

# CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA EUROATLÁNTICA Y PRECIPITACIÓN EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: CONEXIÓN, DOWNSCALING Y TIPIFICACIÓN INVERNAL

Luis A. VÁZQUEZ LÓPEZ

*Centro Meteorológico Territorial en Catalunya. Instituto Nacional de Meteorología*

## RESUMEN

El propósito general de este estudio ha consistido en la identificación de modos de variación simultánea entre la circulación atmosférica extratropical atlántica y las anomalías de precipitación acumulada durante el invierno en las principales cuencas hidrográficas de la Península Ibérica. El periodo analizado va desde 1950 hasta 1997.

Se ha aplicado un análisis de correlación canónica entre ambas variables y complementariamente a ello, un modelo de regresión lineal para la obtención de características de la pluviometría regional a partir de características de la circulación atmosférica a gran escala. Se han identificado dos esquemas con más significación estadística y climática. Las precipitaciones ibéricas parecen responder a cierta variabilidad de baja frecuencia que presenta sus centros de variación sobre el Este atlántico y el Oeste de Europa.

**Palabras clave:** Correlación canónica, downscaling, euroasiático

## ABSTRACT

*The general purpose of this research is to identify characteristics patterns of observed simultaneous variations of the extratropical atlantic atmospheric circulation and the seasonal rainfall anomalies over the main hydrographic basins of the Iberian Peninsula. The analyzed period runs from 1950 to 1997.*

*Canonical correlation is proposed here as a statistical technique to depict connections between different meteorological variables. Complementary to this, a linear regression model helps to deduce regional scale features from the large scale atmospheric circulation characteristics. Two solutions with more statistic and climatic significance are identified. Iberian precipitations seem to respond to certain low frequency variability which presents their centers of variation over the East atlantic and western of Europe.*

**Key words:** Canonical correlation, downscaling, euroasiatic.

## 1. INTRODUCCIÓN

El territorio ibérico, con su casi medio millón de kilómetros cuadrados constituye un sistema climático altamente complejo, sobre todo si se consideran los fenómenos de precipitación (MARTÍN-VIDE, 1996). Durante los meses fríos del año los vientos de Oeste atlánticos pueden llegar a alcanzar con plenitud a la Península Ibérica, encontrándose con una orografía que modifica ampliamente los esquemas de la circulación básica. Asimismo

la anomalía térmica del Mediterráneo y sus montañas circundantes condicionan procesos de escalas más pequeñas que modulan notablemente la distribución espacial de las lluvias en el ámbito regional (JANSA, 1997).

En el apartado 2, que sigue, se expone brevemente una metodología para la indagación de relaciones, a largo plazo, entre anomalías del comportamiento atmosférico euroatlántico y las precipitaciones de la región peninsular ibérica. En el apartado 3, se presentan resultados sobre estas relaciones y en los apartados 4 y 5 su posible utilidad para aplicación de *downscaling* estadístico y caracterización de tipos de climatología de invierno, respectivamente.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se han tratado datos invernales del periodo que va desde 1950 a 1997, en su variación interanual, de dos campos meteorológicos simultáneos: la presión atmosférica al nivel del mar (PNM) como variable dinámica representativa de la circulación a niveles troposféricos bajos (datos de 120 puntos de rejilla  $5^{\circ} \times 10^{\circ}$  del Climate Diagnostic Center/NOAA) en una zona geográfica contenida entre  $20^{\circ}$  y  $75^{\circ}$  de latitud norte y  $70^{\circ}$  oeste y  $20^{\circ}$  este de longitud y por otra parte, el Agua de precipitación acumulada (APA) en ocho grandes cuencas hidrológicas españolas (datos del Instituto Nacional de Meteorología). Cada invierno es referido por el año al que corresponde el mes de diciembre del mismo.

### 2.1 Conexiones

El Análisis de Correlación Canónica (ACC) nos facilita la indagación y representación de conexiones entre variables climáticas dando importancia a su variabilidad temporal, a la naturaleza cambiante de los procesos en los sistemas climáticos.

