

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE ÍNDICES DE  
TELECONEXIÓN EN LOS CAUDALES MÁXIMOS EN LA ESPAÑA  
PENINSULAR**

*Jesús López, Félix Francés, Miguel Barrios e Ismael Orozco*

*Universidad Politécnica de Valencia*

*Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*

*Valencia, España*

[jeslpede@posgrado.upv.es](mailto:jeslpede@posgrado.upv.es), [ffrances@hma.upv.es](mailto:ffrances@hma.upv.es), [mibarpe@posgrado.upv.es](mailto:mibarpe@posgrado.upv.es), [isorme@posgrado.upv.es](mailto:isorme@posgrado.upv.es)

**RESUMEN:**

La necesidad de considerar la no estacionaridad en el análisis de frecuencias de eventos extremos es un tema de actualidad que ha tomado relevante importancia, en muchos de los esfuerzos realizados en el tema se consideran las oscilaciones climáticas existentes a lo largo del planeta como unas de las posibles influencias en la variación de los eventos extremos en diversas partes del mundo. Estas oscilaciones climáticas han sido caracterizadas a lo largo del tiempo con índices estandarizados, denominados índices de teleconexión, los cuales pueden estar basados en el océano y/o la atmosfera o una combinación de ambos. En el presente trabajo se hace un análisis de la influencia de 6 índices de teleconexión en la variación de los caudales máximos registrados en 80 estaciones distribuidas a lo largo de la España Peninsular. El análisis se llevo a cabo tanto para caudales máximos anuales y mensuales, con lo que se pudo determinar las zonas en que los índices tienen una mayor influencia, así como los meses en los cuales esa influencia es significativa. Para el análisis se utilizaron los test estadístico de Pearson y Kendall como parámetro de la correlación existente entre los caudales y los índices de teleconexión. Las zonas de influencia se pudieron determinar para cada índice en base a una interpolación de los coeficientes de correlación puntuales utilizando el algoritmo de Kriging.

**ABSTRACT:**

The need to consider non-stationary in the frequency analysis of extreme events is a current issue which has taken significant importance in many of the efforts on the issue considering the existing climatic oscillations throughout the world as one of the possible influences on the variation of extreme events in various parts of the world. These climate oscillations have been characterized over time with standardized indices, called teleconnection indices, which may be based on ocean and/or the atmosphere or a combination of both. In this paper we analyze the influence of six indices of teleconnection in the variation of peak flows recorded at 80 stations distributed over peninsular Spain. The analysis was conducted for both annual and monthly peak flows, which could determine the areas where rates have a greater influence, and the months in which that influence is significant. To analyze statistical tests were used for the Pearson and Kendall as a parameter of the correlation between the flow and teleconnection indices. The zones of influence could be determined for each index based on an interpolation of the specific correlation coefficients using the Kriging algorithm.

**PALABRAS CLAVES:**

Índices de Teleconexión, Caudales Máximos, Correlación

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el estudio de la variabilidad climática es uno de los temas más relevantes de las ciencias ambientales. El clima varía de un año a otro, entre décadas e incluso entre milenios. El hombre o la naturaleza pueden modificar el clima de la tierra. Sin embargo la complejidad de esta variación dificulta identificar el origen de la misma. Variaciones simultáneas en el tiempo y el clima sobre puntos muy distantes entre sí en la tierra han sido durante mucho tiempo en la literatura meteorológica objeto de estudio. Estas variaciones se conocen comúnmente como "teleconexiones".

En la Península Ibérica los regímenes de precipitación están caracterizados por una importante variabilidad interanual, presentándose una gran irregularidad en su distribución tanto espacial como temporal (Serrano A. et al 1999; García, J., et al 2007; Caramelo, et al 2007; De Luis, M. 2000, 2009) y como una consecuencia los caudales presentan grandes disparidades entre años secos y húmedos. Diversos investigadores han hecho esfuerzos por encontrar factores que puedan explicar tal variabilidad, centrándose la mayoría de ellos en el análisis de la precipitación mensual y caudales mensuales, su tendencia y su fuerte correlación con patrones de circulación, sobresaliendo los estudios con el índice de teleconexión NAO (Oscilación del Atlántico Norte), que ha mostrado su importante influencia en la fachada atlántica, el cual es un patrón de circulación a gran escala estadísticamente y físicamente robusto y que caracteriza la variabilidad climática en el hemisferio norte (Branstator, 2002; Hurrell et al 2001). Entre los trabajos realizados en España se encuentran los realizados por Esteban et al (2002) que calcularon el coeficiente de correlación de Pearson entre el índice NAO y la precipitación mensual de diciembre (1961-1990) en 709 observatorios repartidos por las dos vertientes del Pirineo Oriental, mostrando una clara relación entre la distribución de las isohietas y el relieve, sobretodo en aquellas zonas con barreras orográficas destacables y valles bien orientados a los flujos del suroeste. Trigo et al. (2004) analizaron la influencia de la NAO en la precipitación, caudales mensuales en la Península Ibérica. El estudio estuvo enfocado en las cuencas del Duero, Tago y Guadiana, los resultados mostraron que la variabilidad interanual de los caudales esta fuertemente modulada por el fenómeno de la NAO. Moreno, J., et al (2006), examinaron el papel de las fases extremas del índice NAO en los volúmenes mensuales y máximos anuales y volúmenes de almacenamiento en el río Tago para el periodo de 1950-2003, mostrando que las anomalías máximas negativas del índice durante el invierno están altamente relacionadas con las series de valores extremos. González, J., et al (2008) estudiaron la sincronía de diferentes modos de variabilidad de baja frecuencia (WEMO, NAO, MO) con la precipitación mensual de la fachada Oriental de la Península Ibérica, encontrando como índices dominantes en la región NAO y MO mostrando las correlaciones significativas en su fase negativa. Tejeda, E. et al (2010), analizó la respuesta de la cuenca del río Duero ante la presencia de las fases negativa y positiva del índice NAO, la precipitación y caudales de los ríos presentaron diferencias significativas entre las fases NAO positiva y negativa con anomalías negativas (seco) durante los períodos de NAO positiva, y las anomalías positivas (condiciones húmedas) durante los períodos de NAO negativa.

El impacto del ENSO en el Atlántico Norte es mucho más débil y menos robusta que en el Pacífico (Fraedrich et al 1992, May et al 1998, Moron et al 1998, Dong et al.2000, Pozo-Vázquez et al. 2001). Sin embargo existe una relación entre el ENSO y el clima en Europa ( Fraedrich et al 1993, Wilby 1993, Gershunov et al 1998, Bailey 1998), entre los estudios realizados en España se encuentran el realizado por Rodo, et al (1997), en el cual se analizó la influencia de las señales ENSO, NAO y SO en la precipitación en la España peninsular, norte de África y las Baleares obteniendo la influencia del índice NAO en las estaciones de la zona occidental mientras el índice ENSO lo mostró en la parte oriental de la península encontrando una correlación positiva con la precipitación. Laita y Grimalt (1997) hallaron que durante el período comprendido entre marzo y abril siguientes a la fase cálida del ENSO se produjo una disminución en el número de días ciclónicos y el número de días con presión negativa en el Mediterráneo español.

Rocha (1999) encontró fuertes correlaciones de los eventos fuertes del Niño con las precipitaciones de primavera en la costa mediterránea de la Península, con precipitaciones por debajo de lo normal en la primavera siguiente al año de un evento ENSO. En un estudio García *et al.* (2005) analizó la influencia de la NAO y el ENSO en las precipitaciones en Galicia (Noroeste de España), en la búsqueda de posibles predictores climáticos y la posible existencia de frecuencias referentes utilizando SSA (análisis espectral singular), mientras que la importancia estadística de los resultados se comprobó utilizando el método de Monte-Carlo. Los resultados mostraron que la NAO y la precipitación en Galicia podrían estar relacionados en una escala temporal de 8 años, mientras que la influencia de ENSO no es significativa.

