

# INFLUENCIA ATLÁNTICA EN LA VARIABILIDAD HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL EBRO

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 subsistemas de la red hidrológica superficial de 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: 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 58 cuencas internas del Ebro.

Se han identificado dos soluciones con más significación estadística y climática.

## *Palabras clave*

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

## *Abstract*

The general purpose of this research is to identify characteristics patterns of observed simultaneous variations of the extratropical atlantic atmospheric circulation and the natural flows of the main river basins in the Ebro Valley (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 58 internal basins of the Ebro Valley.

Two solutions with more statistic and climatic significance are identified.

## *Palabras clave*

*Canonical correlation analysis, North Atlantic Oscillation, Ebro*

## **1.INTRODUCCIÓN**

El ámbito territorial de la Cuenca del Ebro (figura 1), dada su extensión y orientación en la Península Ibérica, aparece netamente afectado por las particularidades y diferenciaciones del Sistema Climático, principalmente las del área atlántica y las del área mediterránea. Los sistemas montañosos circundantes, Pirineos y Cordillera Ibérica, condicionan las circulaciones atmosféricas de ambas zonas conformando unas variaciones hidroclimáticas subregionales más ó menos específicas (García de Pedraza,1985).

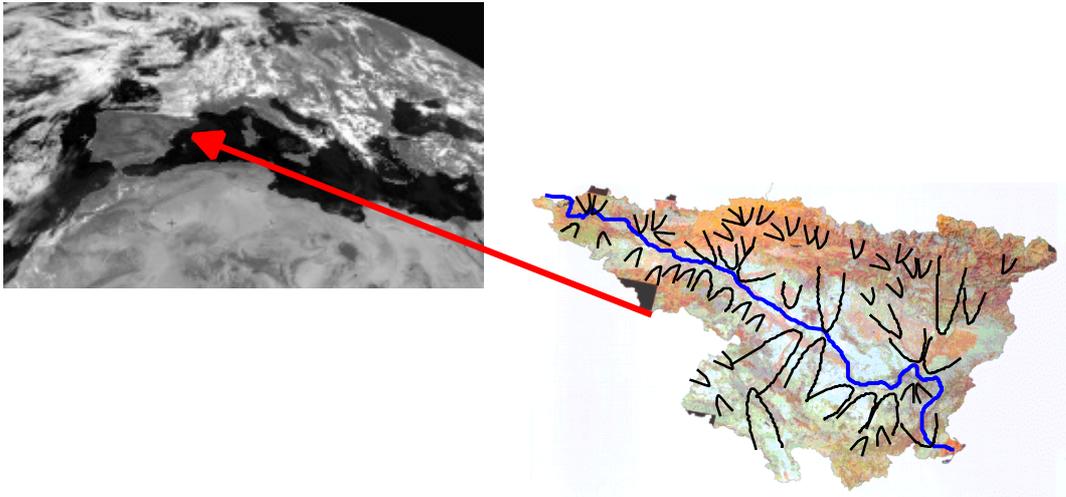


Figura 1

En la figura 2, puede apreciarse la evolución de las aportaciones en régimen natural estimadas del río Ebro en Tortosa, a lo largo de varias décadas. Aquí lo que se pretende destacar es la gran variación que los caudales y aportaciones de invierno experimentan entre unos u otros años. En los registros invernales de los caudales del río Ebro en Tortosa, desde 1950 a 1985, se destacan años con desviaciones de la media ( que es de 5757 Hm<sup>3</sup>.) muy positivas como, por ejemplo, en los años 1959, 1971 y 1978, y por el contrario, con grandes déficits en otros años como en 1956, 1970 y en los años ochenta . Es destacable, por tanto, la elevada irregularidad de la escorrentía del sistema higrológico del Ebro tal como se registra en el punto de su desembocadura mediterránea, en Tortosa. Parecidas consideraciones podrían hacerse sobre la irregularidad hidrológica de las demás estaciones del año.

