

CLASIFICACIÓN DE SITUACIONES SINÓPTICAS ASOCIADAS A VIENTOS EXTREMOS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

María CARREÑO MECA¹, Raquel LORENTE PLAZAS¹, Juan Pedro MONTÁVEZ¹, Sonia JEREZ¹, Juan José GÓMEZ NAVARRO¹

¹*Departamento de Física. Universidad de Murcia.*

maria.carreno1@um.es

RESUMEN

En este estudio se ha hecho una selección de días de vientos extremos mediante la aplicación de filtros a una base de datos de la velocidad del viento en superficie obtenida a partir de 514 estaciones meteorológicas distribuidas por toda la Península Ibérica (PI), cubriendo el período de 2002 a 2007. Además, hemos usado la presión a nivel del mar (SLP) dada por el reanálisis ERA-Interim para asociar patrones sinópticos a cada situación de viento obtenida. Definimos los vientos extremos de acuerdo al percentil 99 de la velocidad del viento para cada estación y, posteriormente, seleccionamos los eventos con más de un 10% de las estaciones que sobrepasan este umbral. Seleccionamos la SLP para los eventos obtenidos y la clasificamos usando un método basado en técnicas de clustering. Primero, se realiza un análisis de componentes principales para filtrar los datos. Posteriormente se aplica un método jerárquico (método de Ward) y un método no jerárquico (método *K-means*). Esto resulta en un número de patrones de SLP asociados a situaciones de vientos extremos que afectan a la PI promoviendo su variabilidad espacial.

Palabras clave: vientos extremos, patrones sinópticos, métodos estadísticos, Península Ibérica.

ABSTRACT

In this study, wind extreme days are selected by applying filters to a database of surface wind speed obtained from 514 weather stations distributed all over the Iberian Peninsula, covering the period from 2002 to 2007. In addition, SLP given by ERA-Interim reanalysis is used to associate synoptic patterns to every situation of extreme winds obtained. Extreme winds are defined according to the 99th percentile of the wind speed for each station and, subsequently, events with more than 10% of the stations overpassing this threshold are selected. SLP for the obtained events is selected and classified using a method based on clustering techniques. First, principal component analysis is performed to filter out the data. Subsequently, a hierarchical (Ward's method) and a non-hierarchical method (*K-means*) are applied. This results in several SLP patterns associated to situations of extreme winds that affect the Iberian Peninsula promoting its spatial variability

Key words: extreme winds, synoptic patterns, statistical methods, Iberian Peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

Los vientos extremos pueden generar situaciones de elevado riesgo. Son muchos los ámbitos que pueden verse afectados por ellos. Por ejemplo, en el ámbito medioambiental producen graves daños en la vegetación de los bosques (Jungo et al., 2002); también causan daños en las infraestructuras, principalmente en aquellas situadas en lugares expuestos como puentes, antenas de radio (Jungo et al., 2002; Palutikof et al., 1999); caídas de los tendidos eléctricos, con los consecuentes cortes de suministros, que incluso pueden causar incendios (Panteli & Mancarella, 2015). Evidentemente, el ámbito socioeconómico también se ve afectado, provocando grandes pérdidas tanto a los diferentes sectores como a las compañías de seguros (Della-Marta et al., 2009). Por tanto, caracterizar las situaciones que provocan los vientos extremos es importante para mejorar su predicción y ayudar en las estrategias de toma de decisiones para minimizar estos daños.

A pesar de la importancia y las posibles aplicaciones que pueda tener el estudio de vientos extremos, no existe una gran variedad de trabajos sobre ello. Además, la mayoría usa una base de datos de la velocidad del viento obtenida de reanálisis, como Brönnimann et al. (2012) y Della-Marta et al. (2009). Por otro lado, encontramos trabajos que obtienen sus datos a partir de observaciones de viento, como es el caso de Jungo et al. (2002). Nuestro trabajo pertenece a este grupo.

Así pues, en primer lugar, es fundamental la caracterización de las situaciones sinópticas que originan fuertes vientos. Estas irán ligadas a la aparición de fuertes gradientes de presión. No obstante, la interacción de los vientos a gran escala (sinópticos) con la orografía origina la modificación de estos, bien intensificándolos, o bien reduciéndolos (Stull, 2018), e incluso modificando el balance geostrófico.

