

## VARIABILIDAD DE TIPOS DE TIEMPO QUE CAUSAN EVENTOS EXTREMOS SOBRE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Alejandro MÉNDEZ FRADES<sup>1</sup>, Concepción RODRÍGUEZ PUEBLA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca.*

<sup>2</sup>*Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca.*

[alexines@usal.es](mailto:alexines@usal.es), [concha@usal.es](mailto:concha@usal.es)

### RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el análisis de las variaciones temporales de tipos de tiempo que causan eventos extremos en España. Se seleccionan tres tipos de tiempo que causan extremos térmicos y de precipitación a partir de la clasificación que propuso Inocencio Font Tullot en el año 1983. Para caracterizar la evolución de los tipos de tiempo se utiliza la metodología de regresión parcial por mínimos cuadrados parciales (PLS). Las series temporales de tipos de tiempo pueden aplicarse para el estudio de las relaciones entre la variabilidad de la circulación atmosférica y los cambios de los eventos extremos.

**Palabras clave:** tipos de tiempo, eventos extremos, regresión parcial por mínimos cuadrados, circulación atmosférica, precipitación, temperatura

### ABSTRACT

The aim of this work is to analyse the time series of weather types that are related to extreme events in Spain. Therefore, from the weather types classification proposed by I. Font we have selected three that are associated with rainfall and temperature extremes. To derive the time evolution of the weather types we applied the Partial Least Square Regression approach. The weather time series are useful to obtain relationships between atmospheric circulation and extreme event changes.

**Keywords:** classification, heat cold, heat wave, synoptic, weather type, weather pattern, partial least square, precipitation, variability.

### Acrónimos y abreviaturas:

DEF	Diciembre-enero-febrero.
HGT.500	Geopotencial en el nivel de 500 hPa.
JJA	Junio-julio-agosto (verano).
MAM	Marzo-abril-mayo (primavera).
NOAA	<i>National Weather Service</i> (Servicio nacional meteorológico americano).
PLSR	<i>Partial Least Square Regression</i> (regresión mínimos cuadrados parciales).
RR	Precipitación acumulada (mm).
SLP	<i>Sea Level Pressure</i> (presión a nivel medio del mar).
SON	Septiembre-octubre-noviembre.
TG	Temperatura media (°C).
TT	Tipo de tiempo.

### 1. INTRODUCCIÓN

La clasificación de las situaciones sinópticas en tipos de tiempo tiene una larga historia por su utilidad, destacando la ayuda que aporta a la hora de desarrollar predicciones meteorológicas, sobretudo en tiempos pasados cuando la predicción numérica estaba todavía por desarrollar.

Cambios en variables como temperatura y precipitación dependen en gran medida de las propiedades de las masas de aire y por lo tanto de las configuraciones sinópticas.

Las principales masas de aire que afectan a la Península son las siguientes: marítima polar, marítima tropical, continental polar y continental tropical.

El área de estudio lo constituye la península Ibérica, la cual se encuentra situada entre los paralelos 36° 00' N y 43° 47' y entre los meridianos 9° O y 3° E.

Es interesante distinguir los conceptos de situación sinóptica y tipo de tiempo.

En primer lugar, una *situación sinóptica* es una expresión gráfica que muestra el estado de la circulación atmosférica en un cierto instante de tiempo sobre una determinada área. Dicha configuración es consecuencia de los distintos movimientos de masas de aire que tienen lugar en dicho instante. Se trata de un concepto puramente meteorológico, y por consiguiente, de naturaleza fluctuante.

Por otra parte, un *tipo de tiempo* es una configuración de la circulación atmosférica que aparece con cierta frecuencia en el tiempo, en un área geográfica determinada. Se trata de una organización de la circulación atmosférica.

Este concepto puede tener la aceptación de puntual pero también se puede encuadrar en los regímenes de tiempo puesto que es conocido que determinadas situaciones meteorológicas tienden a repetirse.

Según el eminente meteorólogo Inocencio Font Tullot (Font Tullot, 2000) *por tipo de tiempo se entiende la distribución de los sistemas de presión y de las masas de aire sobre una región geográfica especificada, asociados con típicas características generales del tiempo atmosférico.*

El objetivo de este trabajo no es clasificar los tipos de tiempo, sino utilizar una de las clasificaciones establecidas de manera subjetiva y analizar la repetición de los distintos tipos de tiempo, así como las relaciones con temperatura y precipitación. La idea de buscar repetición de tipo de tiempo se enmarca dentro de la ciencia climatológica.

### 1.1. Datos

En la elaboración del presente trabajo se han utilizado datos procedentes del reanálisis NOAA-NCEP (Kalnay et al., 1996). Tienen una resolución de 2.5° × 2.5°, equivalente a unos 196 kilómetros en distancia horizontal a nuestra latitud. El periodo temporal de estudio abarca los años 1961-2012. Así pues, se dispondrán de 19359 situaciones sinópticas. Por otra parte, los datos de temperatura y precipitación derivan de la base de datos ECA&D (*European Climate Assessment and Data set*), los cuales tienen una resolución espacial de 0.25°×0.25° (Haylock et al., 2008).

