoño	0.109	-0.065	0.258
	Invierno	0.161	-0.104	-0.015
	Primavera	0.634	0.332	0.347
Lanzarote - Tías	Verano	0.564	0.067	0.741
	Otoño	0.288	-0.142	0.148
	Invierno	0.082	0.156	-0.005
	Primavera	0.674	0.259	0.454
Gran Canaria - Valleseco	Verano	0.130	0.253	0.352
	Otoño	0.005	0.2044	-0.049
	Invierno	0.178	-0.135	0.089
	Primavera	0.520	0.303	0.333

TABLA 5: Correlaciones entre las series PCS rotadas de la SST de verano del atlántico y el índice SPEI del verano coetáneo y de las tres estaciones (Otoño, Invierno y Primavera) siguientes. Los resultados significativos al 95% de nivel de confianza, se muestran en negrita.

La relación de la SST de verano con los índices de sequía de las dos estaciones siguientes es muy débil, pero emerge al analizar las correlaciones con los índices de la primavera siguiente, de tal forma que tanto la 1ª como la 3ª PC muestran correlaciones significativas en la mayoría de las estaciones, indicando de nuevo que temperaturas más altas de la superficie del mar en la mayor parte del Atlántico (tropical y norte) en verano están asociadas a disminuciones del SPEI, es decir condiciones más secas, durante el otoño e invierno siguientes. La SST de otoño tiene un comportamiento similar, con una influencia destacable de los patrones asociados al tripolo (1ª PC) y al Atlántico central (2ª PC) en la primavera y verano del año siguiente, siendo especialmente significativa para el caso del tripolo en ambas estaciones y de la 2ª PC para el verano, de tal forma que las anomalías positivas en estos patrones vuelven a estar relacionadas con descensos en el índice SPEI.

Así pues, cabe concluir que existe una relación del índice de sequía SPEI con los principales patrones de variabilidad la SST del Atlántico, indicando además una potencial fuente de predictibilidad con al menos una estación de adelanto, en particular con los relacionados con el tripolo y con la zona central y este del Atlántico.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CGL2010-21188/CLI, financiado por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación y los Fondos FEDER de la Comunidad Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- Burton, I.; Kates R.W. y White G.F. (1978). *The Environment as Hazard*. Oxford University Press, New York, 240 pp.
- Czaja, A. y Frankignoul C. (2002). "Observed impact of Atlantic SST anomalies on the North Atlantic Oscillation". *J. Climate*, 15, pp. 606-623.
- Gámiz-Fortis, S.R.; Esteban-Parra, M.J.; Trigo, R.M. y Castro-Diez, Y. (2010) "Potencial predictability of an Iberian river flow based on its relationship with previous winter global SST". *J. Hydrol.*, 385, pp. 143-149.
- Gámiz-Fortis, S.R.; Hidalgo-Muñoz, J.M.; Argüeso, D.; Esteban-Parra, M.J. y Castro-Diez, Y. (2011). "Spatio-temporal variability in Ebro river basin (NE Spain): global SST as potential source of predictability on decadal time scales". *J. Hydrol.*, 409, pp. 759-775.
- García, R.; Gallego, D.; Hernández, E.; Gimeno, L. y Ribera, P. (2001). "Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands Precipitation". *J. Climate*, 14, pp. 3889-3903.
- Helsel, D.R. y Hirsch R.M. (1992). *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier, 522 pp.
- Hurrell, J.W. y Van Loon H. (1997). "Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation". *Climatic Change*, 36, pp. 301-326.
- Hurrell, J.W.; Kushnir, Y.; Visbeck, M. y Ottersen, G. (2003). An overview of the North Atlantic Oscillation. En: *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*. Geophys. Monogr., Vol. 134, Amer. Geophys. Union, 1-36.
- Ionita, M.; Lohmann, G.; Rambu, N. y Chelcea, S. (2011). "Interannual to decadal summer drought variability over Europe and its relationship to global sea surface temperature". *Clim. Dynam.*, doi:10.1007/s00382-011-1028-y.
- Ionita, M.; Rambu, N. y Lohmann, G. (2010) "Decadal variability of Elbe river streamflow". *I. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.2054 .
- McKee; T.B.; Doesken, N.J. y Kleist, N. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society: Boston, MA; 179-184
- McKee, T.B. y Edwards, D.C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales. Colorado State University: Fort Collins. *Climatology Report No. 97-2*.

- Morales Gil, A.; Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (2000). "Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección". *Investigaciones Geográficas*, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, 22, pp. 5-46.
- Osborn, T.J.; Briffa, K.R.; Tett, S.F.B.; Jones, P.D. y Trigo, R.M. (1999). "Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model". *Clim. Dyn.*, 15, pp.685– 702.
- Rayner, N. A.; Parker, D. E.; Horton, E. B.; Folland, C. K.; Alexander, L. V.; Rowell, D. P.; Kent, E. C.; Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century". *J. Geophys. Res.*,108, D14, pp. 4407 10.1029/2002JD002670
- Trigo, R.M.; Osborn, T.J. y Corte-Real, J. (2002). "The North Atlantic Oscillation influence on Europe: Climate impacts and associated physical mechanisms". *Clim. Res.*, 20, pp. 9–17.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S. y López-Moreno, J.I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*, DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Wilhite, D.A. (1993) *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Natural Resource Management and Policy Series, Vol. 2, Kluwer, 293 pp.
- Wilhite, D.A. y Glantz, M.H. (1985). "Understanding the drought phenomenon: the role of definitions". *Water International*, 10, pp. 111–120.