Por otro lado, el número de situaciones meteorológicas puede ser infinito. Todos los días son diferentes, por lo tanto, es necesario el uso de métodos estadísticos que sean capaces de agrupar situaciones muy similares en un número manejable de situaciones tipo (Tipos de Circulación, TCs). Para ello se usan comúnmente técnicas de agrupamiento (clustering). En climatología se han llevado a cabo multitud de trabajos que aplican este tipo de técnicas, véase Kalkstein et al. (1987), Leckebusch et al. (2008) o Dong (2018), entre otros.

La caracterización de extremo puede presentar cierta subjetividad, y debe depender de la propia historia del lugar o región. Los extremos se pueden categorizar, además de por estar por encima de un cierto valor en la función de distribución, por la extensión espacial del evento. La aplicación de distintos criterios puede ser arbitraria y por lo tanto es aconsejable barrer un espectro amplio de posibilidades (von Storch & Zwiers, 2001).

El objetivo de este trabajo es caracterizar las situaciones meteorológicas (TCs) que originan extremos de viento regionales (Tipos de Tiempo, TTs) en la PI y las Islas Baleares (IB).

Para la realización de este se establecerán distintos criterios tanto de intensidad como de extensión. Estos se aplicarán a una base de datos de registros horarios de la velocidad del viento que describiremos en el siguiente apartado. A partir de ahí todas las situaciones sinópticas obtenidas mediante datos de reanálisis se agruparán en distintas situaciones atendiendo a criterios de similaridad espacial (análisis cluster).

2. MÉTODOS

Para este estudio se ha tomado una base de datos que contiene registros de la velocidad y de la dirección del viento de 514 estaciones meteorológicas distribuidas por toda la PI y las IB a una altura de sensor de 10 m sobre el nivel del suelo y a una resolución temporal horaria, que cubre el período de 2002 a 2007. A ésta le hemos aplicado un filtro de selección con el que hemos obtenido los días asociados a vientos extremos. Por otro lado, se ha seleccionado la SLP obtenida del reanálisis ERA-Interim para estos días y se le ha aplicado un análisis de cluster para obtener distintos TCs. A partir de estos, y con la base de datos de viento, obtenemos los TTs asociados. A continuación se detalla cada uno de los pasos seguidos.

2.1. Selección de vientos extremos

El objetivo de esta sección es seleccionar los días cuyos vientos sean extremos para así obtener la SLP del reanálisis ERA-Interim de cada uno de estos días para las distintas estaciones.

Encontrar un criterio para la definición de vientos extremos no es una tarea fácil. En este trabajo se han definido los vientos extremos en base a cierto percentil y a un área afectada, dado por aquellos días en los que el porcentaje de estaciones que superan el percentil elegido tenga un valor mayor o igual al de dicha área. Como la base de datos tiene una resolución temporal horaria, se ha tomado el valor máximo diario de cada una de las estaciones. Por último, esta nueva base de datos de la velocidad del viento se ha normalizado para poder representar de manera coherente los resultados.

Para este trabajo se ha elegido el percentil 99 para definir los vientos extremos y, para limitar un poco más la búsqueda, se han seleccionado los días en los que como mínimo el 10% de las estaciones superara este percentil.

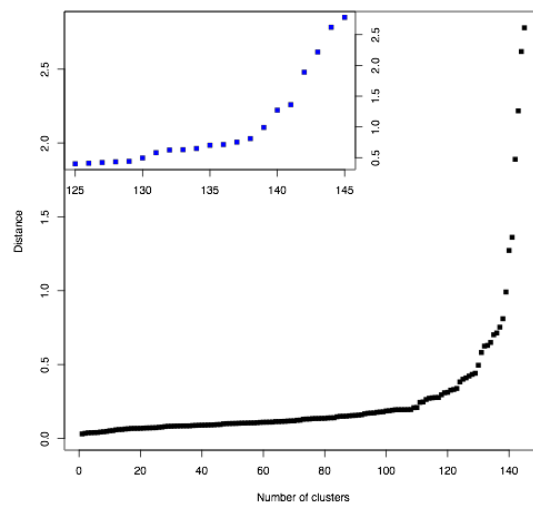
Por otra parte, del reanálisis ERA-Interim se toman los datos de la SLP correspondientes al período de 2002 a 2007. Éstos venían dados cada 6 h, por lo que se les ha calculado la media diaria. Una vez obtenidos estos datos, se seleccionan aquellos cuyas fechas coinciden con las de los eventos extremos obtenidos según lo dicho en el párrafo anterior. Con esto se crea una nueva base de datos que contiene la SLP para las fechas en las que hay vientos extremos.