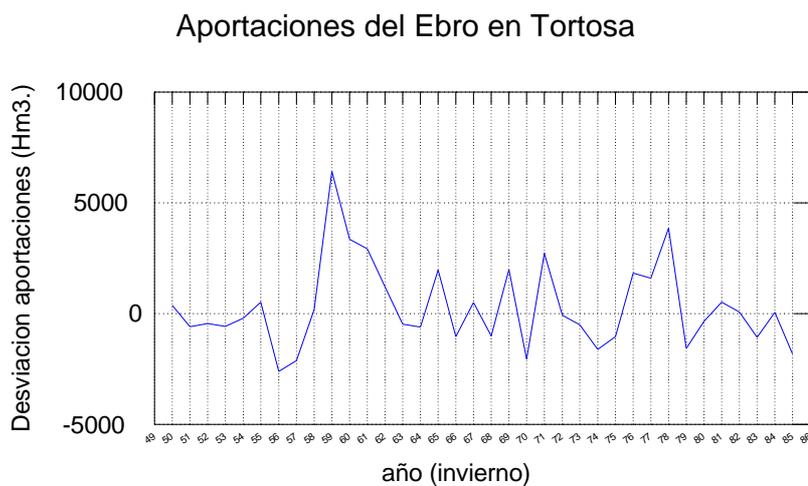


Figura 2

En latitudes medias y altas del Hemisferio Norte, sobre todo en la estación invernal, el más prominente y recurrente patrón de variabilidad atmosférica es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). La masa de aire entre el Ártico y el Atlántico Subtropical experimenta una redistribución y, al pasar por una u otra fase, da lugar a cambios en la dirección y velocidad media de los vientos sobre el Atlántico, en el transporte de calor y humedad entre el Océano y los continentes próximos, así como en la intensidad y número de tormentas y en sus trayectorias. La climatología invernal de la Península Ibérica resulta muy influida por esta dinámica (Vázquez, 1999).

Durante el intervalo que va desde 1950 a 1985 se registró una tendencia en el índice NAO desde anomalías de gran amplitud de una de sus fases en los años 60's a grandes anomalías de signo opuesto desde los primeros años 80's.

El problema planteado en este trabajo es el del comportamiento hidroclimático de los subsistemas de la red hidrológica de la Cuenca del Ebro en relación con las variaciones experimentadas por la circulación atmosférica atlántica, y ello, mediante la identificación empírica de esquemas ó pautas de distribución de sus recursos hídricos en el contexto de la parte euroatlántica del Sistema Climático al que geográficamente pertenece. Se ha tratado de identificar patrones de variación asociada entre ambos campos: uno atmosférico, la presión atmosférica al nivel del mar, y otro hidrológico, las aportaciones de los ríos en régimen natural estimadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro, organismo responsable de la gestión de esta Cuenca. Finalmente, se ha establecido una tipología de comportamientos medios característicos de las aportaciones de los principales subsistemas hídricos y una aproximación a su interpretación dinámica.

## **2. MÉTODOLÓGÍA Y DATOS**

El período de tiempo simultáneo analizado, tanto para las presiones atmosféricas superficiales como para las aportaciones naturales en la Cuenca, va desde 1950 hasta 1985. Aquí se presentan resultados correspondientes al invierno, estación en la que las señales de variabilidad climática en el ámbito euroatlántico suelen ser más acusadas. Los registros de presión (hectopascuales) 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 del Ebro (hectómetros cúbicos) proceden de las estimaciones de la Confederación Hidrológica del Ebro en 68 puntos, de los cuales 58 se refieren a los principales ríos de la Cuenca y otros 10 a los siguientes puntos de aforo a lo largo del curso del Ebro: en aguas arriba del Nela, en Miranda, en aguas arriba del Alhama, en Castejón, en aguas arriba del Gállego, en Pina, en aguas arriba del Guadalope, en aguas arriba del Segre, en aguas arriba del Matarraña y en Tortosa. 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, también, del conjunto de la Cuenca en cuanto a sus principales ríos y subsistemas identificables en la misma.

