

## VARIABILIDAD DE LOS REGÍMENES DE TIEMPO QUE AFECTAN A LA PENÍNSULA IBÉRICA

David GONZÁLEZ BARTOLOMÉ <sup>(1)</sup>, Concepción RODRÍGUEZ PUEBLA <sup>(2)</sup>

*Departamento de Física General y de la Atmósfera, Universidad de Salamanca, España*

<sup>(1)</sup>davidgonbar@hotmail.com, <sup>(2)</sup>concha@usal.es

### RESUMEN

La influencia de la circulación atmosférica en el clima de la Península Ibérica puede ser analizada en función de los tipos de tiempo. El objetivo de este trabajo es describir la variabilidad de los regímenes de tiempo que influyen en el clima de la PI. Para ello el número de tipos de tiempo de la clasificación de Font Tullot se reduce en regímenes de tiempo con la condición de que estos regímenes mantengan una proporción elevada de la varianza de la circulación atmosférica asociada a los tipos de tiempo. El método que permite esta reducción de la dimensión del campo de circulación es la regresión de mínimos cuadrados parciales. Además, con este método se obtienen las series temporales que representan la evolución de los regímenes de tiempo.

Palabras clave: Península Ibérica, regímenes de tiempo, regresión de mínimos cuadrados parciales.

### ABSTRACT

Climate over the Iberian Peninsula (IP) can be analyzed by considering its relationships with Atmospheric Circulation and particularly with weather types. The main objective of this study is to describe the time series of the weather regimes affecting climate over the IP. First, a reduction of the number of weather types of Font Tullot classification is performed as condition of accounting for a high percentage of the atmospheric circulation variance associated with the weather types. Partial Least square regression is the method that allows us this dimension reduction of the circulation field. It also provides the time series characterizing the evolution of weather regimes.

Palabras clave: Iberian Peninsula, Partial Least Square Regression, weather regimes, weather types.

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es identificar regímenes de circulación que sean estables y que a su vez estén relacionados con la clasificación de tipos de tiempo establecida por Font Tullot.

La clasificación de tipos de tiempo ha tenido una larga historia en la meteorología y la

climatología (Michelangeli et al., 1995) (Esteban et al., 2006) (Casado y Pastor, 2013) (Martín Vide, 2005). Desde los inicios de la meteorología, las clasificaciones fueron principalmente usadas como herramientas en las predicciones meteorológicas. Como ejemplo de ello, en 1983, Inocencio Font Tullot estableció una clasificación de 23 tipos de tiempo para la Península Ibérica publicada en su obra *Climatología de España y Portugal* (Font Tullot, 2000). Puesto que los avances tecnológicos en aquella época eran de mucha menor ayuda que los actuales, Font se basó en su propia experiencia como predictor para la identificación de estas situaciones, hecho por el que podemos calificar su clasificación como subjetiva. No obstante, gracias a las herramientas informáticas de las que disponemos hoy en día, podemos afirmar que, en los últimos años, se ha producido un importante giro en la formulación de clasificaciones, cambiando como base de estos trabajos la meteorología predictiva por la climatología estadística (Huth et al., 2008).

Los regímenes de tiempo se refieren a un número reducido de configuraciones del flujo atmosférico, afirmación que considera que la circulación atmosférica puede caracterizarse por estados recurrentes y estacionarios. El análisis de los regímenes de circulación es una de las estrategias principales para la evaluación del pasado, presente y futuro de climas simulados. Debido a que las clasificaciones subjetivas siguen siendo muy usadas y conocidas hoy en día y a que sería prácticamente imposible analizar de forma manual los datos diarios a partir de estos criterios subjetivos, la objetivización de estos catálogos se presenta como una solución práctica y lógica. Ahora bien, debemos entender esta objetivización no como una reproducción exacta, sino como la creación de una nueva clasificación que sustituya de forma aceptable a la original (Huth et al., 2008).