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TIEMPO.

En este punto se va a presentar una descripción de los patrones atmosféricos que se han elegido para llevar el estudio.

Serán tres los tipos de tiempo que se han seleccionado de los veintitrés que compone la clasificación original que Font Tullot elaboró de manera subjetiva, gracias a sus conocimientos y experiencia como meteorólogo predictor. (Font Tullot, 2000): depresión en las Islas Británicas, Depresión en el golfo de Génova y Anticiclón Centroeuropeo.

### 2.1 Depresión en las Islas Británicas

La situación sinóptica que se ha elegido para ilustrar este tipo de tiempo pertenece al día 05-05-1967. Como se observa en la figura 1 (a), este tipo de tiempo está caracterizado por el mínimo

barométrico que se localiza en las Islas Británicas, el cual tiene reflejo además en el mapa de altura.

La masa de aire que interviene es de naturaleza marítima polar (mP) la cual, a medida que desciende de latitud, se va calentando en su parte inferior y además, progresivamente va adquiriendo una gran cantidad de vapor de agua debido a la influencia del océano Atlántico que ejerce sobre ella. Por ello, cuando llega a la Península, se ha hecho muy inestable, adquiriendo las condiciones propicias para que en su seno pueda existir la posibilidad de desarrollarse fenómenos de naturaleza convectiva, nubes cumuliformes o chubascos.

Este tipo de tiempo está asociado a eventos lluviosos en la zona norte y noroeste de la Península (figura 2).

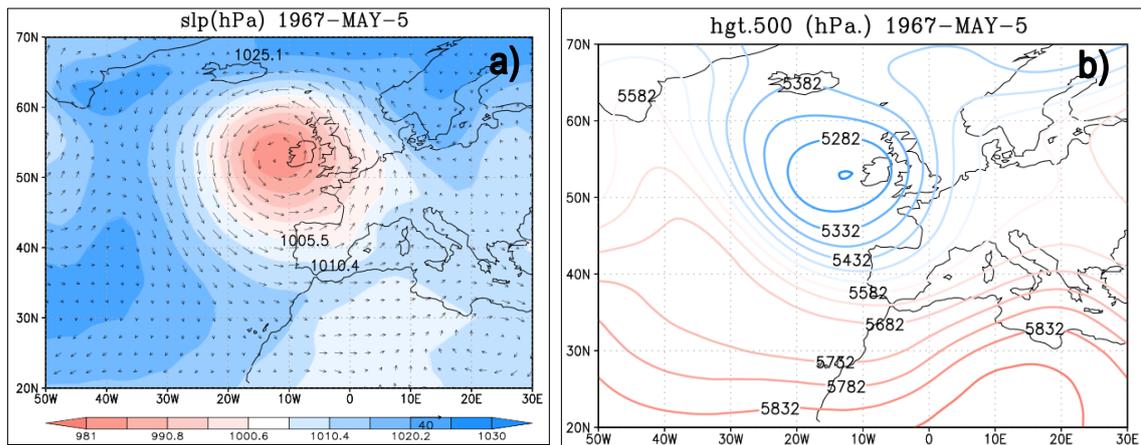


Fig. 1: Situación sinóptica del día 05-05-1967 ilustrativa del tipo de tiempo “depresión en las Islas Británicas”: a) Presión a nivel del mar (hPa); b) Geopotencial en el nivel de 500 hPa.

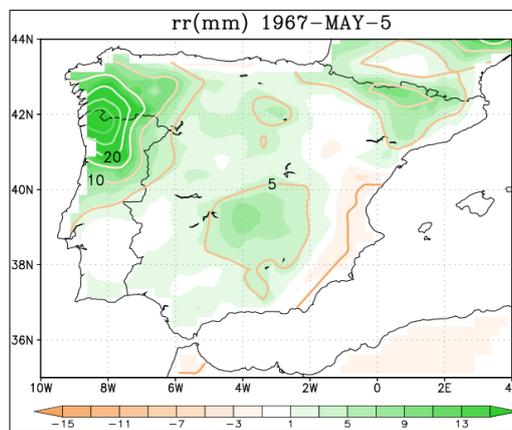


Fig. 2: Episodio del día 05-05-1967: “depresión en las Islas Británicas”. Anomalía de la precipitación acumulada respecto al valor medio mensual climatológico de mayo (mm).

## 2.2 Depresión en el golfo de Génova

La situación sinóptica que ilustra este tipo de tiempo se corresponde con el día 10-04-1973. Como puede apreciarse, desde un punto de vista sinóptico, este tipo de tiempo está caracterizado por una estructura dipolar que tiene reflejo tanto en superficie como en altura, cuya distribución espacial es la siguiente: a la derecha, en torno al golfo de Génova se sitúa un mínimo barométrico, mientras que a la izquierda, en la zona atlántica, se localiza un potente máximo

barométrico. Ambos centros de acción actúan conjuntamente favoreciendo el establecimiento de un flujo de aire procedente de latitudes altas hacia la Península.