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. El ACP proporciona un análisis de variabilidad y permite separar las señales principales latentes en los datos básicos, mediante un análisis de funciones ortogonales empíricas, lo cual facilita la interpretación de los datos originales en unos espacios de referencia de mucha menor dimensión (Preisendorfer, 1988). Posteriormente, se

ha aplicado un Análisis de Correlación Canónica (ACC) (Nicholls, 1987) a estos subespacios, 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 cuenca hidrográfica.

### 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, cuyos dos primeros pares son mostrados en la figura 3, en sus modos espaciales y temporales. Estos pares de variables canónicas están óptimamente correlacionadas, según los fundamentos de este análisis, con coeficientes de correlación de 0.82 el primer par y 0.56 el segundo, respectivamente. Entre ambas soluciones se da cuenta de una parte significativa de la varianza de las variables básicas.

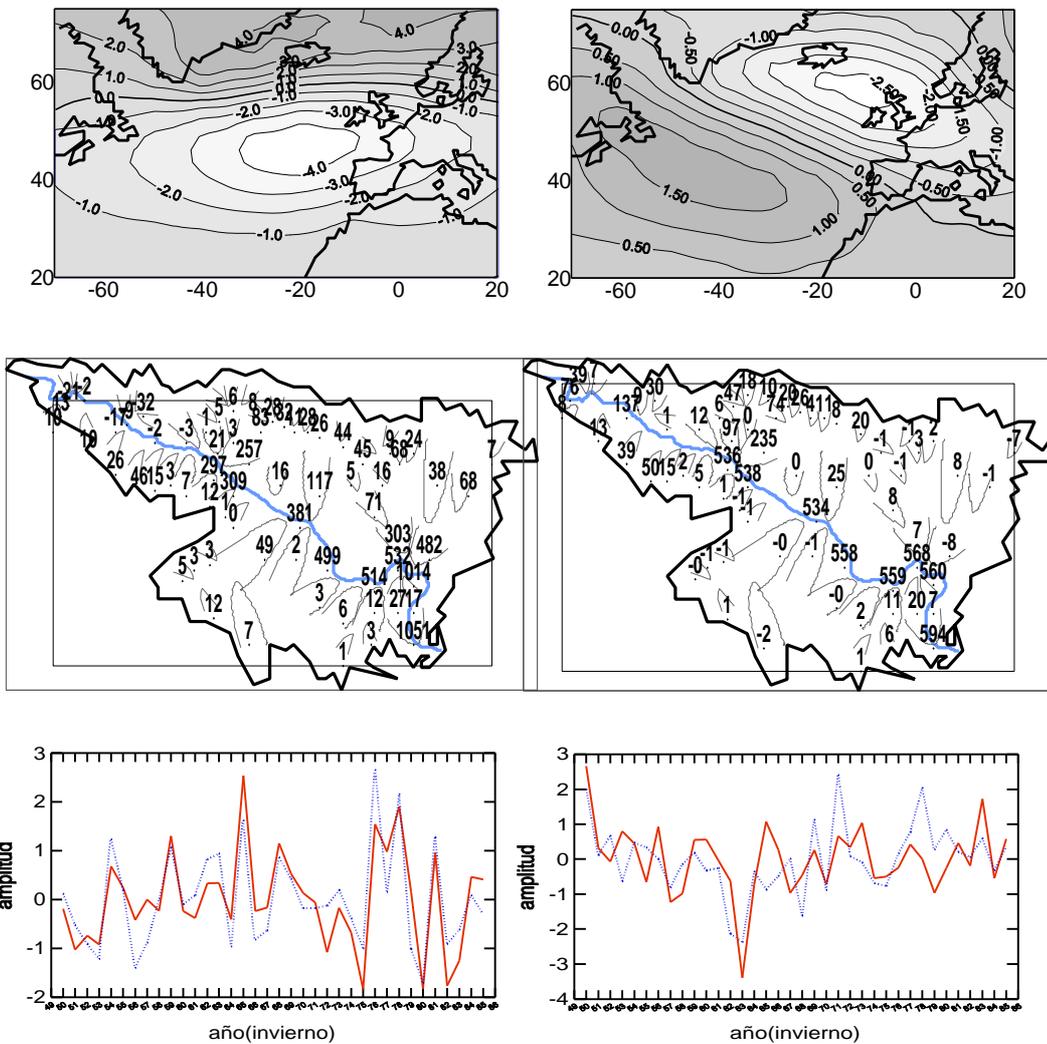
La *primera solución* (figura 3, izquierda) expresa una distribución de anomalías de presión atmosférica con una parte negativa zonalmente orientada y elongada de oeste a este en el área de análisis y sobre los 45°N con máxima señal sobre los 20° W. Complementariamente, hay una zona de valores positivos por encima de los 60 °N, sobre Islandia y mar de Noruega. El conjunto muestra una estructura que recuerda a la de la Oscilación del Atlántico Norte. Coherentemente con esta distribución de anomalías de presión, las desviaciones de las aportaciones de los ríos de la Cuenca son positivas en la mayor parte de la misma. En tanto las desviaciones negativas de la presión, en este modo canónico, sean asociables a borrascas y trayectorias atlánticas de relativamente baja latitud (por debajo de los 45 °N), las depresiones alcanzan a la Península Ibérica y a toda la Cuenca del Ebro dando abundantes precipitaciones que proveen a los ríos de la Ibérica y del Pirineo, principalmente a los sistemas del Jalón (Ibérica) y del Aragón, Gállego, Cinca y Segre (Pirineos). Sin embargo, aparecen unas desviaciones negativas en las aportaciones de los ríos que se alimentan en los tramos más altos de la Cuenca. Las trayectorias de depresiones atlánticas de baja latitud que entran a la Península por el Golfo de Cádiz, costas portuguesas y se trasladan por el Centro, Se y Baleares dan lluvias por la mayor parte del Valle pero quedan frenadas en la vertiente Sur de las Sierras de Andía y Aralar con fohën en el País Vasco.