Siguiendo esta línea, el objetivo de nuestro estudio será establecer una nueva clasificación más reducida que conecte los estados físicos de la atmósfera identificados por Font con la varianza de los datos, simplificando con ello el estudio dinámico de la atmósfera. Para ello haremos uso de la metodología Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS) y de los datos de presión al nivel del mar. No podemos olvidarnos tampoco de que, mediante este método, además de la ya nombrada reducción, conseguiremos una parametrización de nuestra nueva clasificación de regímenes de tiempo que afectan a la Península. De este modo se abrirán las puertas a un estudio ya no solo espacial, sino también temporal.

Con el análisis de las series temporales asociadas a cada régimen de tiempo obtendremos importantes resultados, como la tendencia o las fluctuaciones frecuenciales que éstos han sufrido en los últimos años. A través de la observación de las anomalías asociadas a dichas series podremos apreciar si ha existido un cambio climático o no (Barry y Chorley, 1990). A su vez, podremos relacionar estos cambios y sus extremos con diversos episodios anómalos ocurridos, estudiando así el impacto de estos regímenes en innumerables aspectos de nuestra vida cotidiana.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. En el apartado 2 explicamos el método usado, así como los datos utilizados. En la sección 3 presentamos los resultados obtenidos, analizando detenidamente dos de los regímenes alcanzados y presentando de forma más breve el resto de casos. El apartado 4 muestra las conclusiones más importantes de esta primera aproximación al problema.

## 2. METODOLOGÍA Y DATOS

Los métodos para extraer tipos y/o regímenes de tiempo se basan, principalmente, en buscar estados de la atmósfera asociados. De este modo se usan numerosos y diversos métodos, como algoritmos de conglomerados, funciones de máxima probabilidad, análisis de componentes principales, mapas autoorganizados, etc. En este estudio proponemos la aplicación del método PLS (*Partial Least Square regression*) porque nos permite reducir la dimensión de todos los estados atmosféricos disponibles en función de estados atmosféricos previamente identificados.

El método PLS utiliza como datos de entrada dos matrices: la matriz  $X$  (predictor) y la matriz  $Y$  (predictando). La técnica trata de modelizar la relación existente entre estos dos conjuntos de variables observadas mediante unas nuevas variables ficticias (no cuantificadas experimentalmente) denominadas variables latentes. Estas nuevas variables se obtienen por combinación lineal de las variables experimentales, buscando la máxima variabilidad en la matriz  $X$  y la mayor correlación con la matriz  $Y$ , eliminando a su vez información redundante (Abdi Hervé, 2003).

Es decir, PLS propone una descomposición de las matrices  $X$  (predictor) e  $Y$  (predictando) de la forma:

$$\begin{aligned} X &= TP^T + E \\ Y &= UQ^T + F \end{aligned}$$

donde  $X$  es una matriz  $n \times N$  y la matriz  $Y$  es de dimensión  $n \times M$ .  $T$  y  $U$  son matrices de dimensión  $n \times p$  y que son denominadas matrices score o de puntuación, creadas con el fin de reducir la dimensionalidad del problema y maximizar la covarianza entre los vectores que las forman. A su vez,  $P$  y  $Q$  (de dimensión  $N \times p$  y  $M \times p$  respectivamente) son las matrices de carga o loadings, las cuales actúan como coeficientes de regresión entre las matrices  $X$  e  $Y$  junto con sus respectivos vectores de puntuación. Por último,  $E$  y  $F$  son los términos de error, los cuales asumiremos independientes y distribuidos de forma idéntica entre ambas variables, no modificando por tanto el objetivo del estudio (Rosipal y Krämer, 2006)

