

# INFLUENCIA DE LOS PATRONES DE VARIABILIDAD DE BAJA FRECUENCIA WeMO Y NAO SOBRE EL CAUDAL DE LOS RÍOS EN CATALUÑA (1951-2000)

**Jordi Martín i Díaz**

Universitat de Barcelona

## RESUMEN

Este trabajo se propone como un primer ensayo sobre la relación de los dos patrones de variabilidad de baja frecuencia que mejor explican la pluviometría durante el semestre frío en Cataluña (WeMO y NAO) con los caudales mensuales de sus principales ríos para la segunda mitad del siglo XX. La obtención de correlaciones estadísticamente significativas durante el periodo invernal junto con la importancia de éste en las aportaciones hidrológicas anuales, permite abrir una línea de investigación cuyo desarrollo debe mejorar el pronóstico a medio-largo plazo de los caudales.

**Palabras clave:** ríos noreste peninsular, teleconexiones, hidroclimatología, régimen hidrológico, Cuencas Internas de Cataluña, Cuenca del Ebro.

## ABSTRACT

This paper relates the two low frequency variability patterns which explain rainfall during cold season in Catalonia (WeMO and NAO) with the monthly flow of major rivers in the second half of the 20<sup>th</sup> century. Obtaining statistical significant correlations during the winter period, along with the importance of these months in the annual water input in most of rivers, allows to open a line of research that should enable progress in the mid-long term prediction of discharges.

**Key words:** northeastern Iberian Rivers, teleconnection patterns, hydroclimatology, Catalanian Internal Basins, Ebro Basin.

---

Fecha de recepción: junio 2009.

Fecha de aceptación: octubre 2010.

## I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de recursos hídricos y su gestión ha generado un debate continuo durante 2008 en Cataluña. La sucesión de más de tres años consecutivos con registros pluviométricos inferiores a los promedios climáticos desembocó durante el mes de abril en una situación al límite de la fase de emergencia en las Cuencas Internas de Cataluña (CIC). Algunas de las propuestas para resolver la falta de recursos entraban en conflicto con las políticas no trasvasistas iniciadas a raíz del cambio de gobierno vivido en marzo de 2004. Cabe destacar los proyectos de trasvasar agua del Roine, del curso alto del Segre, o finalmente la interconexión de cuencas (Ebro y CIC) que debía de desarrollarse conjuntamente entre el gobierno central y la Generalitat de Cataluña. La derogación el 6 de junio de 2008 del Real Decreto-ley 3/2008, el cual permitía dicha conexión, se debió a la brusca recuperación de las reservas hídricas debido a un mayo excepcionalmente lluvioso en la totalidad del territorio catalán. Pese a este giro en la política hidráulica iniciada hace cinco años con el programa AGUA, la realidad evidencia que pese a las numerosas iniciativas la situación no ha cambiado radicalmente si bien se ha minimizado ligeramente en algunas cuencas la dependencia de los distintos usos del agua respecto los recursos hídricos superficiales<sup>1</sup>.

Esta política debe plantearse como un proceso lento de cambios después de que en los últimos siglos haya habido una trayectoria de mitificación y exaltación de la función del agua en el Estado, considerándola como un elemento esencial de desarrollo económico y social del país (López Ontiveros, 1995). La idea de regeneracionismo hidrológico ha implicado «*un proceso combinado de sobreestimación de los recursos y de relajación del control sobre el incremento de las demandas*» (Del Moral Ituarte, 1996). Éste se ha llevado a cabo por medio de una política de oferta de agua barata y abundante gracias a infraestructuras financiadas públicamente, situando a España como el cuarto Estado del mundo en relación al número de grandes embalses, y desembocando en una situación de estrés o déficit hídrico en diversas regiones del Estado.

Por otro lado, durante los últimos años se han sucedido los trabajos y publicaciones que relacionan los patrones de variabilidad de baja frecuencia y la pluviometría en el territorio peninsular. En esta línea cabe destacar la propuesta de un nuevo índice subregional, la *Western Mediterranean Oscillation* (WeMO; Martín Vide, 2002) que se propone cubrir el campo bórico de la cuenca occidental mediterránea, relacionando ámbitos de la llanura del Po con las series de presión de Padua (Italia) y el Golfo de Cádiz, con la utilización de la estación de San Fernando. La utilización de este patrón regional en el estudio de la pluviometría ha permitido encontrar correlaciones significativas en la mayoría de áreas de la fachada mediterránea durante el semestre frío (López Bustins, 2007). En el resto de la Península, en cambio, la precipitación es porcentualmente mejor explicada por la *North Atlantic Oscillation* (NAO). El debilitamiento de la influencia atlántica en la mitad oriental peninsular es fruto de la barrera que los diferentes sistemas montañosos ejercen sobre los flujos húmedos del Atlántico, afectando a estas regiones con un menor grado de humedad y de precipitación.

1 Sólo en Cataluña, según el Plan Hidrológico de las CIC, el 65% de los recursos hídricos generados son de origen superficial.

Centrándose pues en el ámbito mediterráneo, una de sus principales características climáticas son las precipitaciones torrenciales. Su estudio, tanto en lo que se refiere a la génesis, periodos de retorno, o efectos, ha sido una constante en las últimas décadas con el objetivo de mejorar la predicción de unos episodios que han dejado centenares de víctimas mortales en el último siglo. La repercusión de estos fenómenos tan violentos, conocidos como *flash floods* (Barrera et al., 2006) han situado en segundo término el análisis del comportamiento y la dinámica predominante de los cursos fluviales, que pese a ser menos mediático tiene una importancia fundamental en el devenir socioeconómico. Es por esto que en este trabajo se propone una línea de análisis que interrelaciona los patrones de variabilidad de baja frecuencia y el comportamiento hidrológico mensual de los ríos en Cataluña durante la segunda mitad del siglo XX, tanto los que pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) como los de las CIC.

Pese a que en Cataluña los fenómenos convectivos son frecuentes y aportan valores elevados en relación a la precipitación anual en numerosas comarcas (Ceperuelo y Llasat, 2004)<sup>2</sup>, la hipótesis del presente artículo es que la precipitación de carácter general es la responsable de las mayores aportaciones hidrológicas en el conjunto del año, por ser más frecuentes y prolongadas temporalmente. Se trata de un tipo de precipitación advectiva, ya sea por flujos provenientes del Atlántico o del Mediterráneo. Ambos se asocian respectivamente a los índices NAO y WeMO (Azorín Molina et al., 2004), los cuales son determinantes en la variabilidad pluviométrica interanual debido a la elevada correlación existente durante el semestre frío<sup>3</sup> entre la pluviometría y estos patrones de variabilidad de baja frecuencia (López-Bustins, 2007).

Por lo tanto, los dos objetivos del presente artículo son: 1) evaluar la importancia de los caudales del semestre frío en el conjunto de las aportaciones anuales, y 2) determinar el grado de correlación entre los caudales y los índices WeMO y NAO a resolución mensual. La interrelación entre ambos factores tiene que permitir valorar el grado de influencia que los patrones ejercen sobre las aportaciones hidrológicas de los ríos analizados. En última instancia se pretende determinar si la importancia de las correlaciones existentes permitiría abrir una futura línea de investigación en este ámbito hidroclimático, a fin y efecto de mejorar la gestión de los recursos hídricos superficiales<sup>4</sup>.

---

2 Estudio realizado con datos entre 1996 y 2002 a partir de 126 estaciones del S.A.I.H. Se define el periodo convectivo como el comprendido entre mayo y noviembre. Destacar como la precipitación que clasifica como no convectiva corresponde al 90% de los episodios, acumulando entre el 60 y 90% de la precipitación anual, registrándose los mínimos en la Costa Dorada y en el nordeste de las CIC.