Otros índices de teleconexión que se han utilizado para el análisis son el índice WeMO (Oscilación del Mediterráneo Occidental) con el cual se han centrado su análisis en la fachada mediterránea debido a la pobre influencia encontrada en los análisis con el índice NAO en la fachada mediterránea como los resultados obtenidos por Martín, V. et al (1999). Este índice ha mostrado en estudios realizados por Gonzalez, J. et al (2007), su influencia en la precipitación en primavera y verano en la fachada atlántica, y posteriormente González, J., et al (2008) estudiaron la sincronía de diferentes modos de variabilidad de baja frecuencia en el norte de la península (WEMO, NAO, MO) con la precipitación mensual de la fachada Oriental de la Península Ibérica, encontrando como índices dominantes en la región NAO y MO mostrando las correlaciones significativas en su fase negativa. Existe una reconstrucción del índice WeMO para el periodo 1500-2000 con lo que se llevo a cabo un análisis de la influencia de este registro en las inundaciones en el Levante peninsular (Olivia, M. et al 2006) mostrando una correlación negativa significativa a escala anual con las inundaciones, registrando una correlación optima en sus fases positiva y negativa con el registro histórico de precipitaciones de Valencia. Un análisis de la posible asociación del índice WeMO con las precipitaciones torrenciales en Cataluña (Martín, V. et al 2008) mostró la clara asociación del índice con estas trabajando a resolución diaria en el periodo (1950 – 2005).

## OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la influencia de los índices de teleconexión en los caudales máximos en la España Peninsular, determinar las zonas de influencia de los índices, así como los índices de mayor influencia, en los análisis tanto a nivel anual como mensual.

## CASO DE ESTUDIO

El estudio se enfoco en el análisis de la influencia de los índices de teleconexión en los caudales máximos instantáneos mensuales y anuales en la España Peninsular, ya que es una zona que resulto de especial interés ya que se encuentra expuesta los fenómenos meteorológicos tanto del Atlántico como del Mediterráneo, figura 1.

En el estudio se tomo en cuenta para el análisis la división de las confederaciones hidrográficas en las que se encuentra dividida la España Peninsular.

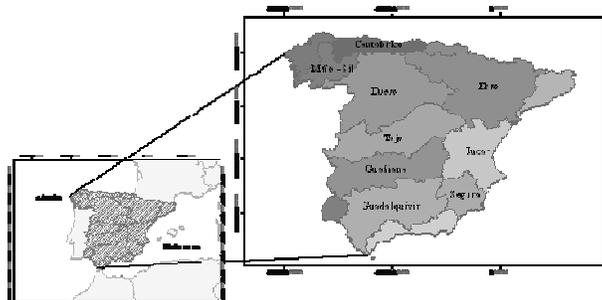


Figura 1.- Zona de estudio

# ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

## Índices de Teleconexión

En el análisis se utilizaron 6 patrones de teleconexión: NAO (Oscilación del Atlántico Norte), MO (Oscilación del Mediterráneo), WEMO (Oscilación del Mediterráneo Occidental), AO (Oscilación del Ártico), Niño 3.4 y ENSO, (figura 2).

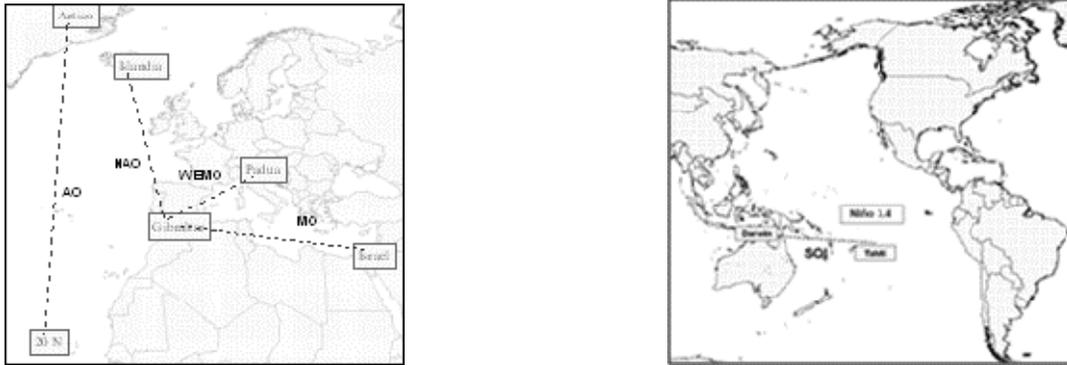


Figura 2.- Dipolos de los índices de teleconexión

La información de los índices NAO (1900-2006) y MO (1958-200) fue obtenido del Climatic Research Unit (CRU) (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). El índice WEMO este se obtuvo del Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona (<http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm>) (1821-2009). El registro de los índices AO (1950-2009), Niño 3.4 (1950-2009) y ENSO (1950 -2009) utilizados se obtuvieron del Climate Prediction Center (<http://www.cpc.noaa.gov>).

En la figura 3, se muestran los diagramas de dispersión para los índices de teleconexión, donde se observan que la mayoría de los valores del índice se concentran en una fase central, y las fases extremas positivas y negativas del índice son las que tiene influencia en los caudales máximos.

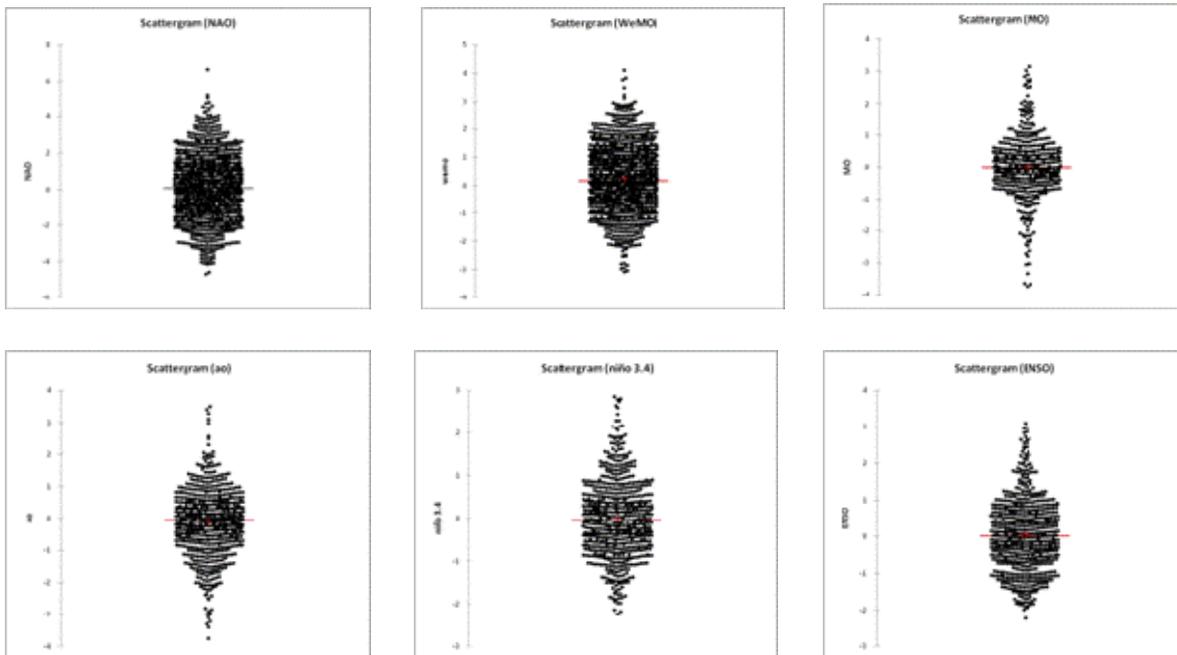


Figura 3.- Diagramas de dispersión de los índices de teleconexión

## Caudales Máximos

Los registros de caudales fueron consultados en la base de datos del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) (<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/>). Se utilizó la información de 80 estaciones hidrométricas de las cuales 63 se encontraban en régimen natural y 17 en régimen controlado, figura 4, de las estaciones en régimen controlado se decidió utilizar los registros anteriores a la construcción de los embalses ubicados aguas arriba de estos con información de la fichas de embalses del CEDEX.

En la figura 5, se tienen los histogramas de las superficies de las estaciones, donde se observa que la mayoría de ellas (85%) se comprenden entre superficies menores de 3500 km<sup>2</sup>.