En nuestro problema, las observaciones, predictor  $X$ , serán los datos diarios de presión a nivel del mar ( $N$  serán los días del periodo analizado y  $n$  el número de puntos de la malla que engloba la región a estudiar). Por su parte, el predictando  $Y$  será el conjunto de situaciones sinópticas que Font utiliza para identificar cada uno de los 23 tipos de tiempo de su clasificación ( $M$  tendrá así el valor 23 y cada columna representará cada uno de los tipos de tiempo de Font). De la matriz predictor se extraen las variables latentes o independientes que contienen la máxima información asociada a la variable dependiente. Obtendremos así dos importantes resultados. Primero, los vectores de puntuación o scores, que nos proporcionarán unos regímenes de tiempo modelizados a partir de los datos de presión a nivel del mar y los tipos de tiempo de Font, tratando de explicar la mayor varianza posible de ambas fuentes de datos. En segundo lugar, los vectores de carga o loadings, que nos indicarán la evolución de cada uno de estos regímenes para el periodo de tiempo analizado. El valor  $p$  se corresponderá con el número de regímenes que elijamos.

Para todo ello hemos trabajado con dos fuentes distintas de datos del reanálisis: NCEP/NCAR

de la agencia norteamericana NOAA/OAR/ESRL (NNR) (Kalnay et al., 1996) PSD y ERA-Interim del centro europeo de predicción (Dee et al., 2011). Tras comprobar previamente la concordancia de los datos de partida, decidimos continuar nuestro estudio utilizando los datos NNR. Así, los resultados a continuación expuestos corresponden a los datos NNR para el período comprendido entre los años 1970 y 2012.

### 3. RESULTADOS

A la hora de identificar las trayectorias preferentes de la circulación atmosférica nos encontramos con el problema del número de regímenes que hay que retener. Se trata de dilucidar entre el compromiso de que se describa un porcentaje elevado de la varianza de los datos y de que las configuraciones elegidas tengan significado físico. En esta primera aproximación hemos decidido considerar la varianza explicada y por ello se analizarán 7 regímenes que describen un 78% de la varianza de los datos diarios de presión a nivel del mar. Identificaremos cada uno de ellos con una situación sinóptica, a la vez que diferenciaremos entre la fase positiva (la situación mostrada en cada imagen) y la negativa (con los centros de anomalías de presión invertidos)

Por su parte, para el análisis temporal, fijaremos dos intensidades umbrales (positiva y negativa), calificando los días como días de régimen positivo, si se encuentran por encima del límite positivo, y días de régimen negativo, si se sitúan por debajo. En base al recuento de estos días de fase positiva o negativa representaremos el ciclo anual y las series temporales de ambos; con lo cuál se proporciona la época del año en la que el régimen estudiado aparece de forma más común y la evolución temporal de la frecuencia de aparición

#### 3.1. Régimen 1

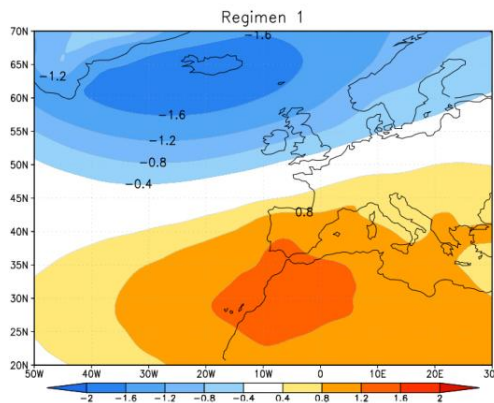


Fig. 1: Primer régimen: anomalías estandarizadas de presión a nivel del mar (fase positiva)

El primero de todos los regímenes describe un 25.47% de la varianza de los datos diarios de presión a nivel del mar y un 35.95% de los datos referentes a los tipos de tiempo de Font.

Para la fase positiva, observamos un dipolo de presiones en la dirección Norte-Sur, con un centro negativo sobre la isla de Islandia y otro positivo sobre la costa noroccidental africana. Se trata así de una situación que puede recordarnos en gran medida al mapa de presiones

asociado a la fase positiva de la NAO. Como podemos apreciar en la figura 2, su frecuencia de aparición es nula en los meses veraniegos, mientras que presenta valores muy altos en los meses fríos (en su máximo, en el mes de enero, será superior a 0.5)