3 A la hora de explicar la precipitación, como pasa con la mayoría de patrones de variabilidad de baja frecuencia en el Hemisferio Norte, sólo son representativos durante el semestre frío. Durante el verano, la circulación atmosférica se debilita por la menor diferencia radiativa y energética existente entre los extremos del hemisferio, periodo en que la precipitación se asocia a fenómenos convectivos.

4 En la tesis doctoral (López Bustins, 2007) se demuestra como el comportamiento de la WeMO y la NAO se encuentran afectados por las dinámicas de la estratosfera a través del vórtice polar, el cual transmite en determinadas condiciones estas oscilaciones hacia la troposfera. Esta interconexión, cuyo estudio está proliferando en los últimos años podría mejorar sustancialmente la predicción meteorológica a medio y largo plazo.

## II. ÁREA DE ESTUDIO

En el artículo se analizan varios ríos en Cataluña, los cuales pueden agruparse según dos criterios: 1) referentes a las cuencas hidrográficas, CHE y CIC ocupan respectivamente un 47 y 51% del territorio catalán; y 2) según la red hidrológica, la cual tiene en consideración el área de nacimiento y la desembocadura de los ríos. Todos los ríos analizados forman parte de la vertiente Mediterránea, la cual se encuentra subdividida en tres redes: a) la Pirineos-Ebro: formada por la Noguera Pallaresa, la Noguera Ribagorçana y el Segre como ríos principales; b) la Red Pirineos-Mediterránea: con el Ter, Llobregat, Fluvià y la Muga; y c) la Red Mediterránea: con nacimientos en el prelitoral presentan unas cuencas pequeñas y unos caudales muy irregulares siendo los ríos principales la Tordera, Congost, Francolí, Foix, Gaià y Daró.

Durante el transcurso del trabajo se considerará la distribución de los diferentes ríos para conocer si hay diferencias territoriales en las correlaciones. A su vez se prestará una atención especial a los ríos pirenaicos debido a la importancia socioeconómica de sus recursos en la actualidad, por el hecho de almacenar en los embalses de sus tramos altos y medios casi la totalidad de los recursos hídricos superficiales en Cataluña.

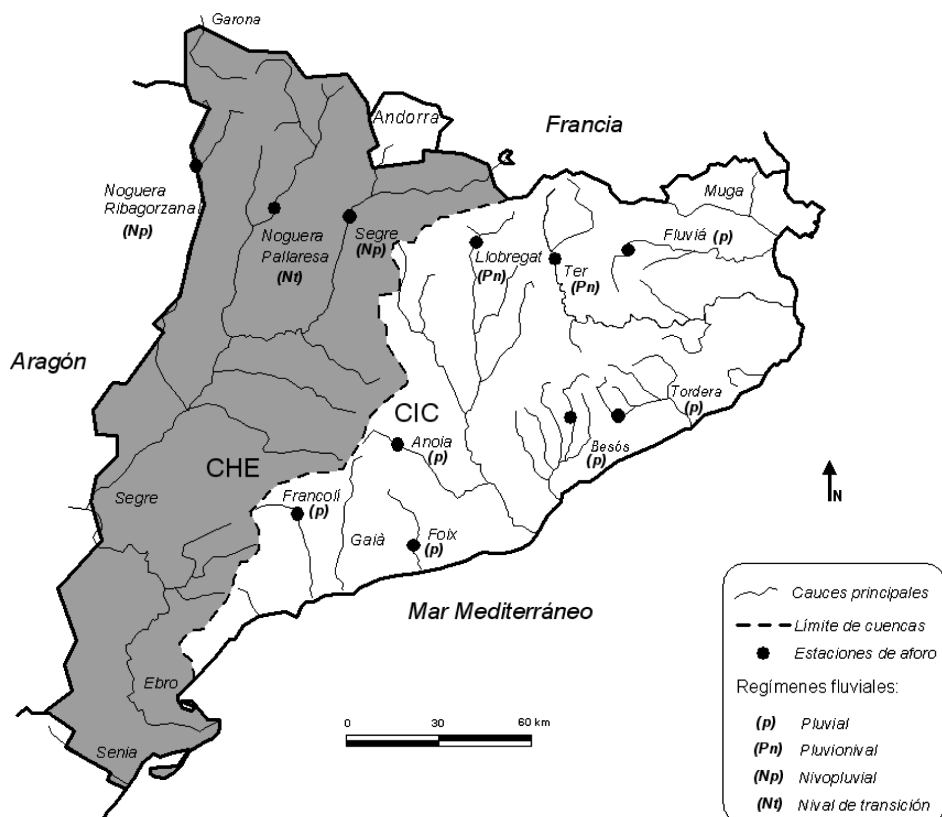
## III. DATOS Y METODOLOGÍA

Se han analizado un total de 11 ríos, 8 de los cuales pertenecen a las CIC y los 3 restantes a la CHE. Tal y como se ve en la figura 1 quedan bien representadas las dos principales cuencas hidrográficas que hay en Cataluña con la presencia de los ríos más importantes, así como aquéllos más representativos dentro de los subsistemas en que se dividen las Cuencas Internas.

Los criterios que se han seguido para la selección de los datos, su validación, así como la selección del periodo de estudio son:

- 1) disponer de estaciones de aforo localizadas en los tramos altos y con una localización próxima a los embalses. Se trabaja así con un caudal poco modificado antrópicamente y muy parecido al que se vierte en los principales embalses. Sólo el Foix se encuentra en el tramo medio aunque no posee ninguna obra de regulación importante con anterioridad.
- 2) se descartan aquellos ríos que disponen de series de datos inferiores a 40 años, trabajando así con aquellas cuencas que al menos disponen con el 80% de los datos, límite utilizado en los informes del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).
- 3) no se consideran válidos los promedios anuales realizados con menos de 9 valores mensuales. En el peor de los casos se trabaja con un porcentaje anual del 75% de los datos, lo que permite considerar un mayor número de años con un límite muy próximo al utilizado en los informes del SMC.
- 4) el período de estudio es el 1951-2000. Aunque hay ríos de las CIC cuyas series de datos se remontan a inicios del s. XX, la ausencia de datos entre los años 1932 y 1945 desaconseja considerar un período de estudio superior.
- 5) no se ignoran aquellos valores mensuales indicados con una baja fiabilidad en las estaciones de las CIC. La fiabilidad indica el porcentaje de medidas que se han reco-

Figura 1  
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO, LÍMITES DE CUENCA EN CATALUÑA, Y SERIES DE DATOS DISPONIBLES RESPECTO AL PERIODO DE ESTUDIO



confederación	sistema	río	estación de aforo	años	% datos
CIC	Sur	Francolí	Montblanc	49	98
		Foix	Castellet i la Gornal	43	86
	Central	Congost	La Garriga	47	94
		Anoià	Jorba	43	86
		Llobregat	Guardiola de Berguedà	41	82
	Norte	Fluvià	Olot	47	94
		Ter	Ripoll	48	96
	Tordera	Sant Celoni	42	84	
CHE		N. Ribagorçana	El Pont de Suert	43	86
		N. Pallaresa	Collegats	40	80
		Segre	Organyà	47	94

gido para generar el dato cincominutal, que es la escala temporal en la que trabajan los limnógrafos automáticos de la Agencia Catalana del Agua desde finales de los años 90. Como en el artículo se trabaja a resolución mensual, la menor frecuencia en la medida del caudal no afecta significativamente un promedio mensual calculado, por defecto, a partir de muchos datos diarios.

