

# CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA DE GRAN ESCALA Y VARIABILIDAD DE LAS APORTACIONES NATURALES DE LOS RIOS DE NAVARRA

Luis A. Vázquez López  
Centro Meteorológico Territorial en Cataluña (INM)  
Arquitecte Sert, 1, (08005) Barcelona  
Tfno.: 93-2211632  
Fax: 93-2211692  
Correo electrónico: [luisvaz@inm.es](mailto:luisvaz@inm.es)

## *Resumen*

El propósito general de este estudio ha consistido en la identificación de modos de variación simultánea de la circulación atmosférica euroatlántica y de los caudales en régimen natural de los principales ríos de la red hidrológica superficial del territorio navarro en la Cuenca Hidrográfica del Ebro (España).

El periodo analizado corresponde a la estación invernal (D-E-F) en su variación interanual desde 1950 hasta 1985 y se ha aplicado un análisis de correlación canónica a los subespacios definidos por las componentes principales de ambas variables analizadas: la presión atmosférica a nivel del mar de un área atlántica extratropical (hPa) y las aportaciones hídricas en régimen natural (Hm<sup>3</sup>) de 24 puntos de aforo en los ríos de Navarra.

Se ha identificado la solución con más significación estadística y climática y unas tipologías de circulación y escorrentías asociadas.

## *Palabras clave*

*Análisis de correlación canónica, Oscilación del Atlántico Norte, Navarra*

## *Abstract*

The general purpose of this research is to identify characteristic patterns of observed simultaneous variations of the extratropical atlantic atmospheric circulation and the natural flows of the main river basins in Navarra (Spain). The analyzed period runs from 1950 to 1985 and consider the interannual winter variations.

Canonical correlation is proposed here as a statistical technique to depict connections between different climatic variables: North-Atlantic-European air-pressure at sea level (hPa) and natural flows contributions (Hm<sup>3</sup>) of 24 internal basins of the Navarra territory..

The result with more statistical and climatic significance and several types of associated circulation and flow has been identified.

## *Key Words*

*Canonical correlation analysis, North Atlantic Oscillation, Navarra*

## **1.INTRODUCCIÓN**

El territorio de Navarra se encuentra situado en el Norte de España, en el extremo occidental de los Pirineos (figura 1). Una gran variedad geomorfológica y bioclimática se resume tradicionalmente en tres regiones de norte a sur: Montaña, Zona Media y Ribera, esta última próxima al río Ebro. Por su localización geográfica este territorio aparece netamente afectado por las particularidades y diferenciaciones del Sistema Climático extratropical, principalmente las propias del área atlántica y las del área mediterránea. Los sistemas montañosos circundantes, Pirineos al norte, sierras del oeste y noroeste (Aralar, Andía) y la proximidad de la Cordillera Ibérica por el sur, condicionan y modulan las circulaciones atmosféricas de gran escala que le llegan y esta interacción va conformando unas variaciones hidroclimáticas subregionales características y más ó menos específicas (García de Pedraza, 1985).

Este estudio trata de identificar algunos aspectos del comportamiento de los ríos de la región en relación con los flujos atmosféricos de gran escala, escala sinóptica ó mayor.

Navarra cuenta con una red hídrica de 7500 km. La montaña Navarra, además de mantener la integridad de los sistemas hídricos, suministra agua limpia al resto del territorio. En concreto, la aportación total de la red pluvial de Navarra es de 3000 hm<sup>3</sup> anuales a la cuenca del Ebro, lo que supone el 30 % del caudal de esde río a su paso por Navarra.

## 2.MÉTODOLOGÍA Y DATOS

El período de tiempo simultáneo analizado, tanto para las presiones atmosféricas superficiales como para las aportaciones naturales en el territorio navarro, va desde 1950 hasta 1985. Aquí se presentan resultados correspondientes al invierno, estación del año en la que las señales de variabilidad climática en el ámbito euroatlántico suelen ser más acusadas. Los registros de presión (hectopascales) proceden del Climatic Diagnostic Center/NOAA y cubren una zona geográfica comprendida entre 20° y 75° norte y 70° oeste y 20° este de longitud, en una retícula de 120 puntos. Los datos de las aportaciones hídricas de los principales ríos de la red hidrológica Navarra (hectómetros cúbicos) proceden de las estimaciones de la Confederación Hidrológica del Ebro en 24 puntos (Figura 1) .

