

IMPACTO DE LA NAO EN EL CAUDAL DE LOS RÍOS Y LA PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Ricardo Trigo⁽¹⁾, D. Pozo-Vázquez⁽²⁾, Y. Castro-Diéz⁽³⁾, S. Gámiz-Fortis⁽⁴⁾, M. Esteban-Parra⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, 1700 Lisboa, Portugal, rtrigo@fc.ul.pt

⁽²⁾ Dpto. Física. Universidad de Jaén. E-23071 Jaén, Spain, dpozo@ujaen.es

⁽³⁾ Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, ycaastro@ugr.es

⁽⁴⁾ Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, rgamiz@ugr.es

⁽⁵⁾ Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, esteban@ugr.es

RESUMEN

Hemos evaluado el impacto de la Oscilación del Atlántico Norte durante el invierno en el caudal de los tres grandes ríos Ibéricos internacionales: Duero, Tajo y Guadiana. A lo largo de la mayor parte del siglo XX y durante los meses de enero a marzo, el caudal de estos ríos está más relacionado con el índice NAO retrasado un mes que con el índice simultáneo. La correlación para el periodo 1973-1988 es de -0.76 para el Duero, -0.77 para el Tajo y -0.79 para el Guadiana, siendo durante este periodo sustancialmente mayor la correlación que durante el periodo 1920-1972. Resultados muy similares se obtuvieron al analizar la producción de energía hidroeléctrica potencial para España. En resumen, los resultados muestran que la variabilidad interanual del caudal de estos tres grandes ríos está fuertemente modulada por el fenómeno NAO. La existencia de esta modulación, unido al hecho de la existencia de una tendencia positiva del índice NAO durante las últimas décadas, podría implicar una disminución significativa en el futuro del caudal disponible de estos ríos. Esta reducción puede representar un riesgo importante para las dos economías Ibéricas, debido a su impacto negativo en el rendimiento agrícola y la producción hidroeléctrica.

SUMMARY

In this work, we have assessed the impact of the NAO in the winter river flow regimes for the three main international Iberian rivers, namely the Douro (north), the Tagus (centre) and the Guadiana (south). Throughout most of the 20th century, the winter JFM river flow is better related with one month lagged (DJF) NAO index than with the simultaneous (JFM) NAO index. Correlation values for the period 1973-1998 are impressive: -0.76 for Douro, -0.77 for Tejo and -0.79 for Guadiana, being consistently of higher magnitude than those obtained for previous decades. Similar results were obtained with potential hydroelectrical time series for Spain. These results show that the large inter-annual variability of these three rivers flow is largely modulated by the NAO phenomena. Such modulation, associated with the recent positive trend of the NAO index, might implicate a significant decrease of the available flow. This reduction can represent an important hazard for the two Iberian economies due to its negative impact in agricultural yield and hydroelectric power production.

Palabras clave: NAO, caudal, producción hidroeléctrica.

1 INTRODUCCIÓN

La producción hidroeléctrica española supone, considerada en promedio, alrededor de un 20% de la producción eléctrica total. Sin embargo, dicha producción experimenta grandes variaciones, llegando en años húmedos a ser de 40 TWh, mientras que en años secos puede ser de sólo 20 TWh (REE, 2002). En Portugal se presenta una situación similar; la producción hidroeléctrica representa (en promedio) un tercio de la producción eléctrica

portuguesa, pero el valor en años concretos varía en un factor 3, desde años muy húmedos (16 TWh) a años muy secos (6 TWh), (Collares Perreira, 1998). Diversos trabajos han mostrado que la Oscilación Atlántico Norte (NAO) es el modo de circulación atmosférico más importante determinante de la precipitación en la Península Ibérica (Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Trigo *et al.*, 2002).

Presentamos aquí un resumen de un trabajo recientemente aceptado para su publicación (Trigo *et al.*, 2004) en el que analizamos la influencia de la NAO en el caudal de los ríos Tajo, Duero y Guadiana y las consiguientes implicaciones en la producción hidroeléctrica.

2 DATOS

Se han empleado para este trabajo los siguientes datos:

1. Datos de reanálisis del NCEP/NCAR durante el periodo 1958-1997. En concreto, valores diarios de presión a nivel del mar, precipitación, y componentes zonal u y v del viento, a largo de la región 80°N - 30°N ; 60°W - 70°E .
2. los valores mensuales de precipitación entre 1901 y 1995, con resolución 0.5° lat. por 0.5° long., desarrollados por la CRU.
3. valores mensuales de caudal de los ríos Duero y Tajo.
4. valores mensuales de la producción de hidroeléctrica potencial para el sistema hidroeléctrico español (REE, 2002).