- 6) la imposibilidad de consultar los metadatos ha obligado a recurrir a métodos estadísticos para determinar la homogeneidad de los datos. Se ha realizado el test de Thom para comprobar su validez, obteniendo resultados positivos. Además, la ausencia de puntos de ruptura en la evolución de los caudales<sup>5</sup> permitiría afirmar que las modificaciones experimentadas durante la segunda mitad del s. XX son más bien consecuencia de la variabilidad climática, obviando alteraciones significativas de origen antrópico.
- 7) el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) es la técnica utilizada para conocer si existe dependencia de los caudales respecto los índices de teleconexión. Tal y como se trabaja en los estudios que analizan la influencia de los patrones de variabilidad de baja frecuencia con las variables climáticas, se toma en consideración un nivel de confianza del 95%, representado en negrita en las diferentes tablas.
- 8) los valores mensuales de los índices de teleconexión utilizados para el cálculo de las correlaciones se han obtenido de dos bases de datos: el WeMOi proviene del Grupo de Climatología de la UB, mientras que para la NAO se utilizan los valores del Climatic Research Unit (CRU).

#### IV. FACTORES DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Antes de abordar los resultados obtenidos en el trabajo resulta interesante incidir en los factores que influyen en el comportamiento de la escorrentía superficial, con el objetivo de tenerlos en consideración durante el análisis de la evolución estacional de los caudales.

La escorrentía superficial está relacionada a grandes rasgos con factores permanentes, como la litología y la topografía, y otros más variables: usos del suelo, intensidad de la precipitación o la humedad antecedente. Centrándose pues en aquéllos más variables, hay trabajos recientes que cuantifican para ámbitos mediterráneos las variaciones que representan los cambios en los usos del suelo sobre la escorrentía. En el caso de estudio de las ramblas de Poyo y Carraixet entre 1956 y 1998 (López García et al., 2007) se llegan a detectar para los últimos ocho años incrementos en la escorrentía que superan los 30 mm en las áreas afectadas por los incendios forestales, donde la degradación forestal transforma el bosque de coníferas en matorral mediterráneo. Proceso contrario al que se observa para el Pirineo central, donde la expansión de la cobertura forestal por el abandono de áreas cultivadas, es la principal razón del descenso de la escorrentía en cuencas sin extracciones (Begueria, 2003) considerándose el mismo factor en el caso de López-Moreno (2006) por determinar que la intensidad de la precipitación no ha experimentado cambios significativos.

---

<sup>5</sup> Sólo se ha detectado para la Tordera y el Congost durante el 1998, de manera que quedan excluidos los tres últimos años.

A la hora de analizar la importante variabilidad intraanual de la escorrentía, importante en los análisis llevados a cabo en el artículo, debemos recurrir a la intensidad de la precipitación y a la humedad antecedente del suelo. Pese a las grandes diferencias espacio-temporales que presentan ambos elementos, se puede hablar de ciclos interanuales recurrentes. La precipitación presenta en Cataluña un comportamiento local e intenso durante el verano, propios de los fenómenos convectivos predominantes durante el semestre cálido del año (Ceperuelo y Llasat, 2005). Mientras que la precipitación invernal puede definirse como de tipo regional y cuyas intensidades son menores pero más sostenidas temporalmente. Respecto a la humedad antecedente del suelo su evolución es muy variable según las condiciones meteorológicas previas, presentando en general un período favorable en invierno por proceder de la estación más húmeda en buena parte del territorio catalán, y porque en ella se producen los valores mínimos en la evapotranspiración anual.

Los resultados obtenidos en el barranco de San Salvador, Pirineo aragonés (año hidrológico 2005-2006) son un buen ejemplo de la interacción temporal de ambos factores: *«el único periodo con escorrentía elevada en San Salvador ocurrió en febrero y marzo coincidiendo con un largo periodo lluvioso, con precipitaciones continuadas desde mediados de febrero (...) después de abril hubo varias tormentas sin que se produjeran descargas en el San Salvador»* (Serrano-Muela, 2008). La complejidad de algunas cuencas de drenaje con determinadas condiciones de vegetación y elevada capacidad de drenaje de los suelos, como es el caso de este afluente del río Estarrún, simplifica la generación de flujos de escorrentía activos al nivel de la capa freática y al factor humedad antecedente, demostrando como la escorrentía puede no estar directamente relacionada con la precipitación, tanto en lo que se refiere al volumen del evento como a la intensidad. Por lo tanto a la hora de analizar la variabilidad estacional de los caudales en el siguiente punto, debe tenerse especialmente en cuenta la humedad antecedente ya que es uno de los factores determinantes en la variabilidad intraanual de la escorrentía en una misma cuenca.

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Régimen hidrológico, 1951-2000**

El análisis del régimen hidrológico estacional<sup>6</sup> debe permitir conocer la evolución estacional de los ríos analizados y la importancia que ejerce el invierno en el comportamiento hidrológico anual. En la tabla 1 se observa una clara diferencia entre los ríos pirenaicos con influencia nival (Llobregat, Ter, Segre, Noguera Ribagorçana y Noguera Pallaresa) y el resto. Los primeros tienen el invierno como la estación menos caudalosa mientras que en los mediterráneos el mínimo tiene lugar en verano, típico de los ríos estrictamente mediterráneos. El otoño, en cambio, ocupa el tercer lugar dentro de la clasificación hidrológica estacional para todos los ríos exceptuando el Foix.

---

<sup>6</sup> Se clasifican las estaciones en orden decreciente según los promedios para el periodo de estudio: invierno (diciembre a febrero), primavera (marzo a mayo), verano (junio a agosto) y otoño (septiembre a noviembre).

En los ríos mediterráneos este dato se contradice con los máximos pluviométricos que la mayoría de áreas presentan en dicha estación. Se detecta pues un comportamiento hidrológico diferenciado del pluviométrico, aun cuando se traten de cuencas muy reducidas. Se observa pues como los ríos sin regulación nival tienen la primavera y el invierno como las estaciones más caudalosas, con un predominio de la primavera como la más caudalosa a excepción del Congost y la Tordera, donde el máximo acontece en invierno.

Para los ríos con regulación nival las dos estaciones con mayores caudales son la primavera y el verano, a excepción de la Noguera Ribagorçana. Si bien en la lectura del régimen hidrológico estacional no se observan diferencias entre ellos, en este punto se valorará el grado de influencia que el recurso nival ejerce en cada caso, definiendo también los respectivos regímenes fluviales.

Respecto a la irregularidad interanual (coeficiente de irregularidad) que presentan los diferentes caudales se reflejan de nuevo las importantes diferencias que hay entre los ríos pirenaicos y los mediterráneos. Los primeros tienen unos coeficientes moderados o bajos, si bien el Segre es el único que puede definirse propiamente como regular por tener un coeficiente inferior a 3. El resto, Noguera Pallaresa, Noguera Ribagorçana, Ter y Llobregat poseen un régimen transicional presentando ambas Nogueras una mayor regularidad. Los ríos mediterráneos son irregulares por presentar unos coeficientes superiores a 7, destacando la Tordera, Anoia, Foix o Francolí, ya que sobrepasan ampliamente el 20.

#### A) *Coficiente de caudal mensual*

Con el objetivo de comparar la evolución de cada río a lo largo del año se representa para el periodo de referencia el comportamiento estacional, que relaciona el caudal mensual promedio y el caudal modular (caudal promedio anual) eliminándose de esta manera el factor absoluto real entre los diferentes ríos<sup>7</sup>. Su representación (figura 2) permite determinar los regímenes fluviales, siendo en todos los casos regímenes simples por tratarse de cuencas pequeñas con medios climáticos similares en sus cabeceras. De esta manera se aprecian con mayor detalle las diferencias anteriormente manifestadas en el coeficiente de irregularidad entre los ríos pirenaicos de las CIC y de la CHE, y que responden a las características físicas diferenciadas entre las respectivas cuencas.

Las cuencas del Ter y Llobregat presentan una localización fuera del núcleo central del Pirineo, lo que representa una menor aportación y retención nival que se traduce en regímenes pluvionivales, con unos caudales máximos a principios de primavera y un pico secundario en otoño. En cambio los ríos pirenaicos de la CHE presentan regímenes nivopluviales o nival de transición, en el caso de la Noguera Pallaresa, con un máximo muy marcado y próximo al 2,5 y cuya diferencia principal se encuentra en la mínima recuperación que experimenta el caudal por las lluvias de otoño, situándose el coeficiente lejos del caudal modular. Los ríos nivopluviales tienen valores más próximos al módulo durante el mes de noviembre, y un máximo de fusión nival cercano al 2.