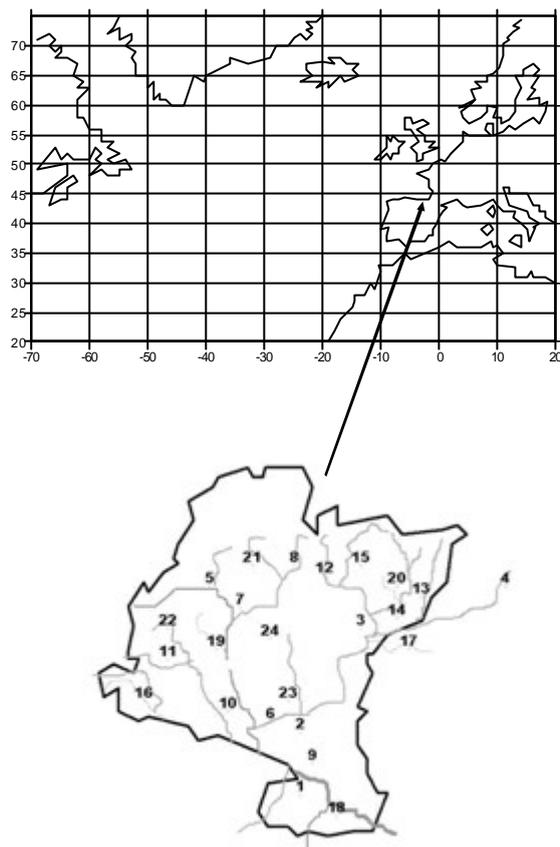


Figura 1. Rejilla y puntos de aforo de las áreas y datos analizados.

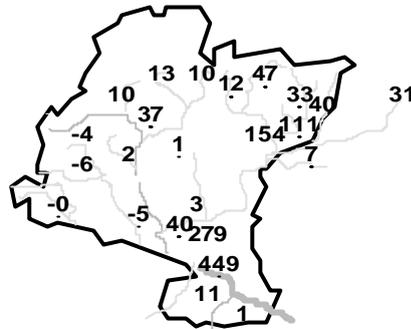
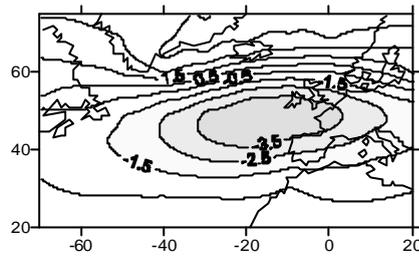
La metodología planteada adopta una perspectiva climática, en términos de estadística multivariada de espacio y tiempo, y ha recurrido a un análisis de componentes principales (ACP) de ambas variables indicadas. El ACP proporciona un análisis de variabilidad de los datos originales y permite separar las señales principales latentes en estos datos básicos, mediante un análisis de funciones ortogonales empíricas, lo cual facilita la interpretación de los datos originales en unos espacios de referencia de menor dimensión (Preisendorfer, 1988). Posteriormente, se ha aplicado un Análisis de Correlación Canónica (ACC) a estos subespacios (Nicholls, 1987), definidos por las componentes principales, para tratar de expresar las relaciones complejas y simultáneas entre la presión atmosférica y los caudales dentro de la Cuenca en unas pocas dimensiones que faciliten su interpretación. Por último, la obtención de mapas compuestos para los conjuntos de años agrupados por las intensidades de las señales caracterizadas en las variables canónicas del ACC, sustentan una interpretación dinámica de una tipología de características hidroclimáticas de invierno, propias de esta red hidrográfica regional.