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Recientemente se ha reconocido que la fuerte influencia que la NAO ejerce en la precipitación de la cuenca mediterránea se ve reflejada directamente en el caudal de los ríos de dicha región. Así, trabajos recientes muestran esta influencia en los ríos Tigris y Eufrates (Cullen y deMenocal, 2000) y en el río Danubio (Stanev y Peneva, 2002, Rimbu *et al.*, 2002). Analizamos en este trabajo la influencia de la NAO en el caudal de los ríos Ibéricos, mostrando que dicha influencia es mucho mayor que en la de los ríos antes mencionados.

Hemos analizado datos de caudal del río Duero, medidos en Pocinho y del río Tajo, medidos en Fratel, ambos durante el periodo 1922 a 1997. En la Figura 1 se muestra el impacto de la NAO en el ciclo hidrológico del río Tajo durante inviernos con ciclo NAO positivo y negativo. En concreto se muestra la diferencia en el caudal de este río de octubre a septiembre y durante las diferentes fases de la NAO. Para el río Duero (no mostrado) esta diferencia es estadísticamente significativa (al 5% nivel de importancia) sólo entre enero y abril, mientras para el río Tajo son significativas entre enero y septiembre. Esto refleja el hecho que río Tajo se encuentra en la zona central de la Península, una región más fuertemente afectada por la NAO en lo que se refiere a la precipitación (Trigo *et al.*, 2003).

Hemos calculado la correlación entre el caudal del río en invierno (DJFM) y el índice contemporáneo de la NAO. También hemos calculado la correlación retrasada, esto es, la correlación entre el índice NAO durante DJF y el caudal del río durante JFM. Estas correlaciones, además, fueron calculadas para diferentes subperiodos dentro del periodo total de análisis; así hemos usado los subperiodos 1922 a 1971 y 1972 a 1997. Los resultados se muestran en la Tabla I. Se deducen dos conclusiones importantes:

- 1) la magnitud de los coeficientes de la correlación es consistentemente más alta en el caso de usar datos de retrasados que si no se hace. Este hecho es particularmente importante pues supone la existencia de un potencial predictivo del caudal a partir del índice NAO.
- 2) hay un incremento en la magnitud de coeficiente de la correlación del primer subperiodo al segundo. Este incremento es particularmente importante para el caso del río Duero, donde en el primer periodo es de -0.28 y en el segundo -0.62 . La Figura 1b muestra la variabilidad

interanual del caudal del río Tajo; se muestra también el índice NAO de invierno retrasado (multiplicado por -1 para facilitar la comparación).

Un análisis similar al anterior fue llevado a cabo para evaluar el impacto de la NAO en la producción hidroeléctrica. Se ha analizado la producción hidroeléctrica potencial total del sistema español en el periodo 1972-2000. En análisis se llevó a cabo en base mensual, convirtiendo los valores de producción eléctrica en anomalías respecto a la media del periodo completo. Posteriormente, se calcularon promedios mensuales de invierno (DJF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). La Tabla 2 muestra las correlaciones contemporáneas entre la producción hidroeléctrica y el índice NAO estacional. Durante el invierno se observa un valor muy alto (-0.72) y estadísticamente significativo (al 95% de nivel de confianza). El valor negativo cobra sentido, pues un valor de NAO negativo implica anomalías positivas de las precipitaciones en las partes occidental y suroeste de la Península. En primavera se obtiene un valor más bajo (-0.35) pero todavía significativo (al 90% de nivel de confianza). No se encuentran valores significativos en otoño y verano.

En la Tabla 3 se muestran los valores promedios de la producción hidroeléctrica durante el invierno asociados con índice NAO negativo, neutro y positivo. Durante los inviernos con NAO positivo (índice > 0.7) la anomalía promedio es de -1113 GWh. Por el contrario, la anomalía promedio durante inviernos con NAO negativo (NAO < -0.7) es positiva, con valor 2196 GWh. Ambos valores son estadísticamente significativos (al 95%) cuando se comparan con la anomalía durante los inviernos con NAO neutro (-0.7 < NAO < 0.7). Dado que la producción hidroeléctrica promedio durante el periodo 1972-2000 es 3700 GWh, se tiene que durante inviernos con índice NAO negativo cabe esperar una disminución del 30% en la producción hidroeléctrica respecto al promedio, mientras durante los inviernos de NAO positivo cabe esperar un aumento de hasta el 60% comparado con la producción normal.