<sup>7</sup> El cociente entre los dos da como resultado un índice. Los valores superiores a 1 presentan una anomalía mensual positiva respecto del caudal modular, mostrando un comportamiento contrario aquellos con valores inferiores a la unidad.



Tabla 1  
 CARACTERIZACIÓN DE LOS RÍOS ANALIZADOS, PARA EL PERÍODO 1951-2000

río	cuenca (Km <sup>2</sup> )	módulo (m <sup>3</sup> /s)	coef. irregularidad	régimen estacional
Frankolí	330	0,64	32,85	P-I-O-V
Foix	280	0,27	32,19	P-O-I-V
Congost	146	0,79	15,28	I-P-O-V
Anoia	220	0,41	28,54	P-I-O-V
Llobregat	332	5,09	6,76	P-E-O-I
Fluvià	140	1,50	9,09	P-I-O-V
Ter	740	10,98	5,05	P-E-O-I
Tordera	125	0,90	27,70	I-P-O-V
N. Ribagorçana	558	16,31	3,14	V-P-O-I
N. Pallaresa	1.518	28,78	3,90	P-V-O-I
Segre	2.384	28,56	2,91	P-V-O-I

En los ríos mediterráneos se puede diferenciar entre aquéllos típicamente mediterráneos y los que muestran una mediterraneidad más atenuada. Los primeros tienen un máximo absoluto a finales de otoño y otro secundario durante la primavera. El mínimo estival se prolonga al menos dos meses y es muy acusado, por debajo del 0,5. Cabe destacar ríos como el Anoia o el Fluvià, que presentan un comportamiento más atenuado a lo largo del año con índices que oscilan entre el 1,5 y 0,5, propios de aquellos cauces que se encuentran en ámbitos calcáreos con regulación por sifones (Albentosa, 1989).

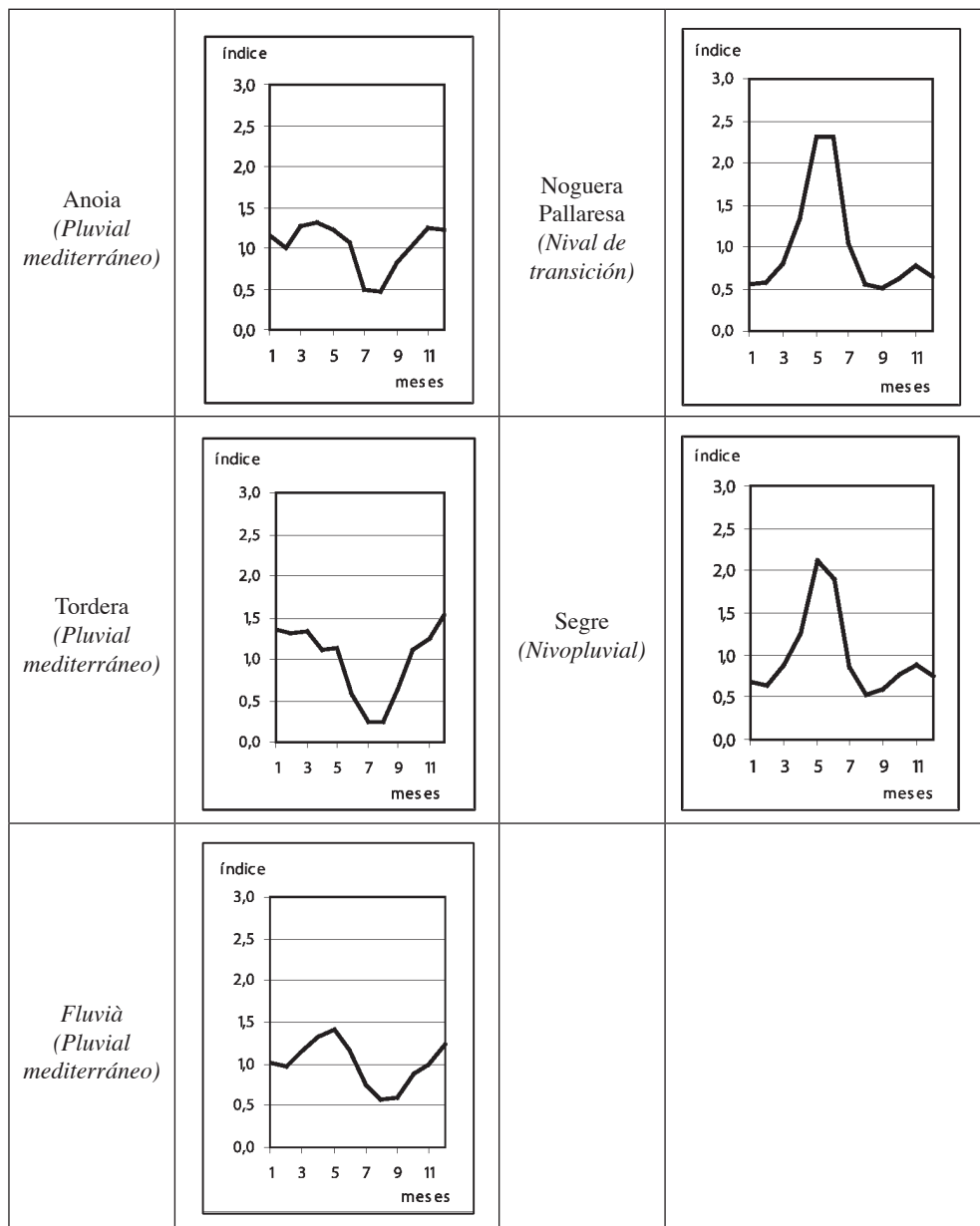
#### B) Estacionalidad de los meses más caudalosos, el caso del cuarto quintil

Para reforzar estadísticamente alguno de los aspectos observados en las gráficas se recorre a la comparativa del cuarto quintil, que corresponde al 20% de los meses más caudalosos entre el período 1951-2000. Centrándose en la diferencia existente entre los ríos de la CHE, la Noguera Pallaresa concentra entre abril y julio el 89% de los cuartos quintiles. Pese a que la concentración de los mayores caudales durante los meses de fusión continúa siendo muy elevada para el Segre y la Noguera Ribagorçana, hay un descenso hasta el 78%. En consecuencia la frecuencia de los meses muy caudalosos durante las precipitaciones otoñales es superior, llegando respectivamente al 15 y 18%. Mientras que para la Noguera Pallaresa la influencia las lluvias en los meses con caudales más elevados es residual, con sólo un 9% de los casos.

En los ríos mediterráneos, en cambio, el porcentaje de octubre a diciembre aumenta notablemente situándose entre el 31 y el 44%. El Ter y el Llobregat presentan un comportamiento parecido a algunos ríos puramente mediterráneos ya que en otoño se concentra el 30% de los meses más caudalosos, confirmando la importancia que la precipitación líquida ejerce en su régimen anual.