2.2. Método de clasificación

El método de clasificación permite agrupar de manera subjetiva los patrones sinópticos de SLP asociados a los eventos de vientos extremos identificados con el método descrito en el apartado 2.1. Para ello, primero se selecciona la SLP para los días que ha habido vientos extremos y a ésta se le aplica un análisis de componentes principales (PCA), que nos permite filtrar los datos y aislar el ruido de la señal que queremos analizar. Con el PCA buscamos una base de datos de menor dimensión a la original, compuesta por nuevas variables obtenidas a partir de combinaciones lineales de las variables que forman la base de datos original. A estas nuevas variables se las conoce como componentes principales (PCs). Además, estas combinaciones lineales no están correlacionadas para así poder obtener la máxima variabilidad (Hannachi et al., 2007; Wilks, 2006). Posteriormente, se aplican dos métodos de cluster; primero, a los PCs se les aplica el método jerárquico de Ward,

con el que obtenemos el número de grupos adecuado para nuestra clasificación. Hemos elegido este método porque tiende a formar grupos de tamaño similar (Lorente-Plazas et al., 2015b). Éste se inicia tomando cada variable como un grupo de un único miembro y comienza a unir los pares de grupos que hacen mínima la suma de los cuadrados de las distancias entre los puntos y los centroides (valor medio de cada grupo) de ambos grupos hasta obtener un único grupo que contiene a todas las variables. Sin embargo, no nos interesa que se agrupen todas las variables en un único grupo. En la Fig.1 se representa el número de grupos frente a la distancia calculada con los PCs. Una gran distancia entre los saltos indica que se han unido dos grupos con poca similitud espacial; en ese salto se detiene el proceso iterativo y se obtiene el número de grupos que han quedado antes del salto. Después aplicamos el método no jerárquico *K-means*, que usa las semillas del método jerárquico y agrupa los eventos de SLP asociados a vientos extremos para formar los distintos patrones sinópticos, ya que permite la redistribución de las observaciones para formar grupos más homogéneos (Wilks, 2006).

Fig. 1: Diagrama en el que se representan las distancias entre los grupos obtenidos en el método de Ward. A partir de éste elegimos el número de grupos para formar



patrones sinópticos.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización Sinóptica

Como ya se ha mencionado, para este trabajo se han definido los vientos extremos en base al percentil 99 y a un área afectada del 10%. Para estos datos hemos obtenido un total de 146 días con vientos extremos de un total de 2191 días, i.e. en seis años, el 7 % de los días han sido de eventos extremos.

Una vez identificados los eventos que superan el percentil 99 de la velocidad del viento para un área del 10%, se seleccionan los mismos pasos temporales para la SLP y se aplica el método de clasificación descrito en el apartado 2.2. Con esto, y mirando el diagrama de distancias de la Fig.1, se ha elegido un total de 7 grupos como opción óptima para formar los distintos patrones sinópticos.

3.2. Tipos de Circulación y de Tiempo

En este apartado se presentan los TCs y TTs correspondientes a cada uno de los siete grupos obtenidos en el apartado anterior. Las Fig.1-2 muestran los siete grupos obtenidos al aplicar el método *K-means*. En la esquina superior izquierda de cada figura se puede ver el número total de días de vientos extremos obtenidos (arriba) y el número de días obtenido para cada grupo (abajo). Cada tipo de circulación (TC, a la izquierda de las Fig.1-2) muestra el promedio de todos los elementos de un grupo de SLP. Al seleccionar los pasos temporales equivalentes y promediarlos para la velocidad del viento obtenemos los tipos de tiempo (TT, a la derecha de las Fig.1-2). A continuación, se describe en detalle cada uno de los TCs y TTs obtenidos.