Observando la serie temporal correspondiente (figura 2), podríamos aventurarnos e intuir cierto comportamiento ondulatorio: los 6 valores más altos se recogen entre 1986 y 1994, mientras que los valores registrados en los 15 primeros años representados parecen asemejarse más a los alcanzados entre finales de la década de 1990 y comienzos del siglo XXI (exceptuando los valores mínimos extremos). Los máximos los encontramos para los años 1986, 1990 y 1994, y entre los mínimos destacan los alcanzados en 1996 y 2010. Analizando este último, podemos relacionarlo con el anómalo invierno de 2009-2010, el cual fue muy húmedo en la Península (se registraron el doble de precipitaciones del valor medio) y extremadamente frío en el norte y centro de Europa.

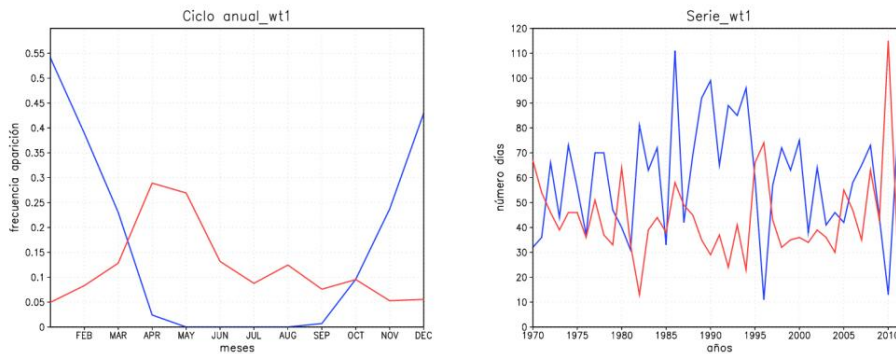


Fig. 2: Primer régimen: gráficas del ciclo anual y serie temporal (la línea azul representa la fase positiva y la roja la negativa)

Por su parte, la fase negativa se presentará más frecuentemente durante la primavera, siendo su frecuencia de aparición máxima en los meses de abril y mayo. La serie temporal, cuyas oscilaciones son menores que para la fase positiva, presenta su valor mínimo en 1982 y el máximo, muy destacado, en 2010 (año del que ya previamente hablamos).

### 3.2. Régimen 2

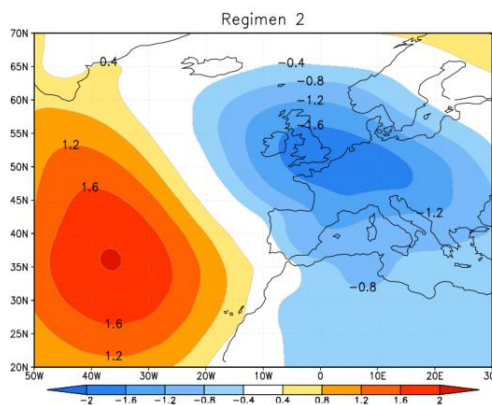


Fig. 3: Segundo régimen: anomalías estandarizadas de presión a nivel del mar (fase positiva)

Este régimen explicará el 13,72% de la varianza de los datos diarios de presión a nivel del mar y un 13,26% de los datos de presión a nivel del mar relativos a la clasificación de tipos de tiempo de Font.

Nos encontramos ante un nuevo dipolo, ahora en la dirección Suroeste-Noreste, con un centro positivo en el Atlántico (35° Norte, 35° Oeste) y otro negativo que se extiende desde las islas británicas hasta la Europa central para la fase positiva. Esta configuración del mapa barométrico favorecerá el flujo de masas frías y marítimas de origen polar hacia la Península y puede asociarse con la situación denominada “Atlantic Ridge” e identificada por (Ferrati, 2014). La fase negativa de este régimen se asemejará a la situación dada por el índice de teleconexión del Atlántico Este y Oeste de Rusia. En su libro, Font hace igualmente referencia a una situación similar bajo el nombre de “anticiclón centroeuropeo”, la cual describe como de claro carácter invernal y en la que prevalecerá en superficie un intenso flujo del Sur. (Font Tullo, 2000)