Si  $G(x,t)$  y  $R(x,t)$  representan las observaciones en el punto  $x$  y tiempo  $t$  de los campos de PNM y APA en la Península Ibérica, el ACC permite la reproducción de estas observaciones simultáneas según un esquema como este:

$$R(x,t) = \sum_{i=1}^I [R_{ci}(x) \cdot \gamma_{ci}(t)] \quad \text{y} \quad G(x,t) = \sum_{i=1}^I [G_{ci}(x) \cdot \lambda_{ci}(t)] \quad (1)$$

$G_{ci}$  y  $R_{ci}$  son los patrones canónicos definidos por un conjunto de coeficientes y  $c_i$ ,  $c_i$  son las series de tiempo asociadas a ellos, las variables canónicas.

El ACC produce una combinación lineal de cada conjunto de variables de entrada, llamado primer par canónico aquí representado por  $\lambda_1$  y  $\gamma_1$ , de tal forma que la correlación, 1, entre ambas combinaciones está maximizada. La continuación del análisis produce un segundo par de combinaciones lineales, incorrelacionado con el anterior, ortogonal al primero y tiene el coeficiente de correlación más alto después del obtenido para el primer par canónico. Así sucesivamente.

De hecho, previamente al ACC se ha realizado un filtrado de los datos originales, tratando de separar las señales principales en los datos básicos de otros detalles y ruido en los puntos de rejilla (presión atmosférica) y en las observaciones hídricas (APA), mediante un análisis de funciones ortogonales empíricas.

Es decir,  $G(x,t)$  y  $R(x,t)$  representan, en el tratamiento aplicado aquí, subespacios de señal principal formados por unas nuevas variables latentes, componentes principales, que recogen la variación en el sistema representado por las variables originales básicas, sin redundancia y con reducción de la dimensionalidad del espacio original. Asumimos que un reducido número de modos principales de variabilidad se contienen en un subespacio señal de pocas dimensiones y que explican un alto porcentaje de la varianza total de los datos básicos. Las nuevas variables que entran en el ACC son las series temporales de las funciones ortogonales empíricas.

## 2.2 Downscaling

Una vez obtenidos los pares canónicos de máxima correlación (con significación estadística y climática) se puede realizar un modelo de regresión lineal entre las dos variables (PNM y APA).  $G$  y  $R$  expresan los patrones de correlación canónica para las variables representativas de las dos escalas que analizamos, global y regional, y ambos evolucionan coherentemente modulados por las amplitudes dependientes del tiempo  $\lambda(t)$  y  $\gamma(t)$ , las cuales como resultados del ACC están óptimamente correlacionadas (HANS VON STORCH *et al.*, 1993; VÁZQUEZ, 1999)

Conocida  $\gamma(t)$  para un tiempo determinado, mediante regresión lineal entre las dos series temporales podemos estimar  $\lambda(t) = \alpha \cdot \gamma(t)$ , y como las variables originales  $G$  y  $R$  se relacionan con los patrones según (1), la mejor estima de la variable regional,  $\hat{R}(x,t)$ , en función de la variable de gran escala podrá expresarse:

$$\hat{R}(x,t) = \sum_{i=1}^{h < I} R_{ci}(x) \cdot \alpha \cdot \gamma_{ci}(t) \quad (2)$$

$\alpha$  es el coeficiente de regresión dado por  $\alpha = \rho \cdot \sigma_r / \sigma_g$ .

$\rho$  es el coeficiente de correlación entre  $\lambda(t)$  y  $\gamma(t)$ , y  $\sigma_r$ ,  $\sigma_g$  sus desviaciones standard.

## 2.3 Tipificación

En las relaciones canónicas son los modos de desviación espacial asociados los que evolucionan interanualmente, modulados por el índice temporal correspondiente, el cual pasa por fases negativas o positivas más o menos amplias. Estos modos presentan, por lo tanto, un rango de dispersión señalado por el rango de variación del propio índice de expansión temporal de las variables canónicas.

Estratificando el rango de variación del índice temporal en las conexiones PNM-APA en la Península Ibérica, se han seleccionado unos conjuntos de inviernos para los que se han obtenido los mapas de las desviaciones medias de las variables originales de cada grupo.

### 3. CONEXIONES

La distribución del porcentaje de varianza explicada por las cinco primeras componentes principales del campo de presión atmosférica y de las tres primeras del agua de precipitación acumulada en la Península Ibérica que dan razón de una cantidad elevada del porcentaje de varianza total contenida en los datos básicos, se indica en la tablas 1 y 2:

Son estas componentes principales normalizadas las que entran en el ACC (no mostradas en esta comunicación).