Este modo canónico de variación, correspondiente al comportamiento de los ríos principales de la Ibérica (Jalón, Najerilla) y de los Pirineos Aragoneses (Aragón, Cinca, Segre), lo denominamos *ibero-pirenaico*.

La evolución interanual de la variable canónica indica inviernos con elevadas aportaciones de los ríos señalados en los inviernos de los años 1965, 1968, 1976, 1978 y 1981, y, en la fase opuesta, durante los de los años 1980 y 1982.

La *segunda solución*, a diferencia de la anterior, se caracteriza por una distribución también dipolar pero con el eje de sus centros de máxima señal orientado de NE a SW en el área atlántica analizada. El centro de desviaciones negativas se localiza entre Islandia y las Islas

### patrones canónicos asociados



**Invierno, 1950-85. Presión atmosférica (hPa) y aportaciones (Hm3)**  
**Izqda.:primer par var.canónicas.Drcha.:segundo**

Británicas, extendiéndose desde Groenlandia hasta Centroeuropa.El polo de desviaciones positivas, más débil, se extiende por el Atlántico desde los 50°N al este hasta unos 30°N al oeste. Coherentemente con este patrón canónico en las presiones, las aportaciones hídricas asociadas muestran señal más intensa y positiva en las cuencas de los ríos de la cabecera y de mayor influencia cantábrica. Las desviaciones positivas de los caudales y aportaciones corresponden a los ríos que se alimentan en los Pirineos vasco-navarros, Sierras de Aralar, Gorbea, Andía y Obarenes. Las depresiones atlánticas centradas y con trayectorias en altas

latitudes arrastran aire ártico-polar húmedo y atacan la Cuenca con escasa efectividad en el Valle, pero producen lluvias en las laderas norte de las cordilleras y precipitaciones copiosas en las áreas de Vitoria y Pamplona (Pedraza, 1985); también llegan a La Rioja, Cinco Villas y los contrafuertes del Pirineo navarro.

Este segundo modo de variación muestra las señales más significativas en los ríos Nela, Zadorra, Ega, Arga y Aragón, y lo denominamos modo *cantábrico*. Se dio con señal muy positiva en los inviernos de 1950, 1965, 1973 y 1983, y en fase negativa en los de 1957, 1963 y 1979.