Figura 2  
 COMPORTAMIENTO ANUAL DEL COEFICIENTE DE CAUDAL MENSUAL, Y DEFINICIÓN DE LOS REGÍMENES  
 HIDROLÓGICOS, PERÍODO 1951-2000

río (regímenes)	comportamiento mensual	río (regímenes)	comportamiento mensual
Francolí <i>(Pluvial mediterráneo)</i>		Llobregat <i>(Pluvionival)</i>	
Foix <i>(Pluvial mediterráneo)</i>		Ter <i>(Pluvionival)</i>	
Congost <i>(Pluvial mediterráneo)</i>		Noguera Ribagorzana <i>(Nivopluvial)</i>	



Por lo tanto, del análisis del régimen hidrológico y del comportamiento estacional cabe destacar tres aspectos: 1) el promedio elevado que los ríos pirenaicos experimentan en verano no se debe tanto a la mayor precipitación que se da en esta época del año en el sistema

montañoso, sino debido al deshielo de las partes más elevadas del núcleo axial. El análisis de los tres meses estivales sitúa a julio y agosto como a dos de los meses con menor caudal para el período de estudio en estos ríos pese a su elevada pluviosidad estacional. Sólo el elevado promedio de junio permite situar esta estación entre las dos más caudalosas del año; 2) el carácter caudaloso del invierno es evidenciado en todos los ríos mediterráneos. Entra en contradicción con la pluviometría de buena parte de Cataluña ya que se trata de un mínimo estacional secundario, desplazando de este modo al otoño como a estación menor en la generación de caudales pese a ser la más lluviosa a excepción del ámbito pirenaico (Servei Meteorològic de Catalunya, 2000). En consecuencia el tiempo de respuesta pluviométrica/hidrológica cambia estacionalmente de manera notable según las condiciones de humedad en que se encuentra la cuenca de drenaje; y 3) la primavera es la estación más caudalosa en casi todos los ríos. En aquéllos con influencia nival responde a la sincronía precipitación – deshielo, mientras que en los mediterráneos se debe a que la elevada pluviometría estacional tiene lugar en un momento en que la poca profundidad del nivel freático y la humedad antecedente aseguran una escorrentía superficial eficaz.

## 5.2. Correlaciones con los índices de estudio

En este punto se analizan las correlaciones existentes entre los ríos catalanes y el comportamiento de los dos índices durante el año, separando el semestre frío del cálido. Se trata de una diferenciación habitual en los estudios que relacionan la pluviometría y los patrones de variabilidad de baja frecuencia por tener generalmente poca, o nula correlación durante los meses cálidos debido a la estructura desorganizada del campo bórico en la mitad occidental de la cuenca mediterránea.

### A) *WeMO*

Respecto a la *WeMO* y durante el semestre frío, la influencia en el comportamiento hidrológico mensual de los ríos catalanes es muy importante como se aprecia en la tabla 2. Ésta es destacable tanto por el nivel de correlación, que en muchos casos es ampliamente significativo para  $\alpha = 0,01$  como para el número de ríos que afecta. La correlación es importante en la mayoría de casos de octubre a enero, con la presencia de la marcada anomalía de noviembre<sup>8</sup>. Si bien para el febrero y marzo hay un debilitamiento en las correlaciones, sólo significativas para el Fluvià y la Tordera durante el primer mes, son numerosos los ríos que tienen coeficientes próximos al -0,30.

Asimismo estas correlaciones presentan un comportamiento geográfico diferenciado ya que los ríos occidentales (CHE) presentan correlaciones débiles con el patrón mediterráneo<sup>9</sup>,

<sup>8</sup> En el calendario intraanual de la *WeMO* por quincenas, 1951-2000, se detecta un cambio repentino después de marcar el mínimo absoluto anual durante octubre. Según López-Bustins (2007), «el cambio repentino de mediados de noviembre puede derivar del cese de la ciclo génesis propia del Mediterráneo, una vez liberada la energía acumulada en la masa de agua».

<sup>9</sup> Los estudios sobre las correlaciones entre los índices y la precipitación en Cataluña, indican una mayor sensibilidad de la *WeMO* en las áreas litorales y prelitorales, especialmente del nordeste, mientras que la NAO tiene su área de máxima influencia en el oeste, sobre todo en las áreas pirenaicas (López-Bustins, 2007).

siendo únicamente significativas en enero para el Segre y la Noguera Ribagorçana, mientras que para noviembre destaca el carácter positivo y significativo de la correlación para el Segre. La Noguera Pallaresa sin embargo no presenta significación estadística en ningún momento, mientras que las correlaciones son positivas en todos los meses a excepción de enero. Se refleja pues la orientación norte que presenta la cuenca alta de este río, recibiendo como consecuencia precipitaciones en las fases positivas de la WeMO.

Además, dentro de las CIC se observa un incremento de las correlaciones hacia el este. Así los dos ríos más meridionales, el Foix y el Francolí, son los que tiene una menor influencia del patrón mediterráneo. Los ríos del sistema central mejoran las correlaciones respecto de los anteriores pero son los del sistema norte (Fluvià, Ter y Tordera) los que presentan unas correlaciones más significativas en el conjunto del semestre frío.

Tabla 2  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES Y EL WeMOi DURANTE EL SEMESTRE FRÍO

río	<i>Correlación caudales mensuales con WeMOi, semestre frío</i>					
	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo
Francolí	<b>-0,38</b>	0,09	-0,14	<b>-0,38</b>	0,08	-0,26
Foix	<b>-0,35</b>	0,02	0,08	-0,21	-0,01	-0,23
Congost	-0,27	0,13	<b>-0,40</b>	<b>-0,39</b>	-0,26	-0,23
Anoia	<b>-0,48</b>	0,07	<b>-0,33</b>	<b>-0,36</b>	0,01	-0,12
Llobregat	<b>-0,43</b>	0,11	<b>-0,33</b>	<b>-0,59</b>	-0,09	0,03
Fluvià	-0,24	-0,14	<b>-0,51</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,37</b>	-0,18
Ter	<b>-0,41</b>	0,08	<b>-0,44</b>	<b>-0,47</b>	-0,28	-0,17
Tordera	<b>-0,48</b>	0,10	<b>-0,39</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,31</b>	-0,28
N. Ribagorçana	-0,17	0,18	-0,16	<b>-0,41</b>	0,10	0,09
N. Pallaresa	0,04	0,24	0,21	-0,08	0,04	0,03
Segre	-0,24	<b>0,30</b>	-0,23	<b>-0,47</b>	0,04	-0,13

Para el semestre cálido el comportamiento de los caudales no puede asociarse a la evolución del índice mediterráneo ya que no presentan correlaciones significativas, en general los valores son muy bajos y se da una alternancia de signo que denota una ausencia de coherencia y de relación con la configuración isobárica. Sólo el mes de abril se desmarca de la dinámica del período cálido por encontrarse todavía influenciado por la dinámica invernal, presenta correlaciones negativas en su conjunto y llegan a ser estadísticamente significativas para el Ter, la Tordera y el Segre.

## B) NAO

En el patrón atlántico, en cambio, los ríos de las CIC presentan unas correlaciones significativas limitadas a los meses de diciembre y sobre todo enero, cuando todos los cauces

son significativos para  $\alpha = 0,01$  (tabla 3). Los afluentes del Ebro presentan correlaciones más importantes, siendo ampliamente significativas de octubre a enero a excepción del mes de noviembre. La Noguera Pallaresa vuelve a mostrar las diferencias geográficas existentes en su cuenca, mostrando un comportamiento que para el conjunto de los meses fríos no se corresponde a ninguna fase concreta del patrón.

Durante el semestre cálido los patrones de variabilidad de baja frecuencia no influyen en la evolución de los caudales debido a la ausencia de correlaciones significativas. Sólo en abril y mayo hay significancia en algunos casos, mientras que para el resto, tal y como sucedía con la WeMO, no hay ninguna tendencia razonable. Cabe concluir, pues, que el comportamiento de los ríos en Cataluña no es explicado por las diferencias báricas asociadas a alguno de los dos índices durante el semestre cálido.

C) *Correlaciones durante los meses de deshielo*

Viendo la importancia del deshielo en los ríos pirenaicos durante la primavera e inicios de verano, a continuación se calculan las correlaciones que ambos índices presentan durante el trimestre invernal (promedio de diciembre a febrero) con los caudales correspondientes al período de deshielo, considerando los meses de abril a julio porque es cuando el deshielo es más eficaz en la mayoría de cuencas (CHE, 2008). Pese a esto se incluye el mes de marzo en el análisis para facilitar la observación de cualquier tendencia.