Tabla 1. VARIANZA EXPLICADA POR LAS 5 PRIMERAS CP DE PRESIÓN

componente	autovalor	p.v.t.e.
VPF 1	52.63	43.86%
VPF2	16.31	13.59%
VPF3	15.04	12.84%
VPF4	10.21	8.51%
VPF5	5.09	4.24%

Tabla 2. VARIANZA EXPLICADA POR LAS 3 PRIMERAS CP DE APA

Componente	p.v.t.e.
AGUA 1	38.14%
AGUA2	31.73%
AGUA3	22.84%

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación canónica y los correspondientes coeficientes de los dos pares de variables seleccionados y con significación estadística obtenidos en el ACC. La estructura de estos coeficientes señala la contribución relativa de cada componente principal en los modos canónicos.

Tabla 3. COEFICIENTES DEL ACC

Correlaciones canónicas: Presión atmosférica/ Agua en CHPI			
Número	Correlación canónica	nivel significación	
1	0.851	0.0000	
2	0.715	0.0001	
Coeficientes variables canónicas del primer conjunto (presión)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	
VPF1	<b>-0.812</b>	-0.310	(asimilado al patrón NAO)
VPF2	-0.501	0.053	(asimilado el patrón EA)
VPF3	0.248	<b>-0.826</b>	(asimilado al patrón EU-2)
VPF3	0.162	-0.221	(asimilado al patrón EU-1)
VPF5	-0.037	-0.413	
Coeficientes variables canónicas del segundo conjunto (Agua)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	
AGUA1	0.447	0.837	
AGUA2	0.884	-0.404	
AGUA3	-0.034	0.369	

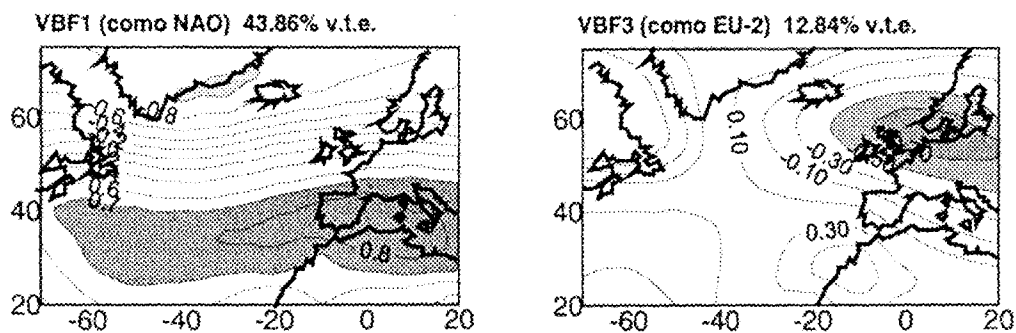


Fig. 1: Modos primero y tercero de variabilidad de la presión. Periodo, 1950-1997.  
 Los números indican correlación con las variables básicas y las componentes.