#### 4. TIPOLOGÍAS HÍDRICAS DEL EBRO Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

A partir de la intensidad y signo de las señales de presión atmosférica en los dos modos canónicos, *ibero-pirenaico* y *cantábrico*, se pueden obtener unos agrupamientos de los inviernos que comparten características semejantes (se ha aplicado un método WARD con distancia euclídea). En la figura 4, se muestran las desviaciones de las aportaciones medias de cada uno de los cinco grupos obtenidos, registradas en 10 puntos a lo largo del curso del Ebro, desde su alta cabecera hasta Tortosa (referidas en apartado 2 de este trabajo).

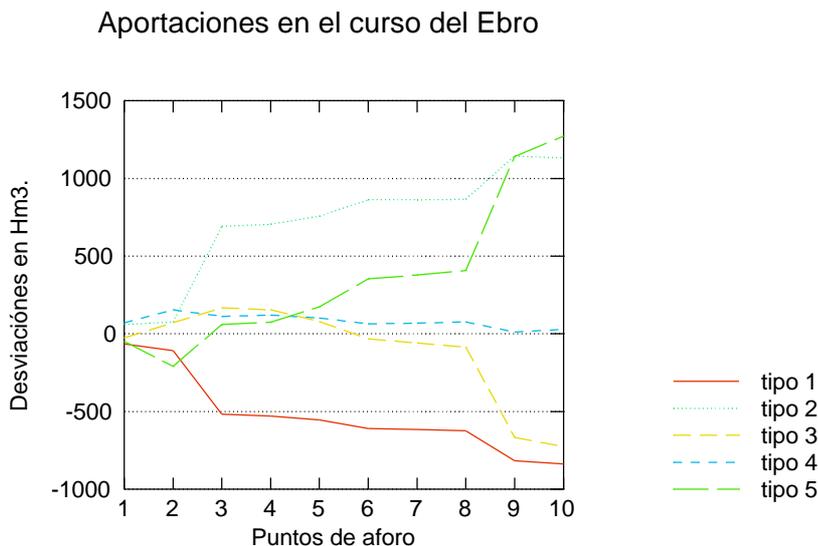


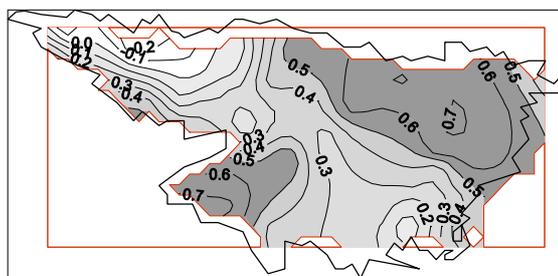
figura 4

Se puede apreciar que, a lo largo del Ebro, las variaciones de sus caudales medios están principalmente determinadas por las variaciones de las aportaciones del Ega, Arga y Aragón en su tramo medio superior (aforo 3, Alhama), las de los sistemas del Cinca y Segre (aforo 9, Matarraña) y también, pero en menor medida por los sistemas del Jalón, el Gállego y el Huerva (aforo 6, Pina). Todas estas en sus tramos medio e inferior.

En este conjunto de grupos y tipos medios de aportaciones hídricas, el 2 y el 5 son los de mayores aportaciones y caudales en casi todos los subsistemas más importantes de la Cuenca; las aportaciones cantábricas e ibero-pirenaicas son elevadas y la diferencia relativa entre ambos tipos consiste en que, en el tipo 2, aún con ciertos déficits en la cabecera de la