Tabla 3  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES Y EL NAOi DURANTE EL SEMESTRE FRÍO

río	<i>Correlación caudales mensuales con NAOi, semestre frío</i>					
	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo
Francolí	-0,15	0,01	-0,05	<b>-0,33</b>	0,14	-0,14
Foix	0,01	-0,24	0,12	<b>-0,33</b>	-0,07	-0,25
Congost	-0,12	-0,24	<b>-0,37</b>	<b>-0,40</b>	0,12	<b>-0,33</b>
Anoia	0,03	-0,26	<b>-0,31</b>	<b>-0,32</b>	-0,03	-0,16
Llobregat	-0,21	0,01	-0,28	<b>-0,55</b>	-0,01	-0,09
Fluvià	-0,06	-0,28	<b>-0,41</b>	<b>-0,38</b>	0,17	-0,14
Ter	-0,07	-0,09	<b>-0,49</b>	<b>-0,45</b>	0,13	-0,10
Tordera	-0,09	-0,22	<b>-0,49</b>	<b>-0,49</b>	0,26	-0,24
N. Ribagorçana	<b>-0,50</b>	-0,01	<b>-0,36</b>	<b>-0,39</b>	0,02	-0,10
N. Pallaresa	<b>-0,47</b>	-0,11	0,04	-0,27	-0,10	-0,10
Segre	<b>-0,41</b>	-0,05	<b>-0,49</b>	<b>-0,44</b>	0,08	-0,04

Las correlaciones de la WeMO son significativas al 95% únicamente para los ríos de las CIC, mostrando las máximas correlaciones durante los dos primeros meses de deshielo, de manera que el comportamiento concuerda con la fusión avanzada que tiene lugar en los ríos

pluvionivales. Para el patrón atlántico las correlaciones se circunscriben a los afluentes del Ebro y también presentan unos valores más elevados durante abril y mayo, si bien en éstos durante los meses de junio y sobre todo julio, las correlaciones no caen bruscamente. Cabe remarcar el comportamiento del Segre ya que después de un debilitamiento de las correlaciones durante mayo y junio presenta su máximo en julio, cuyo valor queda desligado de su tendencia así como del comportamiento observado en el resto de ríos analizados.

Tabla 4  
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES Y EL WeMOi INVERNAL, 1951-2000

río	<i>Correlación caudales mensuales con WeMOi invernal</i>				
	marzo	abril	mayo	junio	julio
Llobregat	-0,11	-0,10	<b>-0,31</b>	-0,21	-0,07
Ter	-0,15	<b>-0,30</b>	<b>-0,30</b>	-0,22	-0,16
N. Ribagorçana	-0,17	-0,12	-0,10	-0,02	-0,03
N. Pallaresa	0,13	-0,01	-0,09	0,07	0,09
Segre	-0,04	-0,09	-0,14	-0,03	-0,01

Para confirmar las correlaciones existentes entre el comportamiento invernal de los patrones y los caudales durante los meses de deshielo, se analiza pormenorizadamente el comportamiento de la Noguera Ribagorçana respecto del índice estacional NAO (figura 3). Como se observa presenta una correlación de -0,24, la cual puede considerarse significativa al 99% por tener un p-valor < 0,01.

Tabla 5  
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES Y EL NAOi INVERNAL, 1951-2000

río	<i>Correlación caudales mensuales con NAOi invernal</i>				
	marzo	abril	mayo	junio	julio
Llobregat	-0,12	-0,16	-0,03	0,04	-0,11
Ter	0,01	-0,28	-0,16	0,10	-0,04
N. Ribagorçana	-0,17	<b>-0,41</b>	<b>-0,33</b>	-0,25	-0,22
N. Pallaresa	0,06	-0,28	-0,08	-0,09	-0,28
Segre	0,01	<b>-0,34</b>	-0,23	-0,24	<b>-0,43</b>

Las conclusiones que pueden desprenderse de su análisis es que el comportamiento pluviométrico invernal influye de manera determinante pese a ser un mínimo pluviométrico anual, de manera que el deshielo de las reservas nivales afecta notablemente los caudales primaverales y de parte del verano. Pese a que la primavera es la segunda estación más lluviosa

en la mayoría de áreas del Pirineo, podría afirmarse que entre abril y julio difícilmente tendrán lugar meses muy caudalosos si el comportamiento de la NAO ha sido positivo para el conjunto del invierno. En el período de estudio sólo se supera en tres ocasiones los 40 m<sup>3</sup>/s con índices invernales positivos. Analizando los valores negativos del índice se observa como sólo en una ocasión se ha bajado de los 10 m<sup>3</sup>/s, lo que implica que las probabilidades de sufrir estiajes sean menores en las fases negativas del índice atlántico.

Finalmente, si se consideran los valores extremos del índice para el período de estudios, el máximo positivo es de 3,02 (1990) mientras que el mínimo se registró en 1996 con -2,67, con un invierno histórico en cuanto a nevadas. En el primer caso los caudales oscilan entre los 5,5 y los 25,2 m<sup>3</sup>/s, registrándose el mínimo absoluto de la serie. Mientras que el húmedo invierno de 1996 generó unos caudales primaverales claramente superiores ya que oscilaron entre los 22,4 y los 40,7 m<sup>3</sup>/s.

### 5.3. Relación entre los índices de las teleconexiones y los caudales máximos mensuales

Se ha analizado también las aportaciones hidrológicas más elevadas, determinadas por el cuarto quintil. Éstos tienen una importancia fundamental sobre la disponibilidad de recursos hídricos, por encima de aquellas crecidas propias de las precipitaciones convectivas que generan unos caudales elevados pero poco sostenidos temporalmente. Estas situaciones a nivel individual tienen en general poca influencia sobre el promedio mensual, exceptuando aquellos episodios muy extremos o las situaciones en que se suceden varios episodios durante el transcurso de un mes. Se pretende pues conocer su distribución a lo largo del año, diferenciando los dos semestres tal y como se ha hecho durante el transcurso del artículo (figura 4).

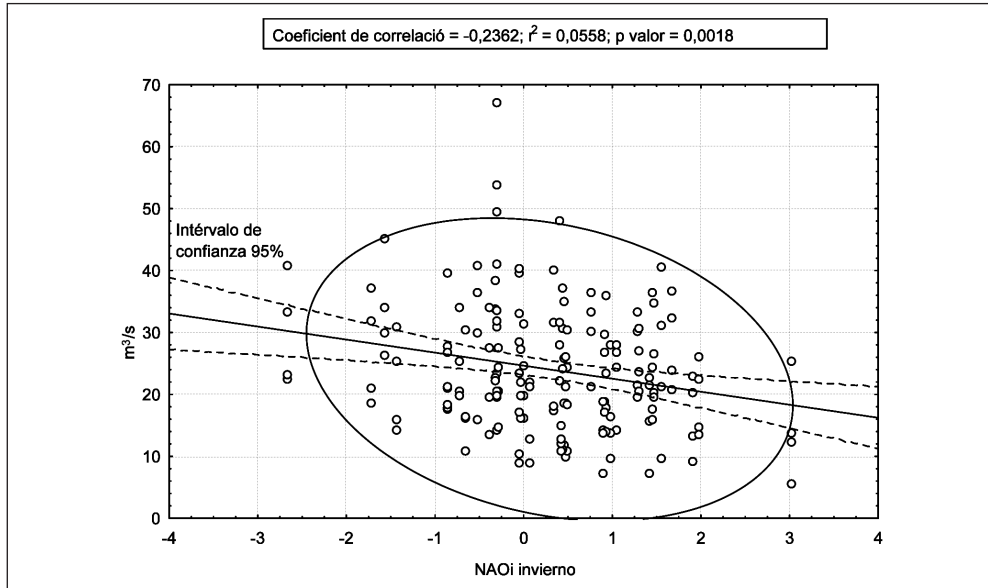
Las máximas concentraciones de los meses caudalosos se producen durante la mitad fría del año en la mayoría de cauces. El Congost, por ejemplo, presenta la mayor concentración invernal con el 71% de los meses más caudalosos en el semestre frío. Sólo en aquellos ríos con influencia nival los caudales mensuales más elevados de la serie tienen lugar mayoritariamente durante el semestre cálido, evidenciándose de nuevo en los porcentajes las diferencias existentes entre los diferentes regímenes con influencia nival. En el régimen nival de transición, Noguera Pallaresa, se concentran el 90% de los cuartos quintiles entre abril y septiembre. Esta influencia disminuye en los nivopluviales aunque el descenso más marcado se produce en los pluvionivales, ya que en los ríos Ter y Llobregat las crecidas del semestre cálido se sitúan poco por encima de las del semestre frío, denotando la importancia de las lluvias de otoño en la generación de los caudales más elevados para la segunda mitad del s. XX.