El TC más común (Fig.2, fila 1, izquierda) consiste en un fuerte gradiente de presión meridional, con las presiones más bajas en el norte. Este TC está relacionado con el paso de bajas muy profundas por la zona cantábrica, y por lo tanto relacionado con temporales del oeste. El TT asociado (Fig.2, fila 1, derecha) muestra fuertes vientos en prácticamente toda la PI excepto algunas zonas del este peninsular, ya que los sistemas Béticos por el sur y el sistema Ibérico en el centro noreste de la península impiden el paso de estos fuertes vientos. Los valores más altos se encuentran en los grandes valles de la vertiente atlántica, especialmente en el medio Guadalquivir, el Guadiana, el Tajo y el Duero, así como en las zonas expuestas a estos vientos, como Galicia, la meseta norte, y todo el cantábrico. Para el primer patrón sinóptico se obtienen 35 días y la mayoría de ellos se corresponden con los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) y otoño (septiembre, octubre y noviembre).

El segundo TC (Fig.2, fila 2, izquierda) se corresponde con un gradiente de presión zonal que cuenta con las presiones más bajas en el noreste. Este TC se relaciona con temporales del noroeste. El TT asociado a este TC (Fig.2, fila 2, derecha) presenta eventos extremos en la mayor parte de la Península, exceptuando las zonas del noroeste peninsular y algunos puntos en los Pirineos y el Estrecho. Encontramos los vientos más fuertes en toda la Meseta, gran parte del cantábrico, en los valles del Tajo, del Guadalquivir y del Guadiana y en la mayor parte de la costa mediterránea y las IB. También encontramos vientos fuertes en todo el valle del Ebro, conocidos como cierzos. El viento proveniente del noroeste produce efecto de encauzamiento en el valle del Ebro como consecuencia de la posición de los Pirineos y el sistema Ibérico. Para el segundo patrón obtenemos 22 días y predominan aquellos correspondientes a los meses de invierno y de primavera y se da un día en octubre (otoño) y otro en agosto. Así que, se trata de un patrón de invierno y primavera.

En el tercer TC (Fig.2, fila 3, izquierda) nos encontramos con un potente anticiclón de las Azores y unas bajas presiones cuyo centro se encuentra al norte de Córcega.

Por lo que el viento nos llega del noroeste. El TT (Fig.2, fila 3, derecha) muestra fuertes vientos en todo el valle del Ebro, en la Meseta Central, en el Tajo y el Guadiana, en algunos puntos de los Sistemas Béticos y en la parte central de la costa

mediterránea. Para el tercer patrón se tienen 21 días, 18 de los cuales pertenecen a los meses de invierno, 2 a los de primavera y 1 a los de otoño. Por tanto, tenemos un patrón de invierno.

En el TC 4 (Fig.2, fila 4, izquierda) tenemos una borrasca centrada en el noroeste peninsular con las altas presiones están situadas en el noreste de Europa, de forma que el viento nos llega del suroeste. Para este TT (Fig.2, fila 4, derecha) nos encontramos con vientos muy fuertes en casi todo Portugal, en la depresión del Guadalquivir (a estos vientos se les conoce como vendavales), también encontramos vientos fuertes en el macizo Galaico y en los montes Vascos. Son algo más suaves en el interior de la Península. El Grupo 4 se da en primavera, otoño e invierno.

Para el quinto grupo, el TC (Fig.3, fila 1, izquierda) muestra una depresión cuyo centro está situado entre Córcega y la Península Itálica y las altas presiones quedan al oeste de la Península, en mitad del Atlántico, esto provoca vientos que provienen del centro y el este de Europa. Aquí los eventos extremos (Fig.3, fila 1, derecha) se encuentran sobre todo en la zona del Levante y en el valle del Ebro, en el que se produce efecto de encauzamiento (cierzo) con vientos con un fuerte componente ageostrófico; y también, un poco menos intensos, en el interior de la Península. Alcanzándose los extremos más bajos alrededor de la costas cantábrica y atlántica. El quinto patrón se compone de 19 días y predominan los meses de primavera e invierno. También nos encontramos dos días en junio.

En el sexto TC (Fig.3, fila 2, izquierda) volvemos a tener un gradiente de presión que deja las bajas al este de la PI. De nuevo observamos un temporal proveniente del centro de Europa. Para este TT (Fig.3, fila 2, derecha) encontramos los vientos más fuertes en la meseta sur, en la costa murciana, en la cántabra y en la vasca y los cierzos en el valle del Ebro. También observamos extremos más suaves en la meseta norte y en los valles del Guadalquivir, del Tajo y del Guadiana. Apenas encontramos extremos en las costas gallegas. Para el Grupo 6 tenemos una mezcla de los meses de primavera, otoño e invierno.