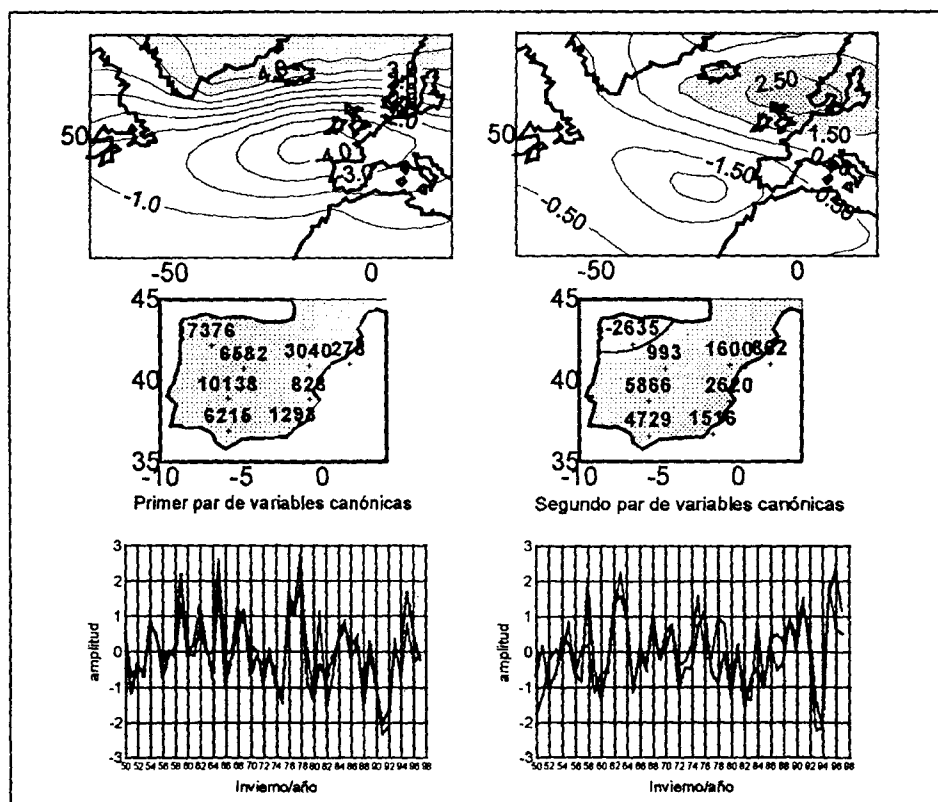


Fig. 2: Patrones canónicos de variabilidad de las desviaciones asociadas. A la izquierda, primer par de variables canónicas. A la derecha, el segundo. Variable presión en hPa. Variable Agua, en millones de metros cúbicos.

Se ha resaltado la prevalencia de los modos de variabilidad VBF1(-0.812) y VBF3(-0.826) en la 1ª y 2ª solución canónica, respectivamente. En la figura 1 se ven estas componentes VBF1 y VBF3 del campo de presión y se puede apreciar la notable semejanza estructural de la VBF1 con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y de la VBF3 con el modo euroasiático de variabilidad conocido como EU-2 (BARNSTON & LIVEZEY, 1987).

Efectivamente, la recuperación de los modos canónicos en las magnitudes de las variables originales (hPa. y millones de metros cúbicos, respectivamente) produce las dos soluciones que se muestran en la figura 2.

La primera solución muestra una estructura dipolar con una desviación negativa de presión centrada al noroeste de la Península Ibérica abierta zonalmente desde el Atlántico extratropical hacia el interior de Europa y otra anomalía acoplada de signo opuesto sobre latitudes más altas. Recuerda al principal modo de variabilidad de la circulación atmosférica atlántico-europea, la NAO. Por esta razón hemos denominado 'atlántico' este primer par canónico. Tiene coherentemente asociada una señal pluviométrica con anomalías positivas en todas las Cuencas hidrográficas, si bien es relativamente más intensa en las cuencas atlánticas y del suroeste peninsular.

El segundo par canónico muestra también dos centros de anomalías de distinto signo, siendo más importante el centro positivo situado sobre las Islas Británicas y sur de Escandinavia. Hay un centro de desviación negativa en más bajas latitudes que alcanza a la Península Ibérica por el suroeste. Las desviaciones hídricas asociadas no son del mismo signo, resultan negativas en las cuencas del norte y positivas en las demás. No obstante, la señal relativa de precipitaciones acumuladas es mayor en las que vierten al Mediterráneo.

Este segundo esquema de conexiones está muy influido por otro modo destacado de variabilidad atmosférica en el Hemisferio Norte, el Euroasiático-2. Denominamos 'euroasiática' a esta parte de la variabilidad asociada en el segundo par canónico.

#### 4. DOWNSCALING

Tomando en consideración la significación estadística y consistencia climatológica de las correlaciones canónicas previamente obtenidas y analizadas, establecemos una relación estadística entre las variables mediante un modelo de regresión lineal que nos permita derivar información pluviométrica regional a partir del campo circulatorio descrito por la presión atmosférica al nivel del mar, tomada ésta como variable predictora, haciendo uso de (2) (apartado metodológico).

En la tabla 4 se muestran los coeficientes de correlación lineal entre las estimaciones obtenidas y las observaciones de los datos básicos en el periodo 1950-1997. La línea superior (a) muestra el resultado haciendo uso del primer par canónico, la siguiente (b) las correlaciones obtenidas con el segundo par y la de abajo (c), las obtenidas haciendo uso de las dos correlaciones canónicas.