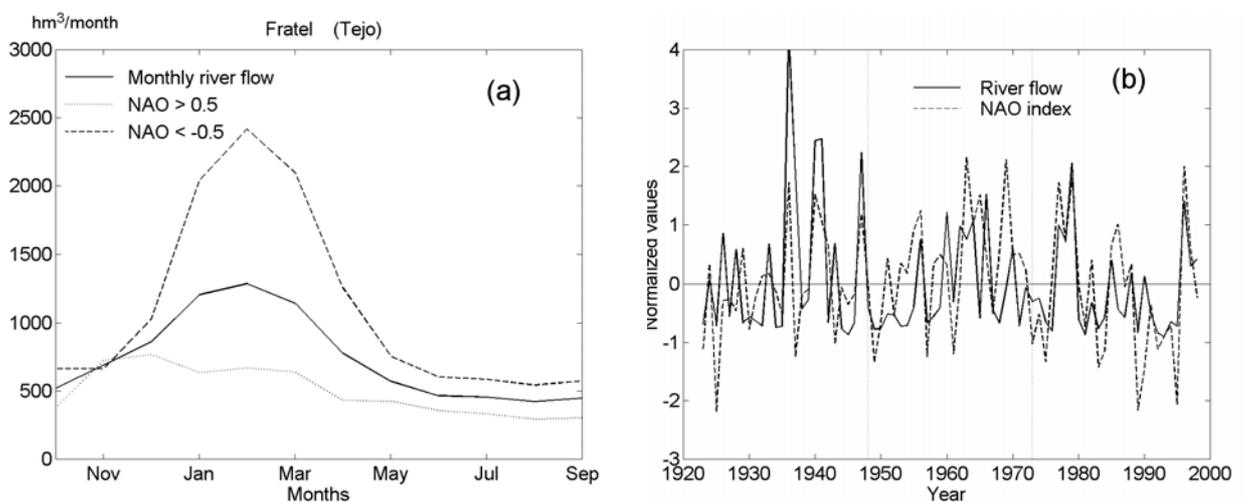


Figura 1. (a) Caudal mensual del río Tajo en Fratel durante inviernos con NAO positivo (línea punteada), NAO negativo (línea a trazos), y durante inviernos con NAO normal (línea continua). (b) Variabilidad interanual para invierno (JFM) del caudal del río Tajo (línea continua). También se muestra el índice NAO de invierno retrasado (DJF), multiplicado por -1, (línea a trazos). Se han normalizado los datos para hacerlos adimensionales.

Duero	Lag 0	Lag 1
1922-97	-0.45**	-0.55**
1922-71	-0.28*	-0.37*
1972-97	-0.62**	-0.76**
Tajo	Lag 0	Lag 1
1922-97	-0.48**	-0.52**
1922-71	-0.42**	-0.42**
1972-97	-0.60**	-0.77**

Tabla 1. Coeficientes de correlación contemporáneos (lag 0) y retrasado (lag 1) entre el índice NAO de invierno y el caudal del río Duero en Pocinho y del Tajo en Fratel. Se muestra el nivel de significación del 90% y 95% usando, respectivamente, * y **.

Winter	-0.72**
Spring	-0.35*
Summer	0.08
Autumn	-0.18

Tabla 2. Correlaciones contemporáneas entre la producción hidroeléctrica estacional y el índice de NAO. Se muestra el nivel de significación del 90% y 95% usando, respectivamente, * y **.

	Winter
NAO > 0.7	-1113*
-0.7 < NAO < 0.7	714
NAO < -0.7	2196*

Tabla 3. Anomalía promedio de invierno de la producción hidroeléctrica (GWh) asociada con NAO positivo, negativo y normal. La significación estadística de la diferencia ha sido evaluada usando un test T. La significación superior al 95% se muestra usando *.

4 CONCLUSIONES

Hemos confirmado que el modo NAO ejerce una influencia de primera importancia en el caudal de los ríos Tajo y Duero. Esta importante influencia tiene fuertes implicaciones en la economía de los países Ibéricos, a través de su repercusión en la disponibilidad de agua para usos agrícolas o industriales, como la producción hidroeléctrica.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido financiado por la CICYT, proyectos REN2001-3890-C02-02/CLI and REN2001-3923-C02-01/CLI.

REFERENCIAS

- Collares Pereira, M. 1998: Energias Renováveis, a Opção Inadiável, Sociedade Portuguesa de Energias Solar, 256 pp
- Cullen, H. M. and P.B. deMenocal, 2000: North Atlantic Influence on Tigris-Euphrates Streamflow. Int. J. Climatol., 20, 853-863.
- REE, 2002: Red Electrica Española, www.ree.es
- Rimbu, N., C. Boronean, B. Carmen and D. Mihai, 2002: Decadal variability of the Danube river flow in the lower basin and its relation with the North Atlantic Oscillation. Int. J. Climatol., 22, 1169-1179.
- Rodriguez-Puebla, C., A.H. Encinas, S. Nieto and J. Garmendia, 1998: Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. Int. J. Climatol., 18, 299-316.

- Stanev, E.V. and L.P. Elissaveta, 2002. Regional sea level response to global climatic change: Black sea examples. *Global and Planetary Changes*, 32, 33-47.
- Trigo, R.M., T.J. Osborn and J. Corte-Real (2002) "The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms". *Climate Research*, 20, 9-17. 10.
- Trigo R.M., Pozo-Vazquez D., Osborn T.J, Castro-Diez Y., Gámis-Fortis S., Esteban-Parra M.J. (2004) "North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology* (accepted).