Figura 4.- Estaciones hidrométricas

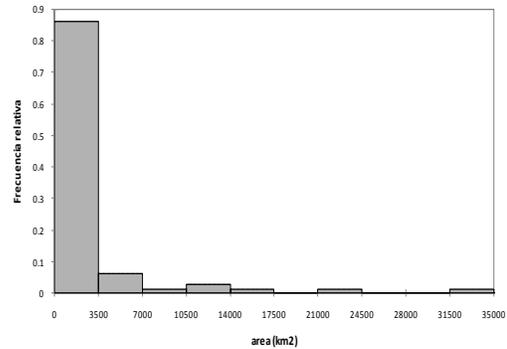


Figura 5.- Histograma de las superficies de cuenca

Se llevó a cabo un análisis de la distribución estacional de los caudales máximos mensuales con el fin de poder conocer la variación de los caudales en la Península, así como los meses y las estaciones en que se presentan la mayoría de estos para cada zona, figura 6.

De los resultados se observó que para las estaciones ubicadas en el entorno de la confederación Duero, los máximos tienden a concentrarse en los meses de invierno principalmente en los meses de diciembre y enero. Para el caso de los resultados en la confederación Tajo los máximos en su parte central y baja se concentran en invierno especialmente en el mes de diciembre, sin embargo en su parte alta los máximos se presentan en los meses de primavera (marzo y abril). En los resultados de las confederaciones Miño-Sil y Cantábrico los máximos se presentan en su mayoría en los meses de invierno, diciembre y enero en su mayoría. Resultados similares se obtuvieron para la confederación Guadalquivir y Gadiana donde la estación de invierno es la que aporta la mayor cantidad de caudales máximos. También se llevó a cabo un análisis de la tendencia de los caudales aplicando el test de Mann-Kendall (Kendall, 1938), donde se observó que las estaciones ubicadas en las confederaciones Gadiana, Júcar, Ebro y Duero son las que presentaron tendencias negativas, las cuales son aproximadamente el 40% de las estaciones. Tendencias positivas solo se detectó en 2 estaciones. Los resultados se muestran para un nivel de confianza del 95%, figura 7.

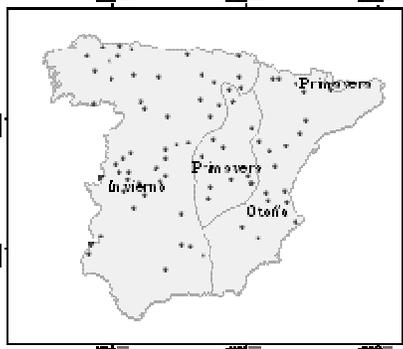


Figura 6.- Distribución estacional de los caudales



Figura 7.- Mapa de tendencias de los caudales

## METODOLOGÍA

En el análisis de las series completas se utilizó la función de correlación cruzada para la obtención de la correlación y la estimación de los rezagos en la correlación entre los índices y las series de caudales.

El análisis de la influencia en las series de caudales máximos anuales y mensuales se llevó a cabo utilizando coeficientes de correlación, y calculando las matrices de correlación de los índices de teleconexión con los caudales para identificar retardos en las correlaciones. El coeficiente de correlación es usualmente usado para medir el grado de asociación entre pares de variables. Existen varios coeficientes de correlación para la estimación de la asociación que se han utilizado en diversos trabajos de la influencia de los índices de teleconexión en la precipitación y caudales sobresaliendo los índices como Pearson (Muñoz et al, 2003; Esteban et al, 2002; Martín-Vide, 2002) y Kendall (Yue, 2002; Rodríguez Puebla 2009). En el presente trabajo se utilizaron los coeficientes de Pearson y Kendall en el análisis de correlación.

Las zonas de influencia para cada índice se obtuvieron utilizando el algoritmo de interpolación de Kriging, el cual es un método geostatístico de interpolación que ha probado ser útil y popular en muchos campos y que ha probado tener mejores resultados que otros métodos. Las zonas interpoladas que presentaron correlaciones significativas negativas y positivas se presentan sombreadas, las zonas en blanco muestran las zonas con correlación no significativa.

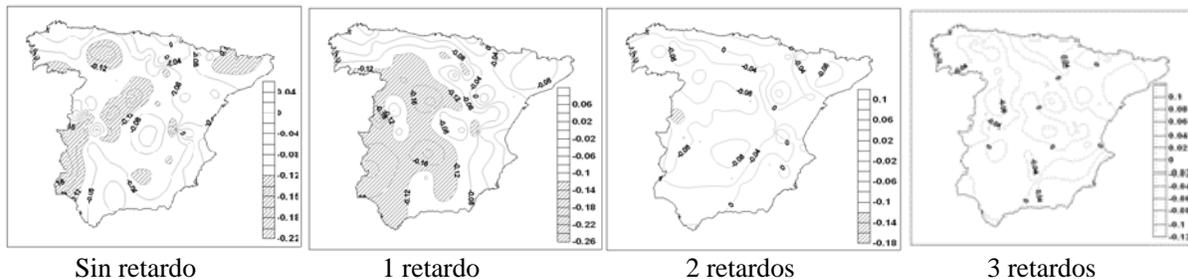
## RESULTADOS

### Análisis de Correlación Series Completas

El primer análisis consistió en realizar el análisis de correlación con las series completas de caudales máximos mensuales y las series mensuales de los índices de teleconexión, se calcularon las correlaciones utilizando la función de correlación cruzada para diferentes retardos buscando las máximas correlaciones. Con lo que se pudieron determinar los rezagos en las correlaciones entre las series de caudales y los diferentes índices de teleconexión.

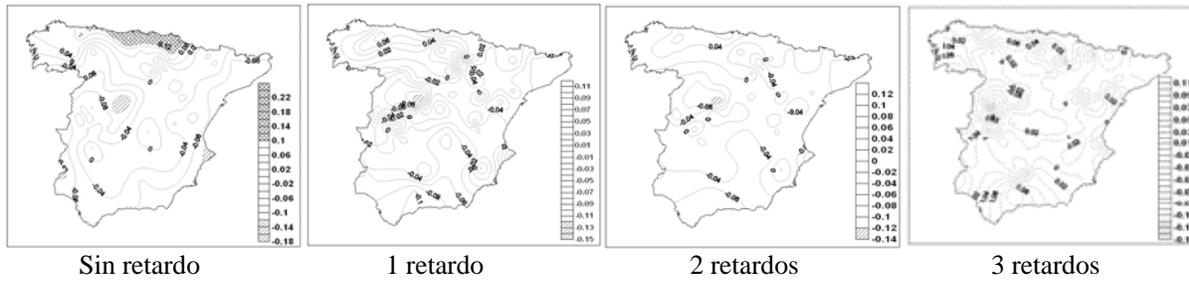
Las correlaciones significativas se obtuvieron para un nivel de confianza del 95% y en base a los valores puntuales se realizó la interpolación de los mismos utilizando el algoritmo de interpolación Kriging, obteniendo las zonas de influencia de los índices en la zona de estudio.

De los resultados se mostró una influencia del índice NAO en el frente occidental de la península sin retardo y con un retardo en la correlación mostrando correlaciones significativas, en retardos posteriores no se observó influencia del índice, figura 8.



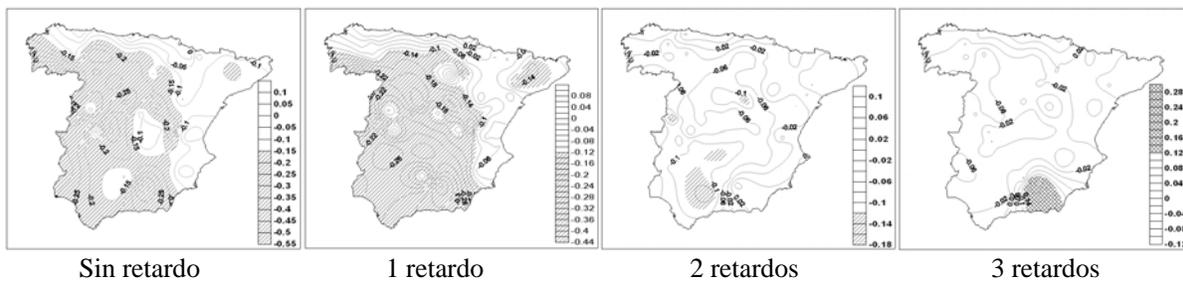
**Figura 8.-** Resultados correlación cruzada entre el índice NAO y los caudales máximos

En los resultados del índice WeMO este mostro zonas de influencia significativa sin retardo, mostrando correlaciones positivas en la parte norte de la península y negativas en el centro y fachada oriental de la península, figura 9.