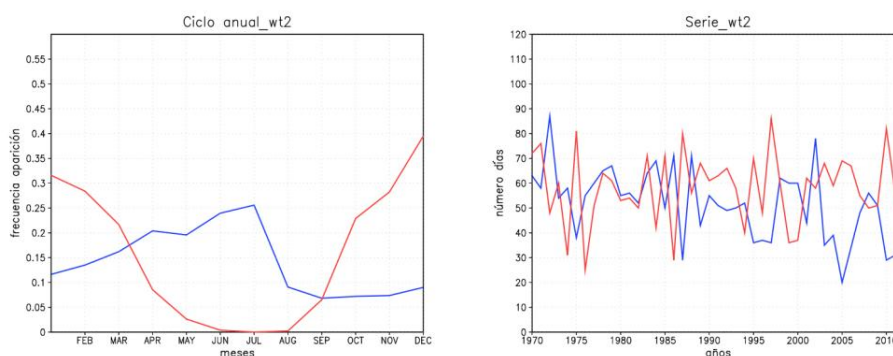


Fig. 4: Segundo régimen: gráficas del ciclo anual y serie temporal (la línea azul representa la fase positiva y la roja la negativa)

Observando el ciclo anual (figura 4) vemos que la fase positiva se presenta con mayor frecuencia en los meses de junio y julio, siendo más inusual a partir de agosto y en los meses otoñales. Fijándonos en la serie temporal advertimos una tendencia decreciente para el periodo representado, registrándose los valores máximos en 1972 y 2002 y los mínimos en 1975, 1987 y 2005.

Esta situación en fase negativa alcanzará su mayor frecuencia en diciembre (hecho que coincide con el apunte previamente señalado por Font), mientras que su aparición será insólita durante los meses estivales. La tendencia de la serie temporal permanecerá más o menos estable en este caso. Como valores máximos destacan los alcanzados en 1975, 1987, 1997 y 2010. Entre los mínimos, los de 1976, 1986 y 1999. Llama en especial nuestra atención la posibilidad de un comportamiento cuasi-decadal, ya que valores máximos y mínimos se suceden con periodos próximos a los 10 años.

### 3.3. Resumen de los regímenes 3 a 7

A continuación, presentamos en la figura 5 las configuraciones espaciales de presión a nivel

del mar para las fases positivas del resto de regímenes de tiempo obtenidos. Además, en la tabla 1 señalamos las características más importantes de éstos regímenes y los dos ya analizados de forma detenida previamente. La simbología para los meses es: enero (E), febrero (F), marzo (M), abril (A), mayo (My), junio (J), julio (Jl), agosto (Ag), septiembre (S), octubre (O), noviembre (N) y diciembre (D).