La masa de aire que interviene en este tipo de tiempo es de naturaleza polar, siendo la principal causa de la bajada generalizada de temperaturas que se registra en la Península en esta situación (figura 3), apareciendo valores muy bajos de temperaturas mínimas. El aire que llega a la Península procede de regiones geográficas como Groenlandia, Península Escandinavia y el norte de Rusia.

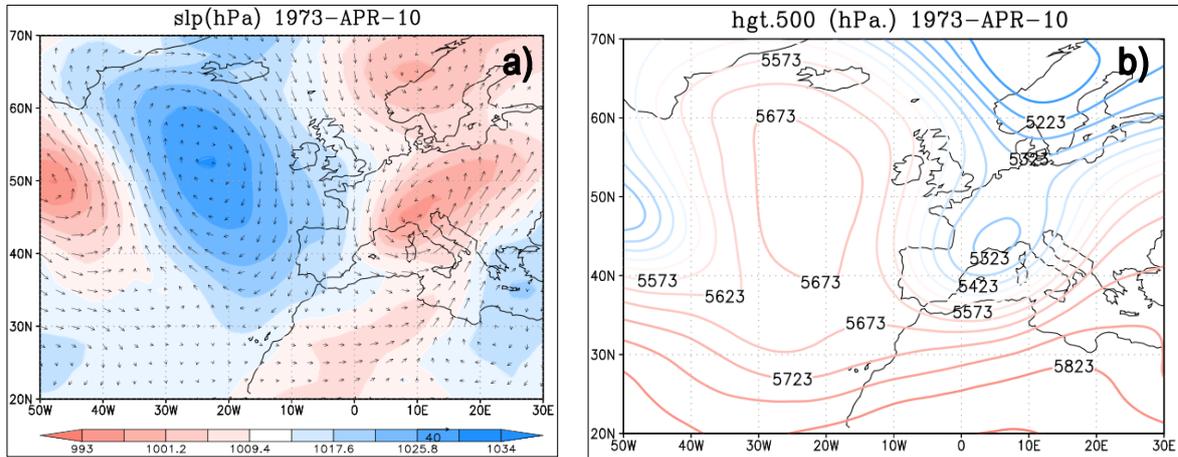


Fig. 3: Situación sinóptica del día 10-04-1973 ilustrativa del tipo de tiempo “depresión en el golfo de Génova”: a) Presión a nivel del mar (hPa); b) Geopotencial en el nivel de 500 hPa.

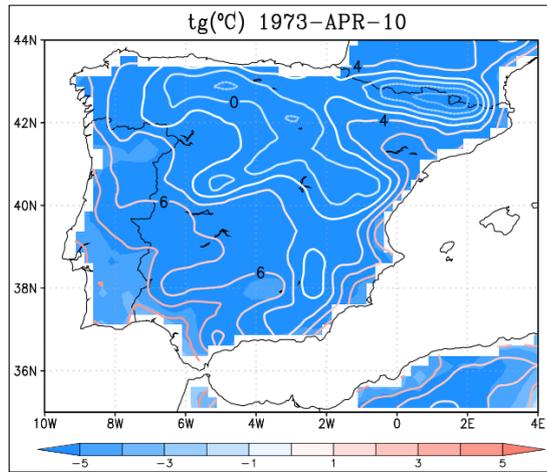


Fig. 4: Episodio del día 10-04-1973: “depresión en el golfo de Génova”. Anomalia de la temperatura media respecto al valor medio mensual climatológico de abril (°C).

### 2.3 Anticiclón Centroeuropeo

La situación sinóptica representativa de este tipo de tiempo se corresponde con el día 27-02-1975, en donde se puede apreciar, a nivel sinóptico, una estructura dipolar isobárica orientada de oeste a este bien diferenciada, que se manifiesta en los mapas de superficie y de altura, de manera que a la izquierda se encuentra una depresión localizada en la zona atlántica y a la derecha un potente anticiclón situado en la zona centro del continente europeo (figura 5 (a)).

Ambos centros de acción cooperan de forma que se favorece la entrada de un flujo de aire procedente del sur, de naturaleza cálida y seca (masas continental tropical, cT y marítima tropical, mT). No suele presentarse con relativa frecuencia (Font Tullot, 2000).

Su efecto en superficie es tal que produce un gran aumento de las temperaturas en la mayor parte de la Península.