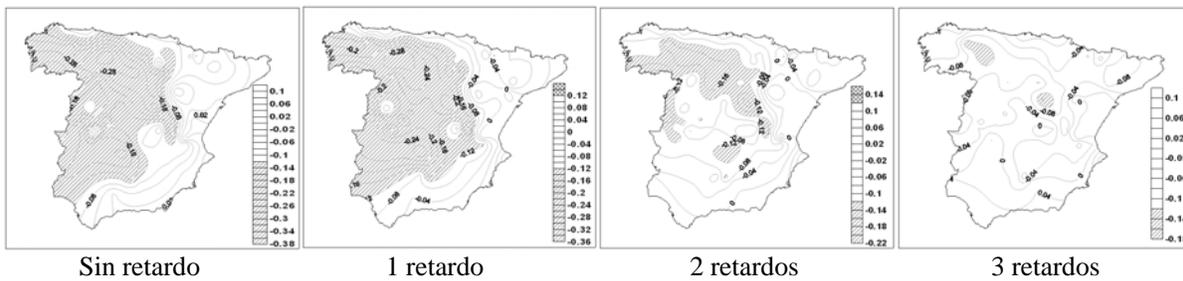
**Figura 9.-** Resultados correlación cruzada entre el índice WeMO y los caudales máximos

Las correlaciones significativas para el nivel de confianza considerado con el índice MO se obtuvieron en el frente occidental y centro de la Península, siendo estas negativas y se presentaron sin retardo y con un retardo, figura 10.



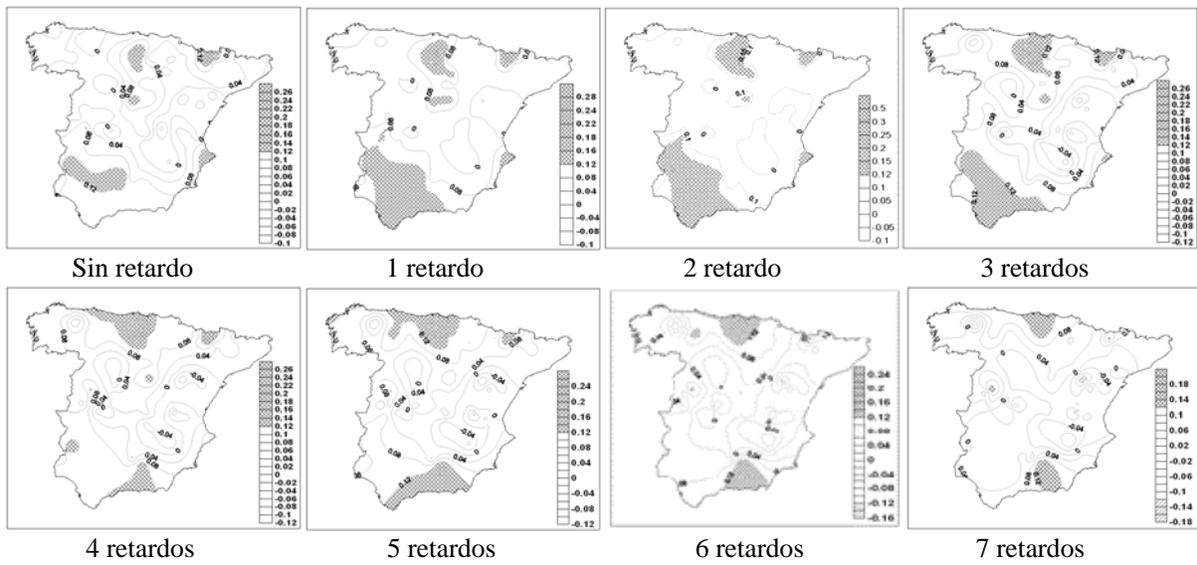
**Figura 10.-** Resultados correlación cruzada entre el índice MO y los caudales máximos

Los resultados para el índice AO mostraron correlaciones significativas en el frente occidental al igual que el índice NAO, teniendo una mayor influencia que este en la parte noroeste de la península, figura 11.

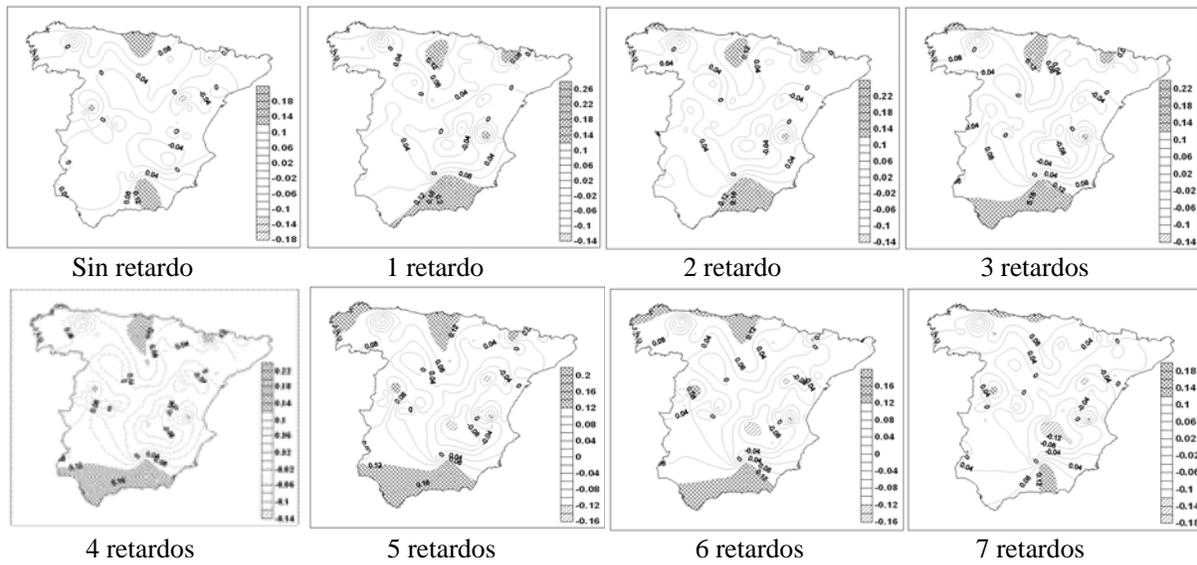


**Figura 11.-** Resultados correlación cruzada entre el índice AO y los caudales máximos

En los resultados con los índices Niño 3.4 y ENSO se obtuvieron resultados similares se observo poca influencia de los índices donde se calcularon las correlaciones hasta 7 retardos encontrando solo correlaciones significativas en la parte norte y sur de la península, las correlaciones que se presentaron fueron positivas, figura 12 y 13.

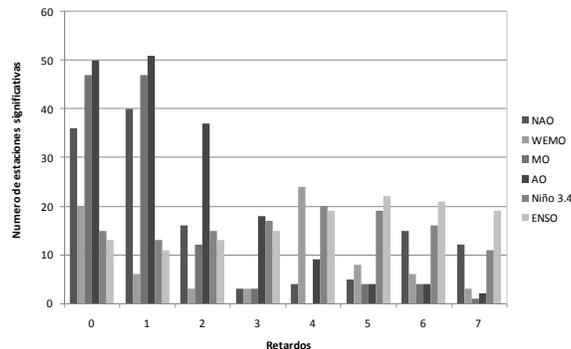


**Figura 12.-** Resultados correlación cruzada entre el índice Niño 3.4 y los caudales máximos



**Figura 13.-** Resultados correlación cruzada entre el índice ENSO y los caudales máximos

En la figura 14 se tienen el número de estaciones con correlación significativa para cada índice, donde se observa la clara influencia de los índices NAO, WeMO, MO y AO en las estaciones en los primeros retardos, en el caso del índice Niño 3.4 y ENSO esta correlación es con alrededor de 20 estaciones solamente pero se mantiene con los retardos a diferencia de los demás índices donde esta se pierde después de 3 retardos.