Centrándose en un caso específico, en la figura 5 se ve el grado de correlación con el WeMOi durante los meses del semestre frío para el Ter, con la gran importancia socioeconómica de los recursos superficiales de su cuenca alta y media. Con un coeficiente de correlación significativo de -0,26 se demuestra como los caudales se encuentran marcadamente condicionados por el comportamiento de este patrón mediterráneo entre octubre y marzo. Con una WeMO mensual positiva durante los últimos 50 años, sólo en cuatro ocasiones se han superado los 25 m<sup>3</sup>/s, con un único episodio con WeMOi > 0,5.



Figura 3

CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DE DESHIELO Y EL NAOi INVERNAL, NOGUERA RIBAGORZANA, 1951-2000



A pesar de que los valores positivos de la WeMO no excluyen al 100% la probabilidad de crecidas a escala temporal mensual, ni a la vez un índice negativo se asocia a un mes muy caudaloso, las diferencias entre las fases positivas y negativas del patrón mediterráneo se aprecian en la gráfica.

Figura 4

DISTRIBUCIÓN ANUAL POR SEMESTRES DEL 20% DE CAUDALES MÁS ELEVADOS DEL PERÍODO 1951-2000

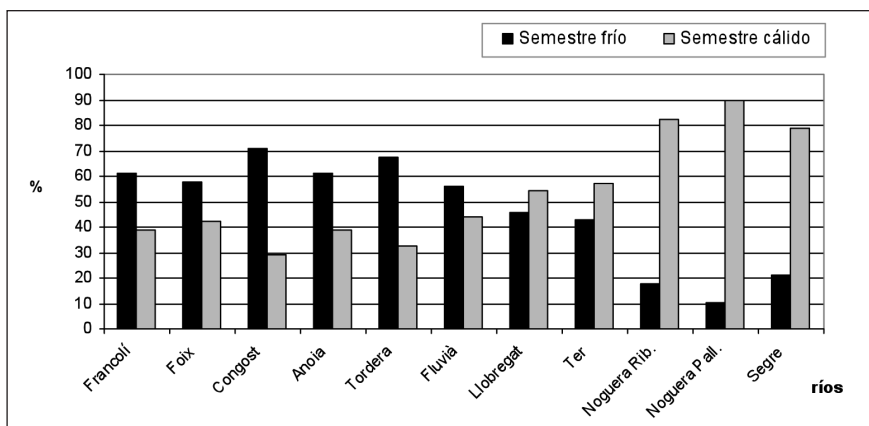
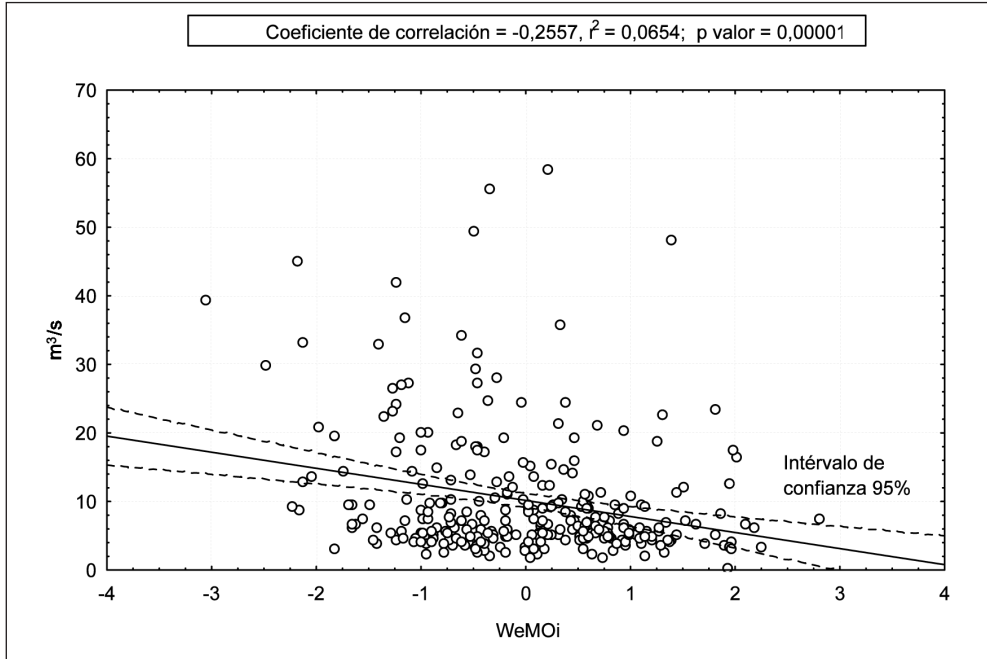


Figura 5  
DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS CAUDALES MENSUALES DURANTE EL SEMESTRE FRÍO, RÍO TER 1951-2000



## VI. CONCLUSIONES

Respondiendo al primero de los objetivos planteados en dicha investigación, el análisis sobre los respectivos regímenes fluviales pone de manifiesto el importante peso que ejerce el invierno en los caudales anuales para el período de estudio. Para los ríos pirenaicos se confirma la importancia del factor nieve en los caudales aún tratándose de un mínimo pluviométrico anual. La evolución del manto nival es un elemento determinante en el comportamiento de los caudales entre los meses de abril y junio tal y como apuntan las correlaciones obtenidas respecto los índices invernales de la NAO y la WeMO. Por otro lado, la asincronía observada entre la precipitación y el caudal en los ríos mediterráneos es explicada por la litología, con una respuesta de los caudales superficiales distinta entre aquellos ámbitos calcáreos y no calcáreos, y especialmente por la importancia que toma la humedad antecedente del suelo en la generación de escorrentía en unos sectores donde la evapotranspiración es muy elevada durante la mitad cálida del año.

Respecto al segundo objetivo, focalizado en una primera aproximación sobre el grado de correlación entre los caudales y los índices WeMO y NAO a resolución mensual, cabe señalar en primera instancia como los caudales del semestre frío para la segunda mitad del s.XX dependen, en mayor o menor medida, del comportamiento de los patrones de variabilidad de baja frecuencia. Además, las correlaciones obtenidas reafirman hidrológicamente la diferen-

ciación regional existente en Cataluña entre la influencia de la NAO, con correlaciones más elevadas en las áreas occidentales y la WeMO, con una influencia más intensa y prolongada en los sectores orientales. Estas correlaciones invernales pueden considerarse elevadas por ser en varios meses ampliamente significativas al 95%, e importantes territorialmente ya que afectan durante el invierno a todos los ríos a excepción de la Noguera Pallaresa, debido a la orientación norte de parte de su cabecera. Pese al dominio regional que presentan ambos patrones sus niveles de influencia no deben tratarse como excluyentes ya que situaciones negativas pueden generar crecidas destacadas más allá de las áreas de predominio, si bien en general serán de menor magnitud y recurrencia que las que se sucedan en las zonas con correlaciones más significativas.