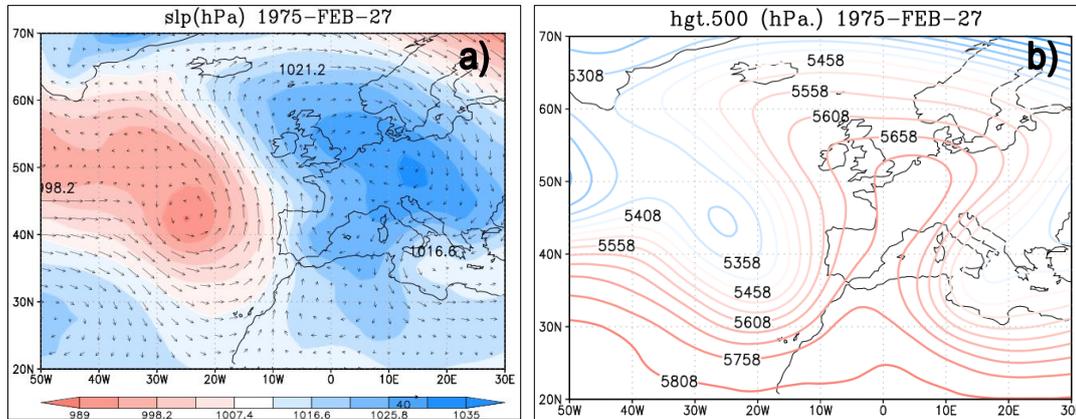


Fig. 5: Tipo de tiempo del día 27-02-1975 que ilustra el tipo de tiempo “anticiclón centroeuropeo”: a) mapa de la presión a nivel del mar (hPa); b) mapa de geopotencial en el nivel de 500 hPa.

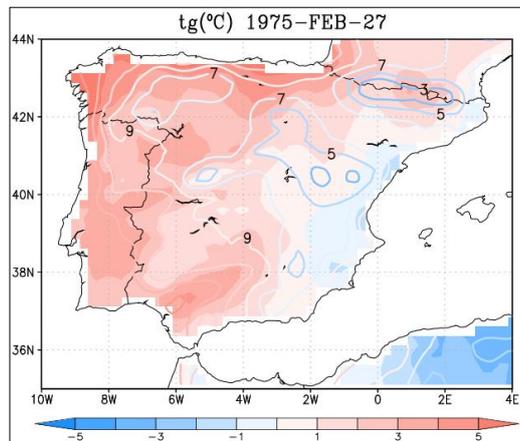


Fig. 6: Episodio del día 27-02-1975: “anticiclón Centroeuropeo”. Anomalia de la temperatura media respecto al valor medio mensual climatológico de febrero (°C).

## 2. METODOLOGÍA.

Los orígenes de la técnica estadística “regresión de mínimos cuadrados parciales” (PLSR) se encuentran en el año 1975. Fue propuesta por el profesor sueco Herman Wold, denominándola inicialmente con el nombre de NIPALS (*Nonlinear Interactive Partial Least Square*) (Wold S. et al., 2001).

### 3.1 Descripción.

La técnica PLSR combina de manera adecuada las principales características del análisis de componentes principales y de la regresión múltiple. Su principal objetivo es, predecir o estimar de

alguna manera un conjunto de variables dependientes a partir de otras independientes (Abdí, 2003).

Dado que el objetivo es reconstruir una matriz  $Y$  (predictando o respuesta) a partir de otra matriz  $X$  (predictoras), el método más directo hubiera sido realizar una regresión lineal múltiple entre dichas matrices. Ahora bien, debido a que el número de variables es mucho mayor que el número de observaciones, los predictores pueden estar correlacionadas entre sí. Por consiguiente, en este estado de cosas, lo más adecuado es recurrir a una técnica alternativa, denominada regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR), en la que las variables originales predictoras se sustituyen por unas variables intermedias, denominadas *variables latentes*, que no están intercorrelacionadas. De este modo, se consigue eliminar la información redundante, buscando la máxima variabilidad en los predictores junto con la mayor correlación con la matriz respuesta. Para ello, se extraen las componentes principales de los predictores que son relevantes para el predictando, realizando en última instancia un proceso de regresión en el que la descomposición de la predictores originales actúa como predictor de la matriz respuesta (Bhupinder et al., 1996; Wold et al., 2001; Abdé, 2003).

Una de las principales ventajas de la técnica PLSR es que se puede obtener una solución más robusta que con otras técnicas, haciendo posible que ésta no se vea afectada por el ruido de las observaciones (Hoskuldsson, 1988).

Se trata pues, de una metodología estadística que en primera instancia, proyecta cada una de las variables (predictoras y predictando) sobre un nuevo espacio vectorial. Es decir, se plantea la siguiente descomposición bilineal:

$$\begin{aligned} X &= T \cdot P^T + E \\ Y &= U \cdot Q^T + F \end{aligned} \quad (1)$$

Donde  $T$ ,  $U$  constituyen las denominadas matrices *score*;  $P$ ,  $Q$  las matrices *loading* y  $E$ ,  $F$  las matrices de *residuos*. Es decir, se trata de buscar un conjunto de variables intermedias, denominadas *latentes*, de manera que se realice una descomposición simultánea de las matrices  $X$  e  $Y$ , con la condición de que se maximice la covarianza entre las matrices *score* ( $T$  y  $U$ ).