**Figura 14.-** Estaciones con correlación significativa para cada índice

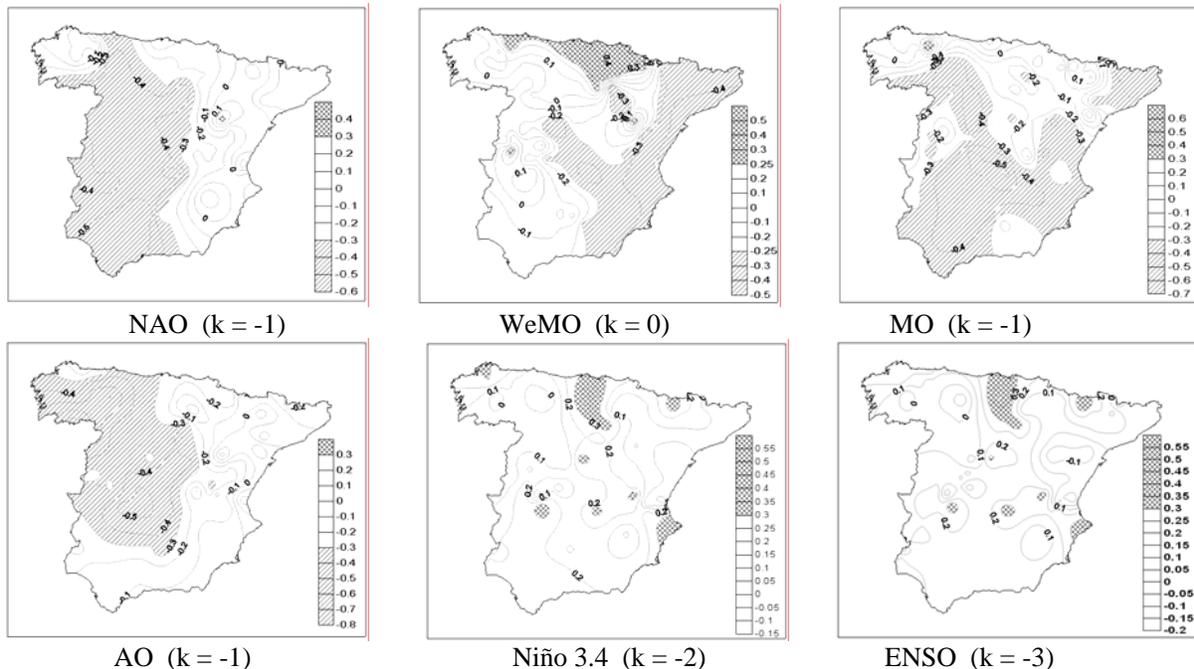
## Análisis de Correlación Series de Máximos Anuales

En este análisis se construyeron las series con los caudales máximos instantáneos anuales y las series de los índices de teleconexión coincidentes con los caudales en mes ( $k = 0$ ), además se construyeron las series para determinar la correlación con los meses anteriores al caudal máximo anual, se tomaron  $k = -1, -2$  y  $-3$ , para los índices NAO, AO, y MO, para el índice WeMO se calcularon hasta  $-5$  retardos, mientras para el caso de los índices NIÑO 3.4 y ENSO se calcularon hasta  $-7$  retardos. Una vez obtenidas las series se calcularon las matrices de correlación de los coeficientes de Pearson y Kendall entre las series de caudales máximos y las series de los índices de teleconexión para los diferentes rezagos  $k$ .

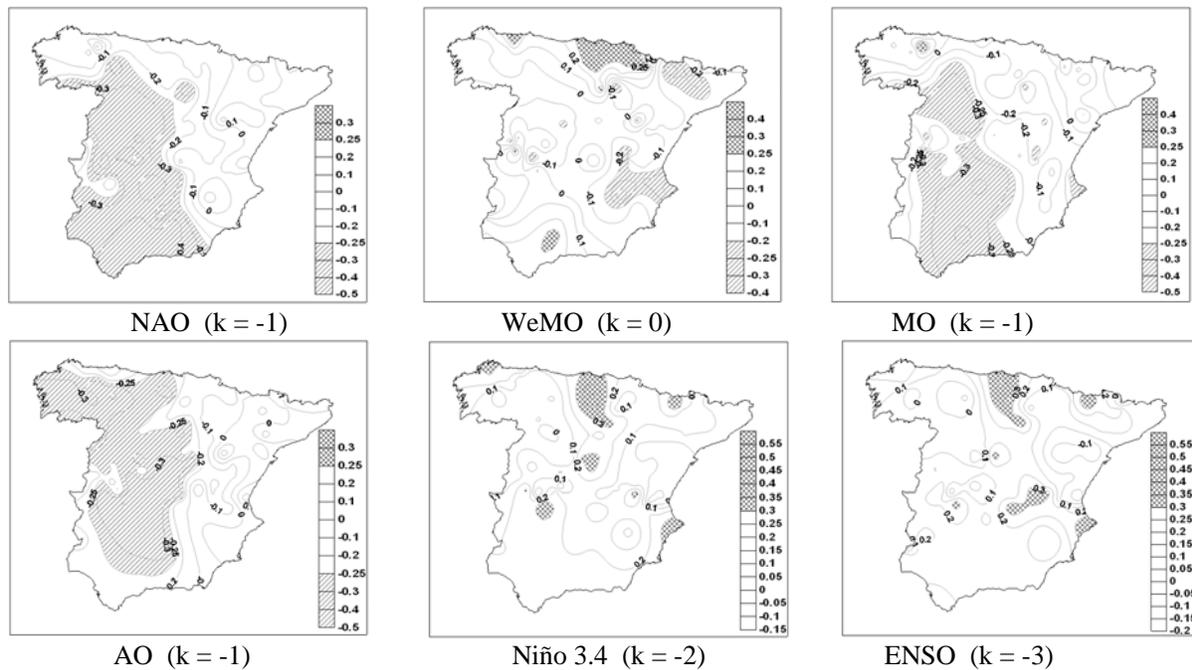
En el análisis del índice NAO este presentó un retraso en la señal en el cálculo de las correlaciones significativas, mostrando su influencia en las estaciones de las confederaciones Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir principalmente. En el análisis de las correlaciones del índice WeMO este no presentó un retraso en la señal del índice respecto del caudal máximo encontrándose las máximas correlaciones significativas en los meses de coincidencia con el caudal máximo instantáneo.

Los resultados del análisis con el índice de oscilación del mediterráneo (MO) mostraron un retraso de un mes en las máximas correlaciones con los caudales máximos anuales, también para el caso del cálculo sin retardo se tiene un porcentaje significativo de estaciones con correlación significativa. Al llevar a cabo el mismo análisis para el índice AO este presentó las correlaciones significativas al igual que la NAO en las calculadas con un mes de retardo, presentando correlaciones más significativas con las estaciones ubicadas en el frente occidental de la península española de la parte central hacia el norte.

Analizando el índice del NIÑO 3.4 y ENSO se observa un muy bajo porcentaje de las estaciones que mostraron correlaciones significativas, se detecto que las estaciones que presentan correlación significativa se mantiene considerando los retardos, las correlaciones significativas se presentaron con la fase positiva del índice. En la figura 15 se muestran las zonas que presentaron correlaciones significativas para cada índice de acuerdo al retardo en la correlación donde se presentaron mayores correlaciones.

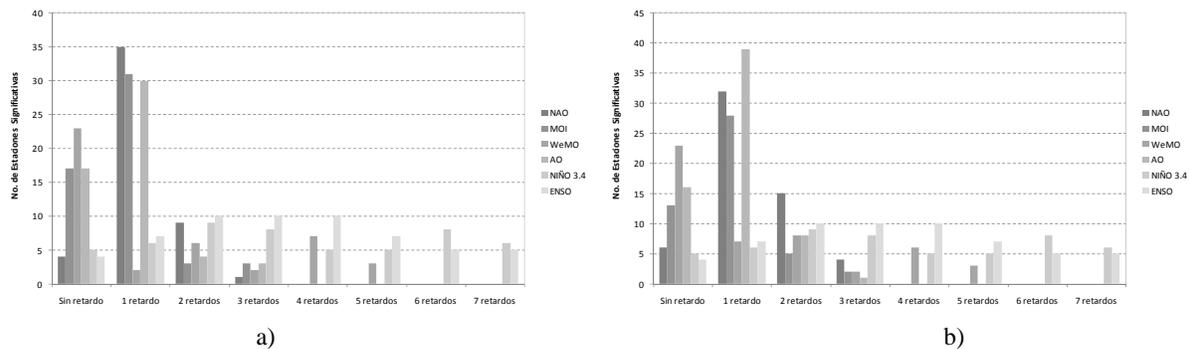


**Figura 15.-** Resultados de las zonas de influencia en los caudales máximos anuales Pearson



**Figura 16.-** Resultados de las zonas de influencia en los caudales máximos anuales Kendall

De los resultados mostrados anteriormente se observó un desfase en la señal de los índices NAO, AO, MO, NIÑO 3.4 y ENSO en el cálculo de las correlaciones significativas, solo para el caso del índice WeMO este no presentó un desfase en la señal, figura 17. Es importante mencionar que los índices MO y AO mostraron sus máximas correlaciones tanto para el cálculo sin retardo y con un retardo, perdiéndose la correlación con las estaciones al considerar retrasos mayores.