Cuenca tiene unas aportaciones muy altas desde los rios pirenaicos (Cinca-Segre) y del Jalón en la Ibérica. El tipo 5, en cambio, se beneficia de las muy altas aportaciones del conjunto Ega, Arga y Aragón. En las señales de los modos empíricos ya comentados, ambos tipos corresponden a signo positivo de la señal *ibero-pirenaica* y negativo ó positivo de la señal *cantábrica* el 2 y el 5, respectivamente. En ambos casos, corresponden a la acción de regímenes ciclónicos atlánticos que recorren la Península Ibérica y descargan precipitaciones por la mayor parte de la Cuenca. Las aportaciones del Ebro van aumentando a lo largo de todo su recorrido. Cuando la señal *ibero-pirenaica* es negativa, los tipos 1 y 3 son muy deficitarios en la desembocadura (Tortosa) y se asocian a señal negativa en el modo *ibero-piranaico descrito*. No obstante, se diferencian en el signo de las aportaciones de los rios del norte cantábrico e ibérica riojana, que son positivas en el tipo 3 (Nela, Bayas, Ega, Najerilla, Arga), así como es positiva la señal del modo *cantábrico*. El tipo 1, el más deficitario de todos, refleja los déficits pluviométricos en toda la Cuenca y sus estribaciones montañosas; corresponde a las sequias más intensas y a la presencia de altas presiones entre el Atlántico y el Mediterraneo que impiden ó inhiben la acción de las depresiones sobre el área de la Cuenca, al desplazarse estas sobre más altas latitudes. El tipo 7, corresponde a un régimen con señales ibero-pirenaicas débiles y con aportaciones positivas moderadas de los rios de la cabecera de la Cuenca, que son las que mantienen una escorrentia casi normal ó con moderadas desviaciones en el conjunto del curso del rio y en su desembocadura; en este caso, la señal *ibero-pirenaica* es débil y la *cantábrica* es positiva. Desde un punto de vista complementario, en la figura 5, se muestra la correlación lineal entre las aportaciones en los 68 puntos de aforo con dos índices, respectivamente: el índice de la variable presión atmosférica en el primer modo (*ibero-piranaico*) y el de la NAO.

**Correlaciones de modos canónicos de presión y NAO con las aportaciones**  
Cuenca del EBRO, invierno, 1950-1985



primer modo canónico y aportaciones



índice NAO y aportaciones

figura 5

Puede apreciarse como la distribución espacial de estas correlaciones son muy semejantes en ambos casos y como, también, son más elevadas cuando tomamos el índice canónico que cuando se considera el índice NAO. Es decir, esta primera variable canónica se proyecta bien en el patrón NAO (coeficiente corr. = -.764) pero es más explicativa de la variabilidad de los caudales de la red del Ebro que la Oscilación del Atlántico Norte. Ambas variables explican mejor y con apreciable eficiencia el comportamiento de los principales subsistemas ibero-pirenaicos (Jalón, Cinca, Segre) y de manera prácticamente insignificante el de los subsistemas de la cabecera y pirineos cantábricos (Nela, Zadorra, Ega, Arga...).

## 6. CONCLUSIONES

El sistema del río Ebro muestra, en su hidrológica superficial, un comportamiento complejo, que se manifiesta en la estructura de la variabilidad de las aportaciones en régimen natural de la red de sus ríos constituyentes. Una parte considerable de esta variabilidad aparece explicada por dos esquemas o patrones empíricos asociables a las influencias de procesos climáticos que tienen sus principales manifestaciones en el Océano Atlántico. El primero, indica una tendencia general del conjunto de la Cuenca como un todo hacia las condiciones 'secas' o 'húmedas' y está altamente asociado a la evolución de las fases de la NAO que se dejan sentir en los principales sistemas fluviales de la Ibérica y Pirineo (Jalón, Cinca, Segre). El segundo, señala un comportamiento diferencial de los subsistemas dentro del área, de modo que cuando los ríos vasco-navarros y alta Rioja aportan por encima de lo normal, los sistemas del Gállego, Cinca, Segre y Jalón (principalmente), tienden a hacerlo escasa o negativamente, o bien, al contrario según la fase positiva o negativa de esta situación. A partir de estos dos patrones, los comportamientos hidroclimáticos pueden agruparse en cinco tipologías, dos de ellas correspondientes a situaciones de alta pluviometría y escorrentías. Otros dos, a esquemas deficitarios y de sequías y otro, con aportaciones moderadas positivas en las cuencas del norte y unos caudales normales del curso del río Ebro y en la desembocadura.

## 7. 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*.