Una vez realizada dicha descomposición, el objetivo ahora es realizar una regresión entre las matrices  $X$  e  $Y$ . Para ello, se hará uso de la siguiente relación interna:

$$U = T \cdot D + H \quad (2)$$

De manera que, introduciendo (2) en (1) y teniendo en cuenta algunas definiciones, se llega a:

$$Y = X \cdot B + F \quad (3)$$

La anterior expresión define la regresión entre las matrices  $X$  e  $Y$ , establecida gracias a la relación interna que existe entre sus variables *latentes*. La matriz  $B$  contiene los coeficientes de regresión.

### 3.2 Aplicación para el estudio de la variabilidad de tipos de tiempo.

La metodología expuesta en el punto anterior nos servirá para analizar objetivamente los distintos tipos de tiempo procedentes de la clasificación propuesta por Font Tullot.

En este caso, la matriz  $Y$  se corresponde con el tipo de tiempo ilustrado subjetivamente por su situación sinóptica correspondiente (p.ej. depresión en las Islas Británicas, según el episodio del día 05-05-1967), definido según la distribución de la presión reducida al nivel del mar (SLP<sup>1</sup>), y caracterizada por la disposición espacial de sus centros de acción de altas y bajas presiones.

<sup>1</sup> SLP: acrónimo inglés Sea Level Pressure. (Presión a nivel del mar).

Por otra parte, la matriz  $X$  contiene todas las situaciones sinópticas diarias del periodo 1961-2012. Dado que el intervalo temporal es de 52 años, se dispondrán de 19353 datos diarios de SLP en 693 puntos (resolución  $nlon \times nlat = 55 \times 35 = 693$  puntos). Así, se tendrán más “variables” que “observaciones”, por consiguiente, es adecuado realizar una descomposición en componentes principales de dicha matriz, para así eliminar la alta colinealidad entre los datos (figura 7). Como resultado se obtendrá, en primer lugar, un mapa de presión a nivel del mar que trata de reconstruir objetivamente el tipo de tiempo atmosférico (ilustrado en primera instancia a partir de una situación sinóptica), el cual está elaborado a partir de todas las situaciones sinópticas pertenecientes al periodo 1961-2012, cada una de ellas pesadas por un coeficiente de regresión<sup>2</sup>:

$$\text{tipo de tiempo} = X \cdot B \quad (4)$$

Finalmente, proyectando la *matriz score* asociada a la matriz  $X$  sobre todas las situaciones sinópticas pertenecientes al periodo 1961-2012, se obtiene una serie temporal del tipo de tiempo, que muestra cómo se ha comportado el patrón atmosférico en virtud de la intensidad de sus centros de acción.

$$\text{serie temporal} = (X')_{std} \cdot T_{std} \quad (5)$$

En primera instancia, la ecuación (5) nos dará la evolución temporal del tipo de tiempo día a día en el periodo temporal considerado (1961-2012).

Una de las ventajas de PLSR es la estabilidad de los resultados de la serie temporal asociada al tipo de tiempo, ya que se utilizan procedimientos de validación consiguiendo resultados independientes de la muestra<sup>3</sup>. Se utiliza un algoritmo para minimizar errores, que consiste en extraer del campo de datos los modos de variación que contienen señales de variabilidad y filtra aquellas variaciones asociadas al ruido y a errores mediante descomposición en valores singulares de la matriz conjunta de variables independientes y dependientes. Este procedimiento de ajuste de datos al predictando (matriz  $Y$ ) se realiza mediante pasos sucesivos de manera que se extrae de los datos la máxima varianza de las variables latentes asociadas al predictor y predicando.

Por otra parte, con esta metodología se consigue modelizar el tipo de tiempo “promedio”, de toda la base de datos utilizada, y que más se asemeja al propuesto de referencia que es el de un día determinado. Por ello este análisis permite obtener la modelización espacio temporal de los tipos de tiempo, con aplicaciones para estudios climáticos

Como lo que se pretende es sacar conclusiones de índole climatológica, de la serie temporal, se extraerán las series temporales medias mensuales y estacionales.

<sup>2</sup> Téngase presente la ecuación de regresión (ecuación 1).

<sup>3</sup> En este caso, por muestra se entiende el conjunto de situaciones sinópticas pertenecientes al periodo 1961-2012.