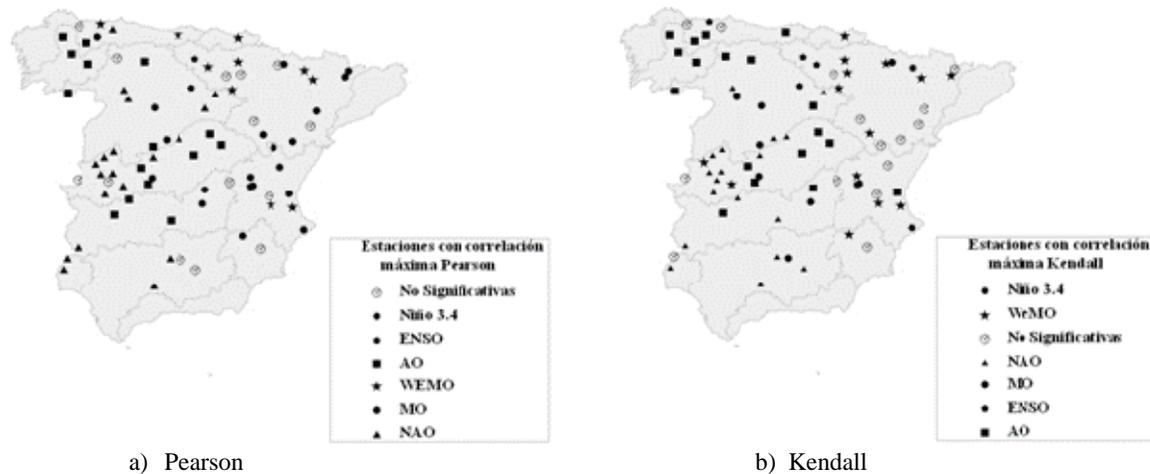


**Figura 17.-** Estaciones con correlación significativa para cada índice a) Pearson, b) Kendall

Otro resultado importante comentar es el que solo el índice WeMO presentó una correlación significativa en sus dos fases con los caudales máximos. En el caso de los índices NAO, AO y MO estos presentaron influencia significativa en fase negativa, mientras que los índices NIÑO 3.4 y ENSO solo con su fase positiva.

En la figura 18, se muestran las estaciones con máxima correlación para cada índice de teleconexión donde se observa el dominio de los índices NAO y AO del frente occidental de España, así como de los índices WEMO y MO. El 11% de las estaciones no mostró correlación significativa con ninguno de los índices, esto para el índice Pearson. En el análisis con el coeficiente de Kendall los índices NAO y AO siguieron teniendo el dominio en el frente occidental aunque el grado de correlación es menor, se ve un menor influencia del índice MO. Para el análisis de correlaciones máximas se

tomaron para el valor  $k$  que se obtuvieron máximas correlaciones para cada índice, NAO  $k = -1$ , AO  $k = -1$ , WeMO  $k = 0$ , MO  $k = -1$ , Niño 3.4  $k = -3$  y ENSO  $k = -4$ .



**Figura 18.-** Estaciones con correlaciones máximas con los índices de teleconexión

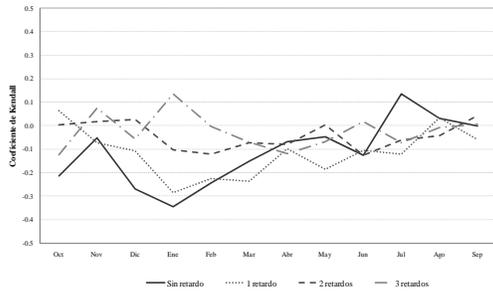
### Análisis de Correlación Series de Máximos Mensuales

Con el objetivo de poder determinar en qué meses se concentraban las correlaciones para cada índice, se hizo uso de las matrices de correlación con los coeficiente de Pearson y Kendall, determinado las matrices de correlación entre los índices para cada mes y los caudales máximos mensuales, para poder verificar los posibles rezagos también en la correlación mes a mes en las correlaciones construyendo las matrices de correlación entre las dos variables.

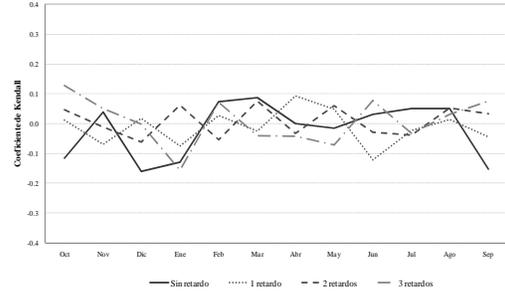
En los resultados del índice NAO este mostro su influencia en los meses de Octubre a Marzo, concentrándose las máximas correlaciones en los meses de Diciembre a Febrero, en los resultados se puede observar que las máximas correlaciones se obtuvieron al coincidir los máximos y al correlacionarse con el índice del mes anterior al caudal máximo. El mismo análisis se llevó a cabo con la información del índice de oscilación occidental del mediterráneo, observando en los resultados la influencia del índice en los meses de septiembre, octubre, diciembre y enero en su fase negativa. En la fase positiva se observa su influencia en los meses de enero a junio. En el caso del índice WeMO se observa una influencia del índice en sus dos fases tanto positiva como negativa. En el análisis no se observó un retardo en el cálculo de la correlaciones ya que las máximas correlaciones se obtuvieron al calcular las mismas sin considerar retardos.

En los análisis de los resultados del índice MO se encontró que las máximas correlaciones se presentaron con el cálculo sin retardo y con un mes de retardo. Encontrándose el mayor dominio del índice en los meses de octubre a marzo, mientras que en los meses de Abril a Septiembre las correlaciones son prácticamente nulas. El índice AO reveló una influencia al igual que la NAO en los meses de diciembre a febrero (fase invernal). En los resultados del análisis de las matrices de correlación se obtuvo que las máximas correlaciones se presentaron, sin considerar retardo y con un retardo, y con cálculos mayores a estos se disminuía la correlación.

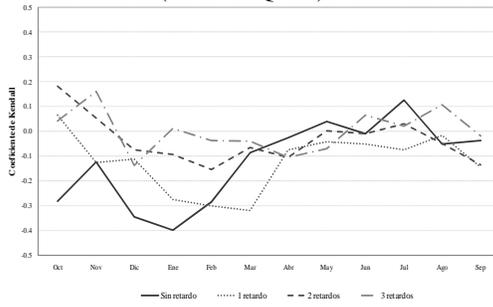
Con el análisis de la influencia del índice Niño 3.4 no se detecto señal significativa en los caudales al igual que en los análisis anuales y en general se observa una mayor influencia del índice en los caudales de mayo a septiembre con influencia mínima. En los resultados obtenidos en el análisis del índice ENSO se obtuvieron resultados similares a los obtenidos con el índice Niño 3.4, en este índice se encontró una menor influencia en los caudales.