Las estimaciones con el primer par canónico están altamente correlacionadas con los datos reales en las cuencas atlánticas de la Península Ibérica y apreciablemente también con la cuenca del Ebro, que si bien corresponde hidrológicamente a la vertiente mediterránea, experimenta la influencia meteorológica directa de sistemas meteorológicos baroclínicos de génesis atlántica,

Tabla 4. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LAS ESTIMACIONES OBTENIDAS Y LAS OBSERVACIONES DE LOS DATOS BÁSICOS EN EL PERIODO (1950-1997)

Cuenca	Norte	Duero	Tajo-Gana	Gadqvir.	Sur	Se-Lev.	Ebro	Pir.Or.
$\rho$	0.761	0.790	0.745	0.655	0.484	0.261	0.538	0.148

b)

Cuenca	Norte	Duero	Tajo-Gana	Gadqvir.	Sur	Se-Lev.	Ebro	Pir.Or.
$\rho$	0.270	0.169	0.384	0.372	0.509	0.602	0.222	0.412

c)

Cuenca	Norte	Duero	Tajo-Gana	Gadqvir.	Sur	Se-Lev.	Ebro	Pir.Or.
$\rho$	0.806	0.805	0.838	0.752	0.702	0.656	0.582	0.438

principalmente en su cabecera norte. Este resultado refuerza la explicación de la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte sobre la pluviometría ibérica, pero más significativamente en los territorios de las cuencas atlánticas.

Complementariamente, los resultados con el segundo par muestran correlaciones en general más bajas que con la primera, pero estadísticamente significativas en las cuencas mediterráneas, principalmente en las del Sur y Levante peninsular. Se aprecia la señal de la relación canónica 'euroasiática' en la interpretación de una parte menor, pero no despreciable de la variabilidad pluviométrica del mediterráneo.

La aplicación de los dos pares canónicos produce una mejora general de los resultados, subrayando el criterio de que la variación de la presión atmosférica al nivel del mar en la gran escala euroatlántica interpreta altamente la variabilidad pluviométrica a la escala regional de las grandes cuencas ibéricas y puede considerarse como una adecuada variable predictora en su caso .

## 5. TIPOS DE INVIERNO

La proyección de los inviernos (las desviaciones medias de la precipitación invernal respecto a la media del periodo 1950-1997) en el plano definido por las variables de presión en las dos soluciones canónicas (figura 3) muestra que la primera solución ('atlántica'), en el eje horizontal, tiende a separar el conjunto de las desviaciones en dos grupos, las que corresponden a los inviernos 'secos' en la zona izquierda y a los 'húmedos' a la derecha, respectivamente, dejando entrever la relevancia de las variaciones de fase de la Oscilación del Atlántico Norte en las cuantías de la precipitación ibérica. No obstante, tanto en el ámbito de los inviernos 'secos' como en el de los 'húmedos' se aprecia también una notable dispersión de casos según el eje vertical, que se pueden asociar a las modulaciones de otros patrones de variabilidad de gran escala, como el EU-2, que caracteriza a la segunda solución canónica ('euroasiática').

Los patrones canónicos de variabilidad espacial expresados como centros o áreas de desviaciones positivas o negativas de la presión atmosférica pueden dar señal de una tendencia de los sistemas de tiempo meteorológico, anticiclones y depresiones, a ser recurrentes, persistentes o cuasi-estacionarios, en unas zonas u otras con cierta simultaneidad. Por lo tanto, podemos tratar de inter-

prestar las áreas principales de las desviaciones canónicas como aproximaciones a las trayectorias de los sistemas meteorológicos en un sentido estadístico estacional, en tanto contribuyen a una distribución característica de la pluviometría en la Península Ibérica.