Tanto en un caso como en otro se ha procurado una cobertura y densidad de puntos adecuada como para una representación suficientemente homogénea del ámbito atlántico europeo extratropical y ,tambien, del conjunto del territorio de la Navarra que avena al Ebro:

alhama	1
aragon-caparroso	2
aragon-irati	3
aragon-jaca	4
araquil	5
arga	6
arga-araquil	7
arga-huarte	8
ebro-castejon	9
ega	10
ega-estella	11
erro	12
esca	13
irati	14
irati-itoiz	15
odron	16
onsella	17
queiles	18
salado	19
salazar	20
ulzama	21
urederra	22
zidacos	23
zidacos-barasoain	24

### **3.ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA Y RESULTADOS**

El ACC nos facilita la indagación y representación de conexiones entre diferentes variables ambientales , dando importancia a su variabilidad temporal. De hecho, son las series temporales de las componentes principales del ACP previamente obtenidas, las que entran en el ACC. Efectivamente, la recuperación de los modos canónicos de variación asociada entre las presiones y las aportaciones en sus magnitudes originales (hPa y hectómetros cúbicos, respectivamente), dan lugar a pares de variables canónicas asociadas. El primer par se muestra en la figura 3, en sus modos espacial y temporal asociados. Este par de variables canónicas está óptimamente correlacionado, según los fundamentos de este análisis, con coeficiente de correlación de 0.76 y da cuenta de una parte significativa de la varianza de las variables básicas utilizadas, la presión atmosférica al nivel del mar y las aportaciones en régimen natural de los rios navarros que vierten al Ebro.



variables canónicas normalizadas

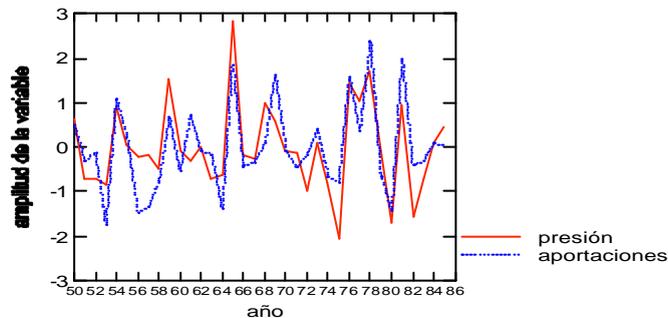


Figura 2.- Modo espacial (arriba) y temporal (abajo) del primer par de variables canónicas asociadas

Esta solución expresa una distribución de anomalías de presión atmosférica (hPa.) con una parte negativa zonalmente orientada y elongada de oeste a este en el área de análisis y sobre los 45°N, con máxima señal entre los 15 y los 20° W. Complementariamente, hay una zona de valores positivos por encima de los 60°N, entre Groenlandia y el mar de Noruega. El conjunto muestra una estructura que recuerda algo a la de la Oscilación del Atlántico Norte, si bien esta última presenta las señales positiva y negativa algo más desplazadas en latitud. Coherentemente con esta distribución de anomalías de presión, el patrón de desviaciones de las aportaciones de los ríos navarros (Hm3.) presenta valores positivos en la mayor parte del territorio, con la señal más fuerte en el río Aragón y sus afluentes. En los ríos más a poniente, las señales son más débiles ó incluso de signo negativo, como en la cuenca del río Ega y en menor grado en el Arga. Si consideramos los inviernos que se corresponden con signo negativo del patrón canónico, las desviaciones de presión serán de signo positivo y los ríos mostrarán una señal negativa.

La interpretación dinámica de esta solución canónica se refiere a la localización de las trayectorias de las depresiones meteorológicas ó las altas presiones, que se corresponderán con unas escorrentías por encima de lo normal ó deficitarias, respectivamente, en las cuencas de los ríos navarros.