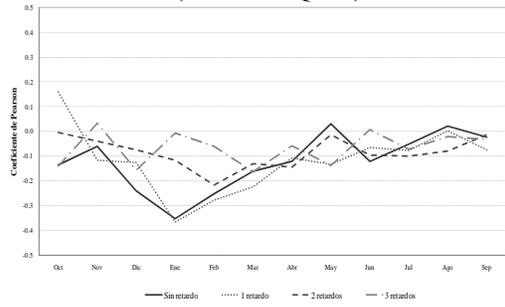
(NAO vs Qmax)



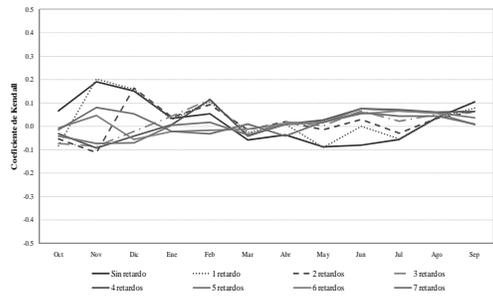
(WeMO vs Qmax)



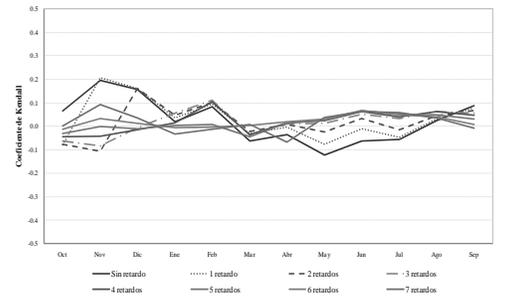
(MO vs Qmax)



(AO vs Qmax)

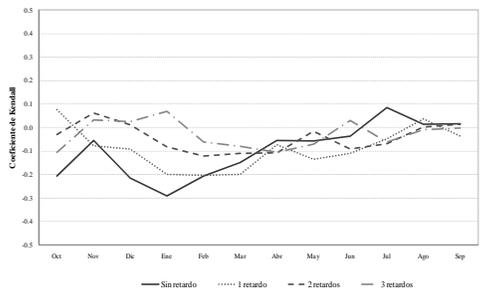


(Niño 3.4 vs Qmax)

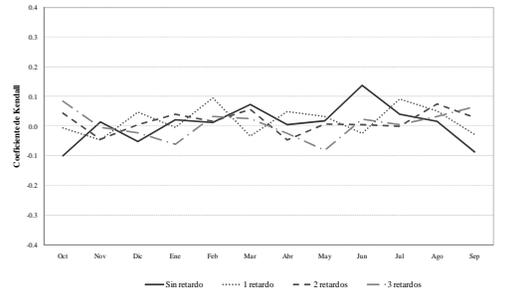


(ENSO vs Qmax)

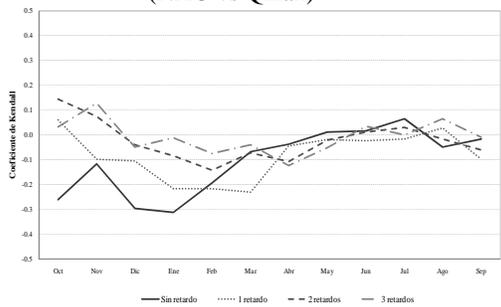
**Figura 23.-** Coeficiente de correlación promedio mensual en la zona de estudio Pearson (Índice vs Qmax)



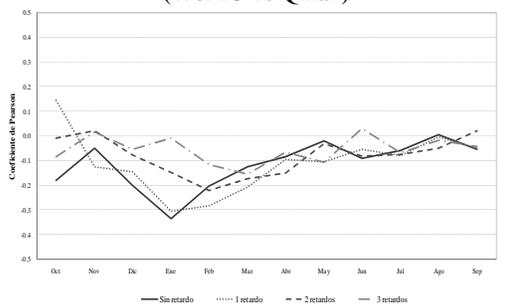
(NAO vs Qmax)



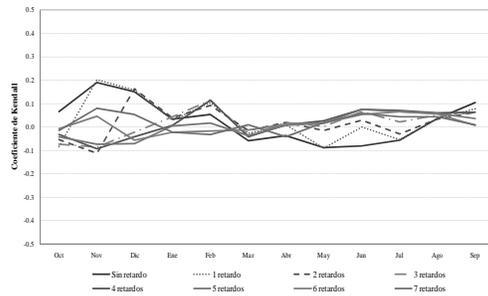
(WeMO vs Qmax)



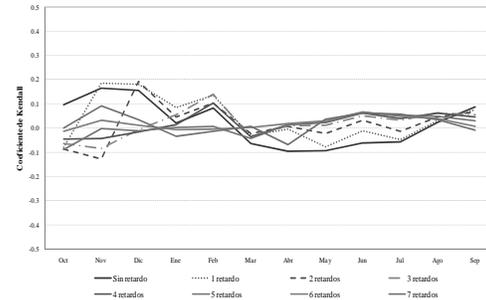
(MO vs Qmax)



(AO vs Qmax)



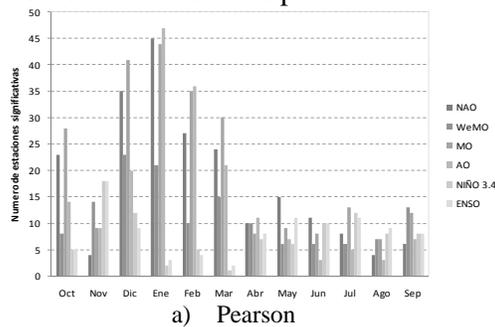
(Niño 3.4 vs Qmax)



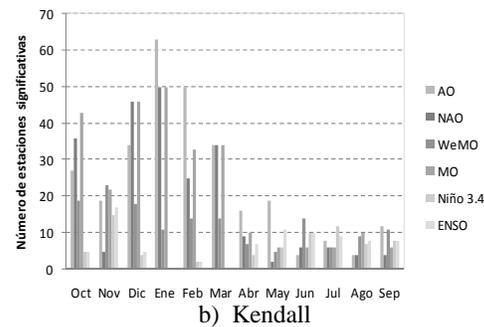
(ENSO vs Qmax)

**Figura 24.-** Coeficiente de correlación promedio mensual en la zona de estudio Kendall (Índice vs Qmax)

En las figuras 25, se tienen las estaciones que presentaron correlación significativa con cada índice para cada mes, los resultados mostrados son de acuerdo a los retardos con el mayor número de estaciones correlacionadas para cada índice.



a) Pearson



b) Kendall

**Figura 24.-** Estaciones con correlación significativa en el análisis mensual

## CONCLUSIONES

La variación en el comportamiento de las variables meteorológicas en la Península Ibérica en este caso los caudales esta en común acuerdo con la variabilidad presentada en otros estudios (Esteban-Parra et al, 1998; Rodríguez-Puebla et al, 1998; Romero et al; 1999; Del Río et al, 2010) donde se establece la clara diferencia entre las fachadas oriental y atlántica.

Conforme a lo esperado las fases extremas de los índices son las que mostraron la incidencia en los caudales máximos teniéndose en los casos de los índices NAO, AO, y MO, la fase extrema negativa del índice. En el caso de los índices Niño 3.4 y ENSO estos mostraron una influencia en la fase positiva extrema. Y por último el índice WeMO fue el que presento correlaciones significativas tanto en su fase extrema positiva como negativa.

En los resultados generales se observaron correlaciones mayores en el caso del índice de Pearson respecto al de Kendall, así como zonas de influencia mayor en base a las zonas de correlación significativa para cada índice, sin embargo el índice de Kendall es un índice más robusto por lo que son los resultados en los que se puede realizar un mayor análisis.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el índice NAO este mostro su clara influencia en el frente occidental de la Península, mostrando las máximas correlaciones en los meses de octubre, diciembre, enero, febrero y marzo, presentándose estas correlaciones al no considerar retardo en la correlación y con un retardo, estos resultados muestran coherencia a los obtenidos con precipitaciones en la Península y los obtenidos en caudales en cuencas del Duero, Tajo y Guadiana. En los resultados generales el índice AO expuso resultados similares a los obtenidos con el índice NAO, manifestando su predominio en los meses invernales de noviembre a marzo, en la fachada atlántica, sin embargo teniendo una mayor influencia en cuencas del norte de la península. En el

análisis de los retardos de la correlación en este índice se detectó el claro retardo de un mes en las correlaciones para la mayoría de los meses. Las confederaciones donde las series de caudales presentaron máximas correlaciones significativas son las de Tajo, Duero, Guadiana, Guadalquivir, Miño-Sil y Cantábrico. El índice WeMO el cual presentó correlaciones tanto en su fase positiva en la parte del norte de la península en los meses de agosto, octubre, noviembre y diciembre, así como en su fase negativa en la parte sur, occidental y oriental de la Península concentrándose esta en los meses de septiembre, noviembre, diciembre y enero. La influencia de este índice se observó en las confederaciones Cantábrico, Miño – Sil con correlación positiva y Guadiana, Segura y Júcar con correlación negativa. Los resultados de los índices Niño 3.4 y ENSO mostraron una correlación significativa en la parte sur y norte de la península sin presentarse en un gran número de estaciones tanto en los análisis anuales como mensuales.