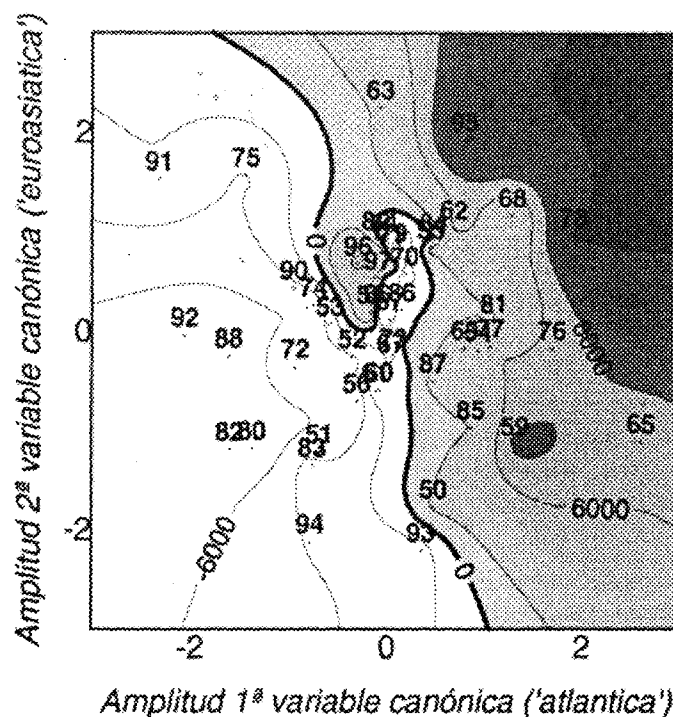


Figura 3: Distribución de las desviaciones de agua acumulada en el plano de la variable presión atmosférica en las dos soluciones canónicas. Línea, millones de metros cúbicos. Zona sombreada, agua por encima de la media. Los números de dos dígitos representan los años

La selección de grupos de inviernos en los cuales ambas señales, 'atlántica' y 'euroasiática' son más intensas, tanto con signo positivo como negativo, provee de una indicación de rasgos característicos de la circulación y la pluviometría asociadas durante los inviernos muy secos o muy húmedos en la Península Ibérica.

La figura 4 muestra los pares de desviaciones medias para cada grupo de inviernos con señales altas en las variables canónicas, los años correspondientes, las denominaciones adoptadas y una breve descripción de sus posibles características dinámicas: pueden distinguirse dos tipologías de situaciones de déficit hídrico en la Península, pero en un caso la sequedad es relativamente más marcada en las regiones atlánticas y en el otro en las regiones del sur y mediterráneas.

Se diferencian también dos tipologías de precipitaciones medias por encima de lo normal:

uno, con señal más intensa en las cuencas del norte y noroeste, y otro, con desviaciones positivas relativamente mayores en el suroeste y cuencas mediterráneas.