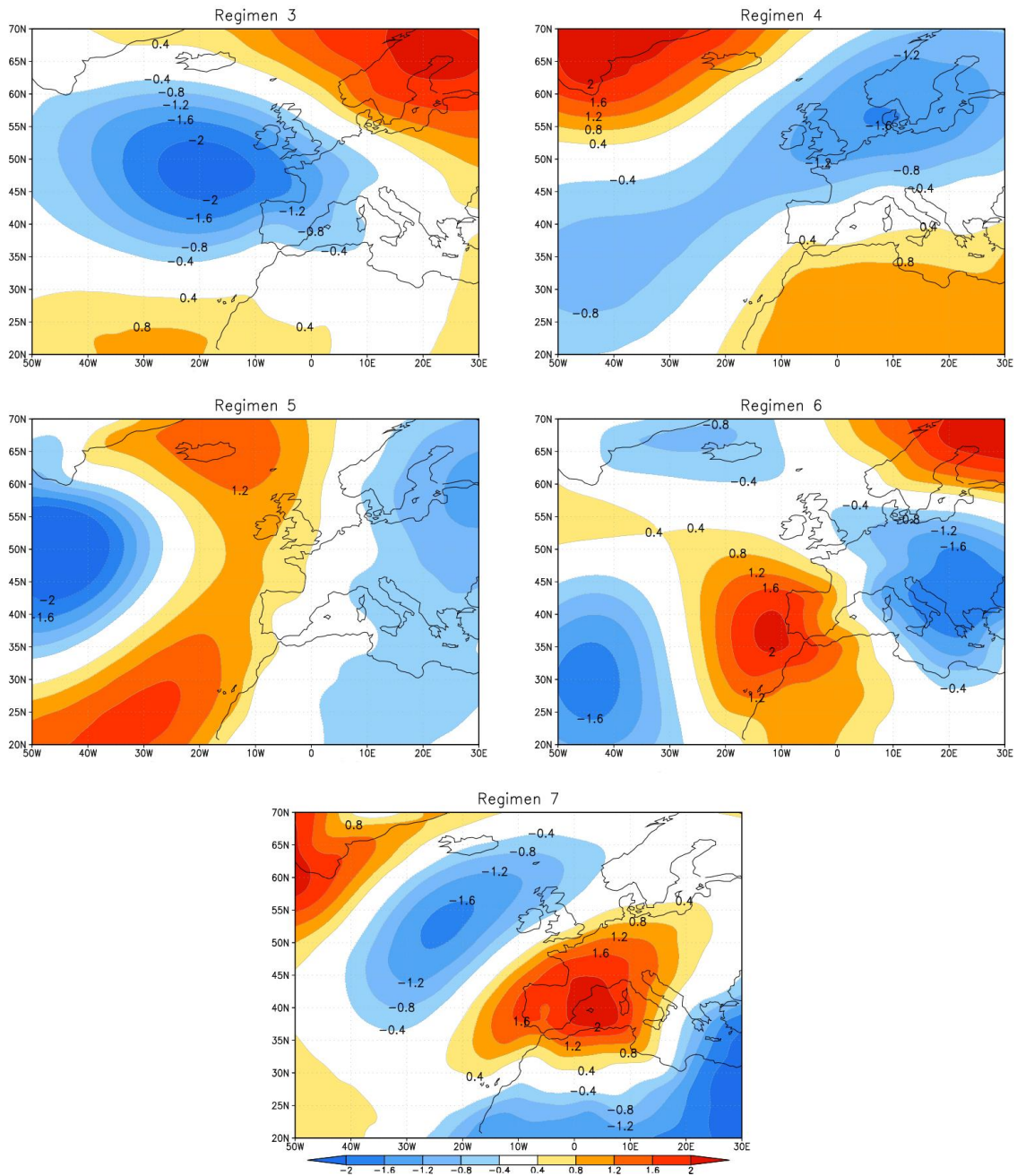


Fig. 5: Anomalías estandarizadas de presión a nivel del mar del tercer al séptimo régimen.

Número de régimen de tiempo	Varianza que describe (%)		Frecuencia estacional	
	Predíctor	Predictando	Fase positiva	Fase negativa
1	25.5	35.9	D, E y F	A, My
2	13.7	13.3	J, Jl	D, E y F
3	11.8	13.3	D, E y F	M, N y D
4	12.3	9	N y D	M, Jl y Ag
5	6	6	E y F	O y N
6	5	6	N, D, E y F	F y O
7	4	3	J, Jl y A	E, N y D

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SIETE REGÍMENES DE TIEMPO.

En este estudio preliminar establecemos varias asociaciones, como la del régimen 3 con el patrón Este del Atlántico y el tipo de tiempo “depresión en el Golfo de Vizcaya” de Font. La fase negativa del régimen 4 se puede relacionar con la situación de bloqueo (BL) identificada por Ferranti et al. (2014) y el anticiclón Británico Escandinavo de la clasificación de Font. La fase negativa del 6 se asemeja en gran medida al tipo de tiempo “depresión en el Golfo de Cádiz” de Font, con el cual también coincide en su frecuencia estacional (con máximos muy suaves y un mínimo para los meses de julio y agosto). Por su parte, el régimen 7 incluye estructuras de los tipos de tiempo depresión del Golfo de Génova y Balear de la clasificación de Font.