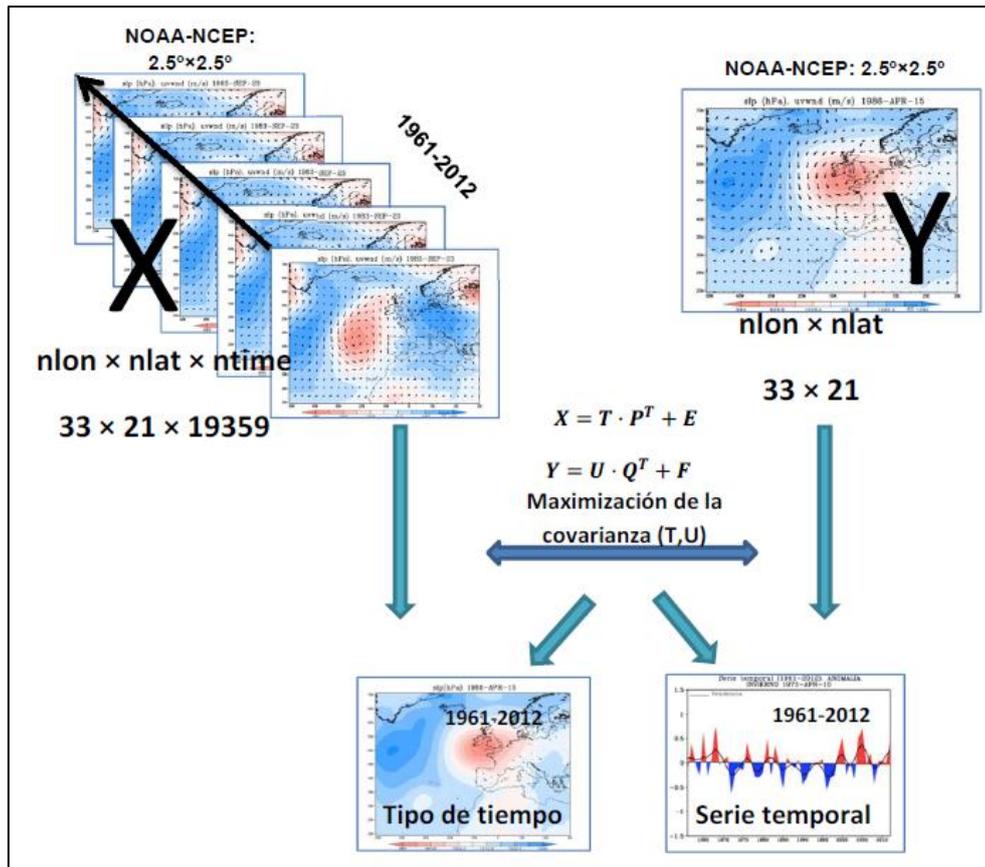


Fig. 7: Esquema gráfico de la aplicación de la metodología de la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR) aplicada a la caracterización de tipos de tiempo.

### 3. RESULTADOS.

En el capítulo de resultados, se presentará la caracterización espacial del correspondiente tipo de tiempo, mostrada a través del mapa de presión a nivel de superficie simulado y la serie temporal asociada que muestra cómo el patrón espacial evoluciona temporalmente a lo largo del periodo considerado.

#### 4.1 Aplicación al tipo de tiempo “depresión en las Islas Británicas”

En primer lugar, en la figura 8 se presenta el tipo de tiempo representado en el mapa simulado de presión a nivel del mar, en el que se reconstruye de manera satisfactoria los centros de acción positivo y negativo que caracterizan este tipo de tiempo a partir de todas las situaciones sinópticas diarias correspondientes al periodo temporal considerado.

Por otra parte, en la figura 9 se representan las series temporales de intensidad (relacionada con la intensificación o debilitamiento de sus centros de acción) y de frecuencia de aparición. En ambos casos se presenta una tendencia negativa a lo largo del periodo considerado, mostrando una gran variabilidad.

Este tipo de tiempo fue responsable de algunos eventos extremos. De hecho, el mes marzo del año 2000 fue el que mayor número de días lluviosos registrados en Galicia a causa de la persistencia de este tipo de tiempo<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Banco de datos climatológico de AEMET (1930-2013).

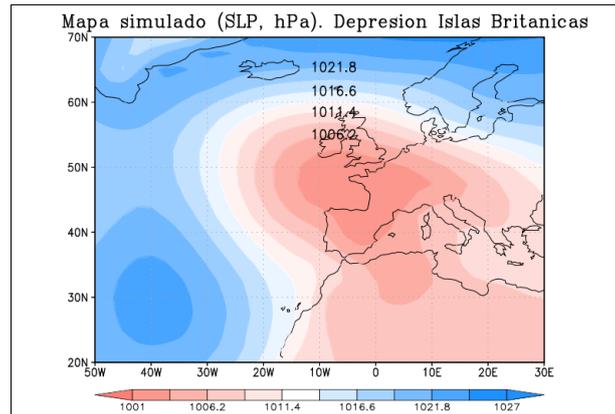


Fig. 8: Tipo de tiempo “depresión en las islas británicas”: mapa de presión a nivel del mar simulado (hPa).