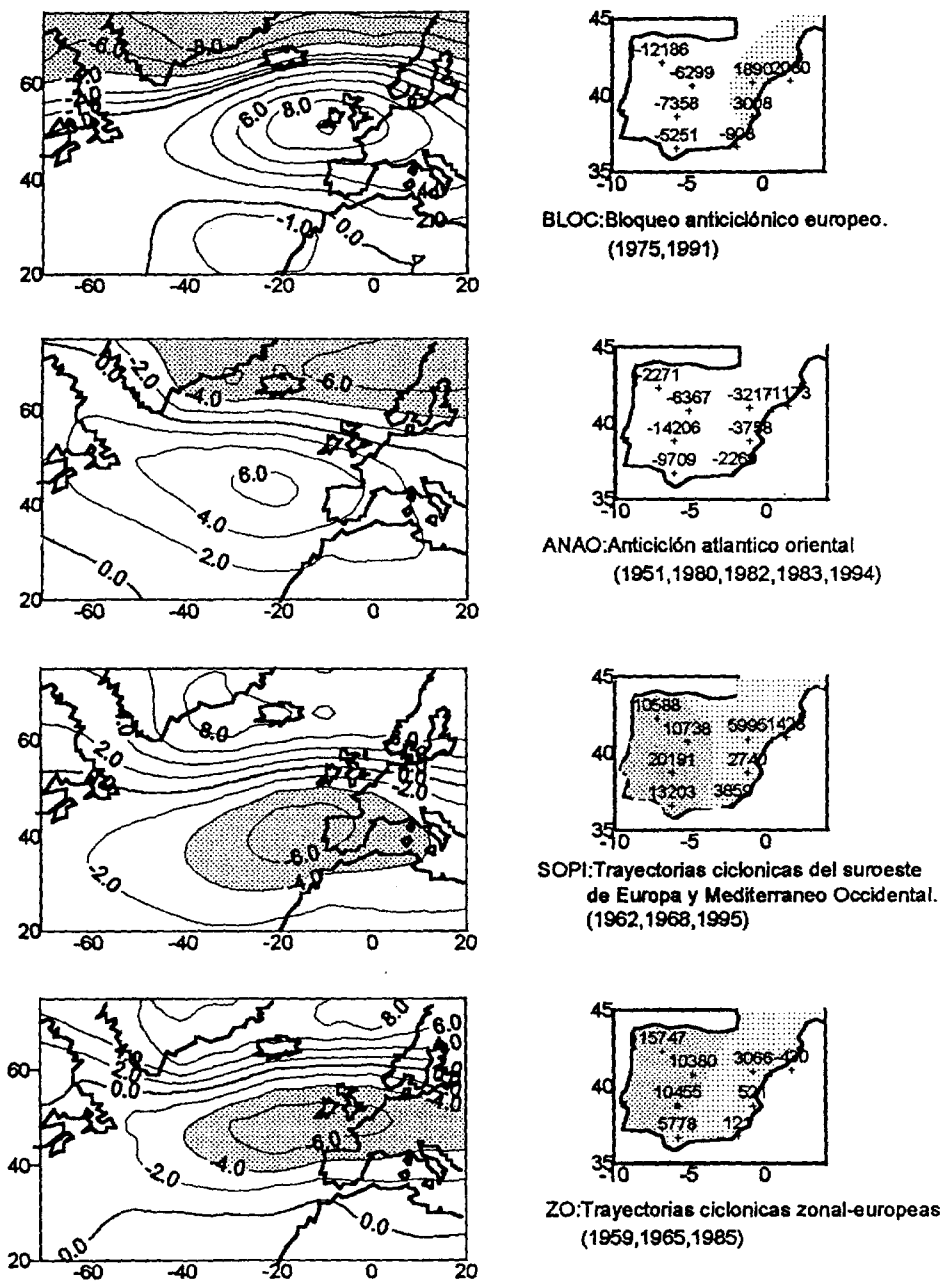


Figura 4: Características de tipos climáticos invernales. Desviaciones medias de presión en hPa. Las desviaciones de agua de precipitación acumulada, en millones de metros cúbicos.

## Tipos 'secos':

BLOC (1975,1991): Corresponde a los anticiclones de **bloqueo** sobre Europa **occidental**. La escasez hídrica es particularmente acusada en las cuencas hidrográficas atlánticas.

ANAO (1951,1980,1982,1983,1994): Corresponde a los **anticiclones** de latitudes medias en el **atlántico oriental**. Resulta acusadamente seco en la Península Ibérica, sobre todo en las cuencas del sur y mediterráneo.

## Tipos 'húmedos':

SOPI (1962,1968,1978,1995): Corresponde a trayectorias ciclónicas que afectan plenamente al suroeste europeo y a las regiones del sur **peninsular ibérico** y Mediterráneo occidental.

ZO (1959,1965,1985): Corresponde a las trayectorias **zonales** ciclónicas que alcanzan plenamente Europa occidental adentrándose en el continente, así como a las cuencas Atlánticas de la Península Ibérica, principalmente.

**6. CONCLUSIONES**

Aparecen dos esquemas de variación asociada entre las desviaciones de presión atmosférica a gran escala y las del agua de precipitación en las cuencas ibéricas. El primero facilita una distinción de las condiciones generales de la circulación entre los inviernos 'húmedos' y 'secos' en el conjunto de la pluviometría española y puede asociarse a la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte, principalmente. El segundo, modula una diferenciación en las condiciones que distinguen la fenomenología climática atlántica y la mediterránea y parece asociado a la influencia de otro patrón de variabilidad de la circulación atmosférica del Hemisferio Norte, el Euroasiático-2.

La regionalización de las precipitaciones en las grandes cuencas ibéricas a partir de la presión atmosférica al nivel del mar, a gran escala, parece bastante eficiente en un procedimiento de *downscaling* estadístico basado en un modelo de regresión lineal.

**7. REFERENCIAS**

BARNSTON, A.G., LIVEZEY, R.E. (1987): "Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns". *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.

VON STORCH, H., ZORITA, E., y CUBASCH, U. (1993): "Downscaling of Global Climate Change Estimates to Regional Scales: An application to Iberian rainfall in Wintertime". *Journal of Climate*. Vol.6, 1161-1171.

JANSÁ, A. (1997): "A general view about mediterranean meteorology: ciclones and hazardous weather". INM-WMO. *International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean*. Universitat de le Illes Balears. 33-42.

MARTÍN-VIDE, J. (1996): "Decálogo de la pluviometría española". Marzol, M.V. (Eds.), *Clima y Agua. La gestión de un recurso climático*, 15-24, A.G.E. Universidad de La Laguna.

VÁZQUEZ, L.A. (1999): *"La circulación atmosférica euroatlántica y el clima de pequeños territorios: la Península Ibérica y Catalunya"*. Universidad de Barcelona. Tesis Doctoral inédita.