#### 4. TIPOLOGÍAS HÍDRICAS Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA. LA INTERPRETACIÓN DEL NAO.

A partir de la intensidad y signo de las señales de presión atmosférica en el modo canónico previamente descrito, se pueden obtener unos agrupamientos de los inviernos que comparten características semejantes en cuanto a la circulación atmosférica y a las desviaciones medias de las aportaciones naturales de los ríos correspondientes. Se han tomado los promedios de los valores de las variables de dos conjuntos de inviernos con máxima señal canónica positiva (54,59,65,68,76,77,78,81) y negativa (51,52,53,72,75,80,82,83):

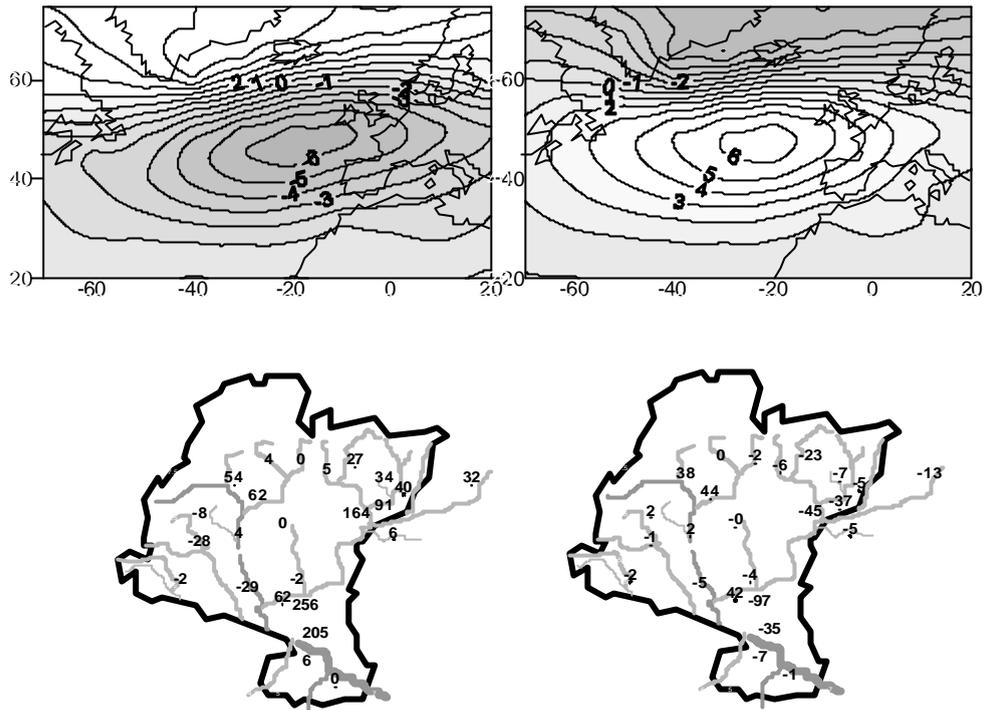


Figura 3.- Mapas promediados de desviaciones medias de presión (hPa) y aportaciones (Hm3.) para inviernos con alta (izquierda) y baja (derecha) señal canónica

Cuando las desviaciones medias de presión son negativas, la prevalencia de las depresiones sobre el área atlántica da lugar a aportaciones y escorrentía superficial por encima de lo normal en las cuencas del Aragón y del tramo medio alto del Ega. No obstante, los flujos circulatorios inestables apantallados por la Ibérica ó las montañas del oeste, dejan al Ega, el otro tercer importante río navarro, con aportaciones deficitarias (izquierda en figura 3). Cuando las desviaciones de presión son positivas, los anticiclones atlánticos han debido contribuir a la disminución de las precipitaciones y a las escorrentías deficitarias en la región. También en este caso, la cuenca del río Aragón es la más sensible a este tipo de anomalía circulatoria positiva (presión).