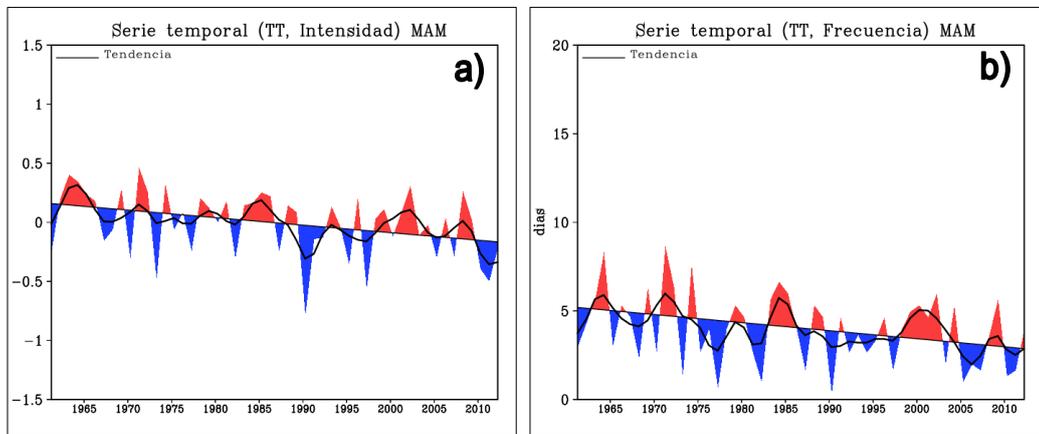


Fig. 9: Tipo de tiempo “depresión en las Islas Británicas”. Series temporales para la estación de primavera (MAM): a) serie temporal de intensidad; b) serie temporal de frecuencia.

#### 4.2 Aplicación al tipo de tiempo “depresión en el golfo de Génova”

En la figura 10 se presenta el mapa simulado de la presión a nivel del mar, en el que se trata de reconstruir el tipo de tiempo ilustrado por la situación sinóptica de un día determinado (figura 3) a partir de todas las situaciones sinópticas comprendidas en el periodo 1961-2012.

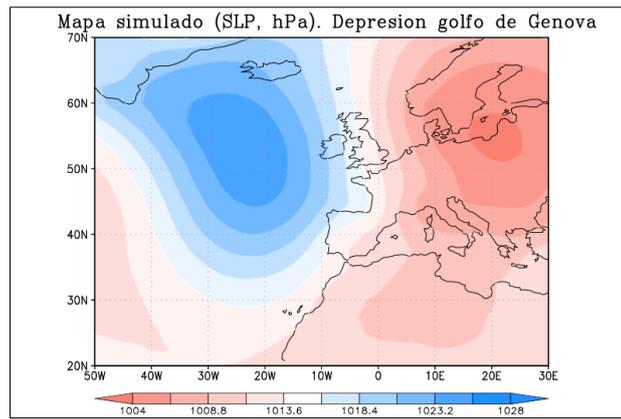


Fig. 10: Tipo de tiempo “depresión en el golfo de Génova”: mapa de presión a nivel del mar simulado (hPa).

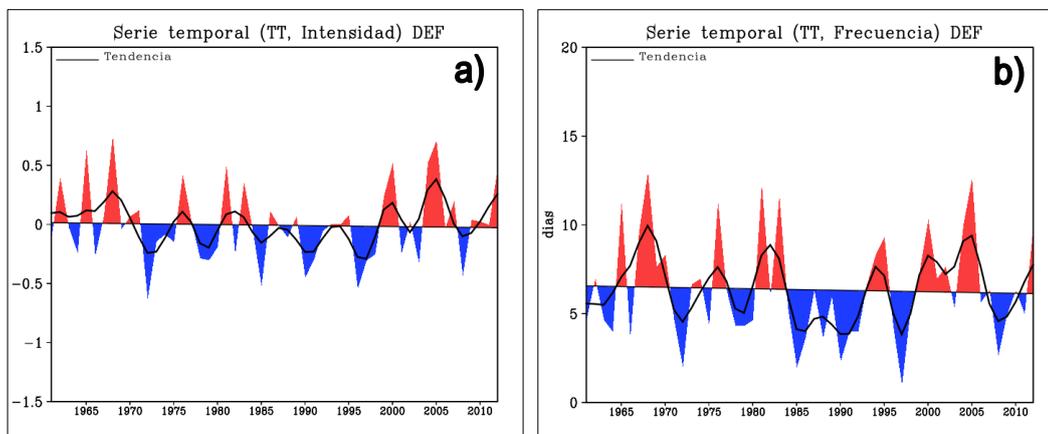


Fig. 11: Tipo de tiempo “depresión en el golfo de Génova” (TT). Series temporales para la estación de invierno (DEF): a) serie temporal de intensidad; b) serie temporal de frecuencia.

Un episodio extremo asociado a este tipo de tiempo es la ola de frío que invadió la Península el pasado mes de enero del año 2009, provocando una importante bajada de temperaturas, con la consiguiente merma en la actividad económica.

Además, este tipo de tiempo fue responsable de algunos eventos extremos que tuvieron lugar en el mes de febrero de 2005. Aquel año fue el febrero más frío hasta la fecha en las ciudades de Segovia (temperatura media de 1.5 °C) y Salamanca (temperatura media de 3.4 °C).

### 4.3 Aplicación al tipo de tiempo “anticiclón Centroeupeo”

Finalmente, en la figura 12 se presenta el mapa simulado, en el cual, reproduce el tipo de tiempo definido en la figura 5.