#### 4. CONCLUSIONES

Con este estudio hemos pretendido disponer de una herramienta que permita cuantificar los tipos de tiempo para facilitar los estudios de las respuestas climáticas regionales a la dinámica atmosférica. Este trabajo se trata de una primera aproximación sobre la evolución de los regímenes de tiempo que afectan a la Península basados en las situaciones definidas por Font Tullot.

Hemos aplicado una metodología novedosa dentro de las ciencias atmosféricas como es la regresión por mínimos cuadrados parciales. Dicha metodología combina procedimientos estadísticos de correlaciones canónicas y regresión paso a paso; técnicas estadísticas mediante las cuales se consigue reducir la dimensionalidad de los datos y se extraen las señales de variabilidad con significación física. Es decir, se conjuntan así métodos observacionales relevantes con toda la información sinóptica disponible.

En este estudio preliminar proponemos 7 regímenes para describir un porcentaje superior al 75% de la varianza de los mapas de presión diarios en el área 50W-30E y 20N-70N. Hemos indicado la frecuencia estacional de cada uno de ellos para iniciar en un posterior análisis el estudio temporal.

Son varios los interrogantes que hemos ido planteando según avanzábamos en el análisis y cuya resolución será objeto de futuros trabajos. Por ejemplo, el análisis de posibles comportamientos cuasi periódicos, el estudio de las razones del cambio en la tendencia de las



series temporales, las posibles predicciones de la evolución de los regímenes en un futuro... Por todo ello consideramos que éste podría ser el comienzo de un largo camino a seguir y en el que se podrían recolectar importantes y reseñables resultados.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los proveedores de datos E-OBS del EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) y del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>) y al “Climate Prediction Center” de Estados Unidos por proporcionar los datos de Reanálisis.

Agradecemos a los desarrolladores de los programas informáticos CDO (<http://code.zmaw.de/projects/cdo>), GrADS (<http://www.iges.org/grads/>) y MATLAB (<http://www.mathworks.com>).

Agradecemos la subvención del proyecto CGL2011-23209 del Ministerio de Economía y Competitividad.

## 6. REFERENCIAS

Abdi Hervé (2003). Partial Least Square (PLS) Regression. *University of Texas at Dallas*, URL: <http://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-PLS-pretty.pdf>

Barry R, G. y Chorley R, J. (1990). *Atmosphere, weather and climate*. Routledge Chapman Hall.

Casado, M.J. y Pastor, M.A. (2013). Circulation types and winter precipitation in Spain. *Int. J. Climatol.*, *Published online in Wiley Online Library*

Dee, D.P. et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656): 553-597.

Esteban, P.; Martin-Vide, J. y Mases, M. (2006). Daily atmospheric circulation catalogue for Western Europe using multivariate techniques. *International Journal of Climatology*, 26(11): 1501-1515.

Ferranti, L.; S. Corti and M. Janousek (2014) Flow dependent verification of the ECMWF ensemble over the Euro-Atlantic sector. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* (in press)

Font Tullot, I. (2000): *Climatología de España y Portugal*. Ediciones Universidad de Salamanca, 422 pp.

Hoskuldsson, A. (1988): PLS Regression methods, *Journal of Chemometrics*, 221-228

Huth, R. et al. (2008): Classifications of Atmospheric Circulation Patterns. *Trends and directions in Climate Research*, 105-152

Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3): 437-471.

Martín Vide, J. (2005): *Los mapas del tiempo*. Davinci Continental, 219pp.

Michelangeli, P.A., Vautard, R. and Legras, B. (1995). Weather Regimes – Recurrence and Quasi Stationarity. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 52(8): 1237-1256.

Miller, A.J. et al. (2006). Examination of ozonesonde data for trends and trend changes incorporating solar and Arctic oscillation signals. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. 111(D13): 10.

Rosipal, R.; Krämer, N. (2006). Overview and Recent Advances in Partial Least Squares. *Indicar*.