El hecho pues de que las correlaciones obtenidas durante el semestre frío coincidan con uno de los principales períodos en la generación de los caudales anuales lo convierten en un instrumento potencialmente útil. Para ello debe profundizarse en el estudio de las correlaciones aquí presentadas, con la aplicación de métodos estadísticos que permitan un análisis más completo sobre esta relación, mejorando por ejemplo la explicación sobre el comportamiento de los caudales máximos durante la mitad fría del año. Una segunda línea de análisis podría surgir de la relación entre los caudales diarios y los índices de teleconexión, cuya aplicación diaria en las teleconexiones ha sido desarrollada con éxito en algunos de los estudios citados sobre la WeMO y la pluviometría de la fachada mediterránea.

Esta propuesta de investigación debería ir relacionada con las mejoras que se están llevando a cabo en el pronóstico de los índices de teleconexión, a fin y efecto de consolidar los índices como un instrumento útil en la predicción de los caudales a medio y largo plazo. Dichas mejoras deben ser una de las estrategias para progresar en un consumo racional de los recursos superficiales, en un momento histórico donde sigue incrementándose la demanda (aumento de la actividad turística, importante crecimiento demográfico, o la incorporación en Cataluña de más de 70.000 ha irrigadas por el canal Segarra-Garrigues) a pesar de que su relación con la oferta se sitúe en fases de estrés o de déficit hídrico en varias regiones españolas.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Xavier Úbeda, Marc Oliva, Jordi Nofre y Joaquim Farguell, por haber colaborado o apoyado personalmente esta investigación. Y finalmente a Javier Martín-Vide, sin el cual no hubiera surgido esta línea de análisis.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2005): *Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya*. Generalitat de Catalunya. [www.gencat.cat/aca](http://www.gencat.cat/aca)
- ALBENTOSA, L.M. (1989): «El clima y las aguas». Madrid, Síntesis.
- ARROJO, A. (1994): «Economía ecológica del agua: argumentos frente al anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional». IV Jornada de Economía Crítica. Área: Medio Ambiente y Territorio, Valencia.

- AZORÍN-MOLINA, C. y LÓPEZ-BUSTINS, J.A. (2004): «Catálogo sinóptico manual y causas atmosféricas de la precipitación en la provincia de Alicante». *Boletín de la AGE*, nº 38, pp. 279-310.
- BARRERA, A.; LLASAT, M.C. y BARRIENDOS, M. (2006): «Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 505-518.
- BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I.; GÓMEZ-VILLAR, A.; RUBIO, V.; LANARENAULT, N. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2003): «Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees». *Ambio* 32: 283-286.
- BURN, D. y HAG ELNUR, M. (2002): «Detection of hydrological trends and variability», *Journal of Hydrology* 255, pp. 107-122.
- BURN, D. (2008): «Climatic influences on streamflow timing in the headwaters of the Mackenzie River Basin». *Journal of Hydrology* 352, pp. 225-238.
- CEPERUELO, M. y LLASAT, M.C. (2004): «La precipitación convectiva en las Cuencas Internas de Catalunya». *Revista del Aficionado de la Meteorología*.
- CEPERUELO, M. y LLASAT, M.C. (2005): «Regionalización pluviométrica de las Cuencas Internas de Catalunya en función de la precipitación convectiva». *Revista del Aficionado de la Meteorología*.
- CHIEW, F.; PIECHOTA, T.C.; DRACUP, J.A. y McMAHON, T.A. (1998): «El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting». *Journal of Hydrology* 204, pp. 138-149.
- DEL MORAL ITUARTE, L. (1996): «Sequía y crisis de sostenibilidad del modelo de gestión hidráulica». *Clima y agua: la gestión de un recurso*. pp. 179-187.
- ESPEJO, F. et al. (2007): «La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo». *Boletín de la AGE* nº 48, pp 129-154.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA, «Atlas Climàtic de Catalunya. Període 1961-1990». Servei Meteorològic de Catalunya. [www.meteo.cat](http://www.meteo.cat)
- KIM, T, et al. (2006): «Quantification of linkages between large-scale climatic patterns and precipitation in the Colorado River Basin». *Journal of hydrology* 321, pp. 173-186.
- LÓPEZ-BUSTINS, J.A. (2004): *Análisis de la precipitación diaria en el cuadrante noroccidental del Mediterráneo: Clasificación de situaciones sinópticas, aplicación de índices de variabilidad y análisis de factores externos –Resumen–* DEA en Geografía Física, Universidad de Barcelona.
- LÓPEZ-BUSTINS, J.A. (2007): *L'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental i la Precipitació als Països Catalans*. Tesis doctoral, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat de Barcelona, 400 p.
- LÓPEZ GARCÍA, M.J.; CAMARASA BELMONTE, A.M<sup>a</sup>. y MATEU BELLÉS, J.F. (2007): «Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998)». *Boletín de la AGE*, nº 44, pp. 69-94.
- LÓPEZ MORENO, et al. (2006): «Trends in high flows in the Central Spanish Pyrenees: Response to climatic factors or to land use change». *Hydrological Sciences Journal* 51: 1039-1050.

- LÓPEZ ONTIVEROS, A. (1995) «Situación y planificación de las obras públicas en España según los Congresos Nacionales de Riegos (1913-1934)» en *Planificación Hidráulica en España* (GIL OLCINA y MORALES GIL) Alicante CAM, pp. 137-180.
- MARTÍN-VIDE, J. (2002): «Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España». *El Agua y el clima, publicaciones de la AEC*, serie A, nº 3, Mallorca, pp. 35-42.
- MARTÍN-VIDE, J. y LÓPEZ-BUSTINS, J.A. (2006): «The Western Mediterranean Oscillation and the rainfall in the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, 26 (11), pp. 1455-1475.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1988): «La nieve en el Pirineo español: estudio de los recursos procedentes de la fusión nival de alta montaña». Madrid.
- MUÑOZ DÍAZ, D. y RODRIGO, F.S. (2006): «Seasonal rainfall variations in Spain (1912-2000) and their links to atmospheric circulation». *Atmospheric Research*, 81, pp. 94-110.
- PAPELL, S. y PEÑA-GARCÍA, J.L. (1996): «Balances hídricos en España». *Clima y agua: la gestión de un recurso*. pp. 189-197.
- PÉREZ-DÍAZ, V. et al. (1996): «Política y economía del agua en España». Ed. Círculo de Empresarios, Madrid.
- PLANA-CASTELLVÍ, J.A. (2004): «El consumo de agua en las Cuencas Internas de Cataluña». *Boletín de la AGE*, nº 37, pp. 205-222.
- SEGURA-BELTRÁN, F. y CAMARASA-BELMONTE, A. (1996): «Balances hídricos de crecidas en ramblas mediterráneas: pérdidas hídricas». *Clima y agua: la gestión de un recurso*. pp. 235-247.
- SERRANO-MUELA, M<sup>ª</sup>P.; LANA-RENAULT, N.; NADAL-ROMERO, E.; REGÜÉS, D.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C. y GARCÍA-RUIZ, J.M<sup>ª</sup>. (2008): «Forests and Their Hydrological Effects in Mediterranean Mountains: The Case of the Central Spanish Pyrenees». *International Mountain Society and United Nations University*.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (2000): «Atlas Climàtic de Catalunya». Generalitat de Catalunya. [www.meteo.cat](http://www.meteo.cat).
- WAYLEN, P. y CAVIEDES, C. (1990): «Annual and seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua river basin, Chile». *Journal of Hydrology*, 120, pp. 79-102.
- [www.chebro.es](http://www.chebro.es): *Evolución de la reserva de nieve en las subcuencas pirenaicas de la cuenca del Ebro*. 20-III-09.
- [www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/nao.dat](http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/nao.dat): *Valores NAOi a resolución mensual para el período de estudio 1951-2000*. 20-V-08.
- [www.ub.edu/gc/menu/htm](http://www.ub.edu/gc/menu/htm): *Valores WeMOi a resolución mensual para el período de estudio 1951-2000*. 12-V-08.