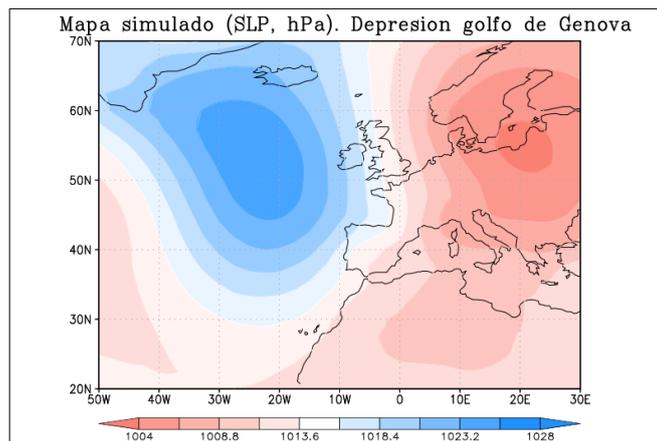


Fig. 12: Tipo de tiempo “Anticiclón Centroeuropeo”: mapa de presión a nivel del mar simulado (hPa).

Este tipo de tiempo fue precursor de uno de los meses de febrero más cálidos que se han registrado en Salamanca (donde la temperatura media fue de 15 °C), Madrid (temperatura media de 19.9 °C) y Ciudad Real (temperatura media de 20 °C).

Esta configuración sinóptica no es muy frecuente durante los meses de verano, aunque sí lo es durante el solsticio de invierno, como compararse entre las figuras 11 y 12. De hecho, en ésta última se puede apreciar una gran variabilidad a lo largo del periodo considerado.

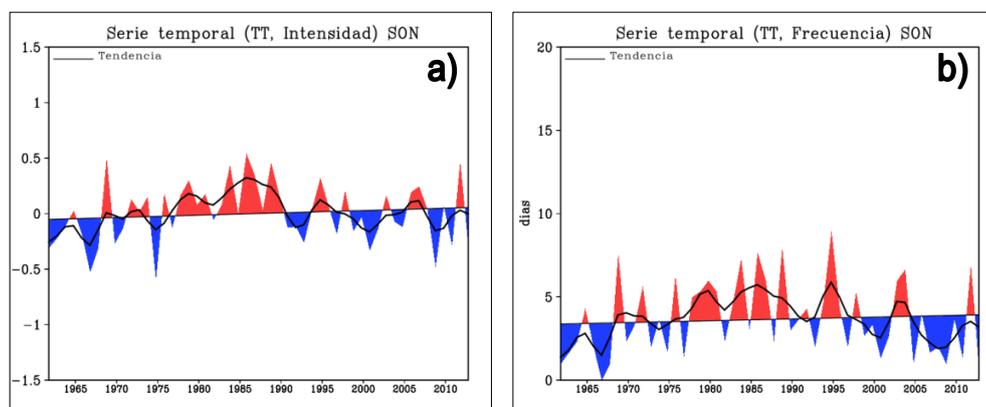


Fig. 13: Tipo de tiempo “anticiclón Centroeuropeo” (TT). Series temporales para la estación de otoño (SON): a) serie temporal de intensidad; b) serie temporal de frecuencia.

## 5. CONCLUSIONES.

Hemos aplicado la metodología regresión parcial por mínimos cuadrados para caracterizar la evolución de tipos de tiempo de la clasificación de Font que causan extremos térmicos e hídricos. Para ello se parte de tres tipos de tiempo caracterizados por la situación sinóptica ocurrida en determinados días que causan extremos hídricos y térmicos y hemos obtenido la configuración simulada y la evolución de la misma.

Hemos comprobado que las series temporales asociada a los tipos de tiempo informan de extremos ocurridos en otras fechas. También se observa las diferentes tendencias de la evolución de los índices y frecuencia asociada a los tipos de tiempo objeto de este estudio. Los resultados

indican una tendencia creciente para el tipo de tiempo asociado a olas de calor y decreciente para los tipos de tiempo relacionado con olas de frío y con las lluvias en el noroeste de la península Ibérica.

Este estudio abre el camino para el desarrollo de investigaciones sobre la influencia del cambio climático en el análisis de las series temporales asociadas a los distintos tipos de tiempo, que, a su vez, justifican la variabilidad y los extremos de la temperatura y precipitación. De hecho, este tipo de estudios son necesarios a la hora de realizar planificaciones y para prevenir en lo posible los daños que ocasionan los eventos severos.

## 6. 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 (<https://code.zmaw.de/projects/cdo>) y GrADS (<http://www.iges.org/grads/>).

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

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

Las referencias que se han consultado en la realización de este trabajo se presentan a continuación:

Abdi Hervé, 2003. Partial least square regression (PLS Regression). University of Texas at Dallas.

Bhupinder S.I., MacGregor J. F., 1998: Improved PLS algorithms. *Journal of Chemometrics*, 11, 73-85.

Capel Molina J. J., 2005: La ola de frío de enero 2005 en España. *Nimbus*, 15, 43-56.

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

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi: 10.1029/2008JD10201

Hoskuldsson A., 1988: PLS Regression methods. *Journal of Chemometrics*, 211-228.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., and Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis-project, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 437-471.

Wold S., Sjöström M., Eriksson L., 2001: PLS Regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and intelligent laboratory systems Elsevier*, 58, 109-130.