En la figura 4-izquierda, se muestra el índice de correlación lineal de la variable canónica de presión, que interpretamos como descriptora de la circulación atmosférica euroatlántica y las aportaciones de los ríos. Los valores más altos, significativos y apreciables, de esta correlación corresponden al río Aragón y sus afluentes y esta correlación resulta casi inapreciable para los ríos que no se alimentan en los pirineos, en el oeste y suroeste de la región, sierras de Aralar, Gorbea, Andía y Obarenes. A la derecha, se muestra la correlación del índice NAO (principal modo de variabilidad atmosférica atlántica) con las aportaciones naturales y puede apreciarse que son notablemente bajas en el conjunto de la región, si bien algo más apreciables en el Aragón. La variabilidad de la Circulación del Atlántico Norte parece que se deja sentir y explicaría mejor únicamente el régimen hídrico superficial de la cuenca del río Aragón, pero es prácticamente irrelevante y no explicativa del comportamiento hídrico de los demás ríos navarros, en particular del Ega y el Odrón. En cualquier caso la capacidad explicativa de la NAO es característicamente baja para el conjunto de la hidrología de la Navarra que avena al Ebro y esta es posiblemente una de las conclusiones más destacables que se extrae de este trabajo.

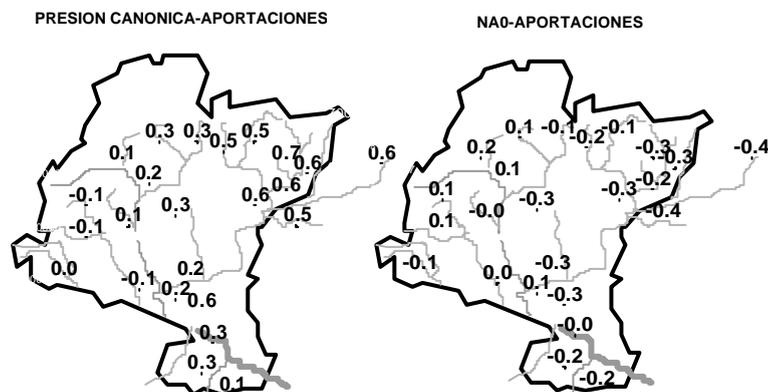


Figura 4.- Correlación lineal entre la variable canónica de presión (izquierda) y el índice NAO (derecha) con las aportaciones hídricas.

## 5.CONCLUSIONES

Una parte considerable de la variabilidad superficial del sistema de los ríos de Navarra que alimentan al Ebro aparece explicada por un esquema ó patrón empírico asociable a las influencias de procesos climáticos que tienen sus principales manifestaciones en las latitudes medias del Océano Atlántico, con máxima señal alrededor de 45° norte y entre 15° y 20° oeste .Entre la red hídrica navarra, los ríos más orientales en la cuenca del Aragón y que se alimentan en sus cabeceras desde los Pirineos, son los más sensibles a las variaciones de esta circulación atmosférica atlántica. Esta variabilidad no explica significativamente el comportamiento de los ríos Ega y Argu en invierno, que probablemente habrá de encontrarse en otras componentes de variabilidad atlántica diferentes de la aquí tratada. La variabilidad de la NAO resulta también poco explicativa de la variabilidad de los caudales hídricos navarros en el conjunto de la región y esta constatación habría de tenerse en cuenta en los procedimientos de adaptación regional (downscaling) de variables de gran escala, etc.

## 6.REFERENCIAS

- García de Pedraza, L. (1985): La predicción del tiempo en el Valle del Ebro. *Publicación A-38*. Instituto Nacional de Meteorología
- Nicholls, N. (1987): The Use of Canonical Correlation to Study Teleconnections. *Monthly Weather Review*, February, pag. 393-399.
- Preisendorfer, R.W. (1988): Principal component análisis in meteorology and oceanography. *C.D Mobley, Ed. Elsevier*, 425 pp.
- Vázquez, L.A.(1999): Variabilidad interanual de la circulación atmosférica y escasez de precipitaciones en la Península Ibérica durante el invierno. *La Climatología española en los albores del siglo XX. Asociación Española de Climatología*.
- Barnston, A.G., Livezey, R.E. (1987): Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126