En general en los resultados se observa una clara influencia de los índices de teleconexión en los eventos máximos de caudales en ciertas partes de la zona de estudio, sin embargo esta relación presenta cierto grado de complejidad. Por lo que es importante realizar análisis más a fondo en la influencia de estos índices en la variación de las variables climatológicas.

**AGRADECIMIENTOS:** El presente trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio español de Ciencia e Innovación a través de los proyectos “FloodMed” (CGL2008-06474-C02-02/BTE) y Consolider-Ingenio “SCARCE” (2010-CSD2009-00065).

## REFERENCIAS

- Bailey, J.S.**, (1998) “Temperature anomalies in high northerly latitudes and their link with the El Niño/Southern Oscillation”. *Ann Geophysicae* 16:1523–1526
- Branstator, G.**, (2002) “Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation”. *Journal of Climate*, 15, 1893 -1910.
- Caramelo L, Manso Orgaz M.**, (2007) “A study of precipitation variability in the Duero Basin (Iberian Peninsula)”. *International Journal of Climatology* 27: 327–339.
- De Luis M, Raventos J, González-Hidalgo JC, Sanchez JR, Cortina J.**, (2000) “Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain)”. *International Journal of Climatology* 20(12): 1451–1469.
- De Luis M, Gonzalez-Hidalgo J, Longares L, Stepanek P.**, (2009). “Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of the 20th century”. *International Journal of Climatology* 29(9): 1312–1323.
- Del Río, S., Herrero, L., Fraile, R. y Penas, A.**, (2010) “Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain” (1961–2006), *International Journal of Climatology*.
- Dong, B.W., Sutton, R.T., Jewson, S.P., O’Neill, A. y Slingo, J.**, (2000) “Predictable winter climate in the North Atlantic sector during the 1997–1999 ENSO cycle”. *Geophys Res Lett* 27: 985–988
- Esteban-Parra, M. J., F. S. Rodrigo, and Y. Castro-Díez, 1998. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992, *Int. J. Climatol.*, 18, 1557– 1574.
- Esteban P, Soler X, Prohom M, Planchon O.**, (2002) “La distribución de la precipitación a través del índice NAO. El efecto del relieve a escala local: El Pirineo Oriental”. *El Agua y el Clima*, J. A. Guijarro et al., Eds., Asociación Española de Climatología, 25–34.
- Fraedrich, K. y Müller, K.**, (1992) “Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes”. *International Journal of Climatology* 12:25–31
- Fraedrich, K.**, (1993) “An ENSO impact on Europe? A review”. *Tellus* 46A: 541–552.
- García, N.O., Gimeno, L., De la Torre, L., Nieto, R. y Añe, J. A.**, (2005) “North Atlantic Oscillation (NAO) and precipitation in Galicia (Spain)”, *Atmosfera, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*, España y Portugal, Vol.18, pp.25-32.
- García JA, Gallego MC, Serrano A, Vaquero JM.**, (2007) “Trends in block-seasonal extreme rainfall over the Iberian Peninsula in the second half of the twentieth century”. *Journal of Climate* 20(1): 113–130.
- Hurrell, J., Kushnir, Y., Visbeck, M.**, (2001) “Climate the North Atlantic Oscillation”. *Science*, pp. 603-605.
- Gershunov, A. y Barnett, T.P.**, (1998) “Interdecadal modulation of ENSO teleconnections”. *Bull Am Met Soc* 79:2715–2725.

- Gonzalez, J., Bustins, J., Stepanek, P., Vide, M. y Luis, M.,** (2008) “Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000)”, *International journal of Climatology*.
- González, J., De Luis, M., Martín, J., Lopez, J., Stepanek, P.; Brunetti, M. and Nanni, T.,** (2007) “Spatial overlapping areas of several Teleconnection indices on Spain’s Mediterranean façade according to autumn rainfall”. *7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM*. El Escorial (Madrid, Spain), 1-5.
- Gonzalez, J., Bustins, J., Stepanek, P., Vide, M. y Luis, M.,** (2008) “Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000)”, *International journal of Climatology*.
- Kendall, M. G.,** (1938) “A new measure of rank correlation”, *Biometrika* 30, pp. 81–93.
- Laita M, Grimalt M.,** (1997) “Vorticity and pressure anomalies in the Western Mediterranean during El Niño/Southern Oscillation extremes”. *Int J Climatol* 17:475–482
- Martín, V., Barriendos, M., Peña, J., Raso, J., Llasata, Ma., y Rodríguez, R.,** (1999) “Potencialidad del índice NAO en la previsión de episodios de alta pluviósidad en España”, Gerencia de Riesgos, Madrid.
- Martin-Vide, J.; Sanchez-Lorenzo, A.; Lopez-Bustins, J.A.; Garcia-Manuel, A.; Raso, J.M. and Cordobilla, M.J.** (2008) “Torrential Rainfall in Catalonia: Synoptic patterns and WeMO influence”. *7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM*. El Escorial (Madrid, Spain), 1-5 October.
- May, W. y Bengtsson, L.,** (1998) “The signature of ENSO in the Northern Hemisphere midlatitude seasonal mean flow and high-frequency intraseasonal variability”. *Met Atmos Phys* 69:81–100
- Moreno, J., Serrano, S., Begueria, S. y García, J.,** (2006) “The role of NAO extreme phases on the monthly discharges, and the volume and date of the annual maxima flows (1950-2003) in the Tagus River”, *Tagus Flood Workshop*, Lisboa.
- Moron V, Ward M.,** (1998) “ENSO teleconnections with climate variability in the European and African sectors”. *Weather* 53:287–295
- Muñoz-Díaz, D, Rodrigo, F.S.,** (2003) “Effects of the North Atlantic Oscillation on the probability for climatic categories of local monthly rainfall in southern Spain”. *Int J Climatol* 23:381–397.
- Olivia, M., López, B., Barriendos, M., Muedra C. y Vide, M.,** (2006) “Reconstrucción histórica de la oscilación del mediterráneo occidental (WeMO) e inundaciones en el Levante peninsular (1500 -2000)”. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología*, pp.18-21.
- Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S., y Castro- Díez, Y.,** (2001) “A study of NAO variability and its possible nonlinear influence on European surface temperature”, *Clim. Dyn.*, 17, 701–715.
- Serrano, A., Garcñia, J., Mateos, V., Cancillo, M. y Garrido, J.,** (1999) “Monthly Modes of Variation of Precipitation over the Iberian Peninsula”, *Journal of Climate*, Vol. 12, 2894-2919.
- Rocha, A.,** (1999) “Low-frequency variability of seasonal rainfall over the Iberian Peninsula and ENSO”. *Int J Climatol* 19: 889–901
- Rodó, X., Baert, E. y Comin, A.,** (1997) “Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationship with the North Atlantic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation”. *Climate Dyn.* 13, pp.275-284.
- Rodriguez-Puebla C., Encinas, A.H., Nieto, S. and Garmendia, J.,** (1998) “Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula”. *Int. J. Climatol.*, 18, 299–316.
- Rodriguez-Puebla C. y Nieto S.,** (2009) “Trends of precipitation over the Iberian Peninsula and the North Atlantic Oscillation under climate change conditions”, *International Journal of Climatology*.
- Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., Genovés, A.,** (1999) “A classification of the atmospheric circulation in patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area”. *International Journal of Climatology* 19: 765-785.
- Trigo, R., Pozo, D., Osborn, T. y Castro, Y.,** (2004) “North Atlantic Oscillation Influence on Precipitacion, River Flow and Water Resources in the Iberian Peninsula”. *International Journal of Climatology*, 24: 925-944.
- Tejeda, E.M., Moreno, I.L., Ceballos, B.A. y Vicente, S.S.,** (2010) “Influence of the North Atlantic Oscillation on the streamflows of the Duero basin (Spain): Spatial variability and response times”, *European Geosciences Union*.
- Wilby, R.L.,** (1993) “Evidence of ENSO in the synoptic climate of the British Isles since 1880”. *Weather* 48:234–239
- Yue, S. y Wang, C.,** (2002) “Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation”. *International Journal of Climatology*, Volume 22 Issue 8, Pages 933 - 946