En el séptimo TC (Fig.3, fila 3, izquierda) observamos dos centros de bajas presiones, uno situado en Italia y el otro en el Atlántico, al oeste de las islas británicas; y uno de altas presiones en el Atlántico al oeste de la PI, cercano a las Azores. Esto crea un gradiente de presión zonal situado en la Península, asociado a temporales del noroeste. Para este grupo, el TT asociado (Fig.3, fila 3, derecha) muestra vientos extremos en el valle del Ebro (de nuevo los cierzos), en gran parte del Levante, incluidas las IB, y en las costas vasca y cántabra. Encontramos eventos extremos más suaves en toda la Meseta Central, sierra Morena y los sistemas Béticos, y aún más suaves e incluso nulos en el oeste de la Península, cerca de la costa atlántica y en el valle del Guadalquivir. Por último, al séptimo patrón le corresponden 13 días, de entre los cuales predominan los correspondientes a los meses de primavera e invierno.

En general, en todos los TCs nos encontramos un gradiente de presión en la Península. Además, observamos que algunos de estos TCs son muy similares entre sí, como puede ser el caso de los Grupos 5, 6 y 7, sin embargo, pequeñas diferencias entre los gradientes de estos TCs provocan grandes variaciones en los TTs de cada grupo. En general, encontramos en casi todos los TTs vientos muy extremos en las

zonas de las costas cántabra y vasca y la parte alta del valle del Ebro, así como en la mayor parte de la meseta norte.

Por otro lado, apenas encontramos vientos extremos en los meses de verano (junio, julio y agosto). En general, la estación con más días de vientos extremos es el invierno con 67 días y los meses más comunes son febrero y marzo.

4. DISCUSIÓN

En este estudio, se ha hecho una selección de días de vientos extremos mediante la aplicación de filtros a una base de datos de la velocidad del viento en superficie obtenida a partir de 514 estaciones meteorológicas repartidas por toda la península, cubriendo un período de seis años. Además, se han aplicado análisis de cluster a la SLP dada por el reanálisis ERA-Interim para asociar patrones sinópticos a cada situación de vientos extremos obtenida.

Se han definido los vientos extremos de acuerdo al percentil 99 de la velocidad del viento de cada estación y, posteriormente, se han seleccionado los eventos para los cuales el 10% de las estaciones superan este percentil. Se ha seleccionado la SLP para los eventos obtenidos y se ha clasificado de acuerdo con el método de clasificación descrito en el apartado 2.2.

Los resultados muestran que los eventos más extremos de la PI vienen determinados por siete patrones sinópticos de SLP. El primer TC induce vientos zonales que afectan al oeste de la PI. El segundo y el tercer TC son parecidos, con altas presiones en el Atlántico favoreciendo vientos del norte que dan más viento al centro y al este de la PI. En el cuarto TC hay bajas en el Atlántico provocando vientos del suroeste, que afectan a esta región de la PI. En los tres últimos TCs las bajas presiones se encuentran en el Mediterráneo dando mayores vientos en el Levante. Con esto se observa que los TCs pueden resumirse en cuatro tipos principales. Esto cuadra con los resultados obtenidos en el diagrama de distancias (Fig.1); el mayor salto entre grupos se da para el cuarto grupo. Sin embargo, como parecían pocos grupos para establecer patrones sinópticos, nos quedamos con el siguiente salto importante en el diagrama.

La alta resolución de las observaciones de la velocidad del viento permite identificar vientos extremos modulados por la orografía y que modifican el viento geostrófico que se muestra en los mapas de SLP, donde la dirección del viento es generalmente paralela a las isobaras dejando las bajas presiones siempre a la izquierda.

Por otro lado, existen algunos factores que pueden haber limitado los resultados del estudio. Aunque el periodo temporal de 6 años se demostró en Lorente-Plazas et al. (2015b) que era suficiente para caracterizar la climatología del viento puede no ser suficiente para describir una climatología de vientos extremos, ya que éstos se han definido como el 1% (percentil 99) de todos los registros disponibles. Otro inconveniente es la cobertura espacial de la base de datos. Aunque los datos cubren gran parte de la PI, Lorente-Plazas et al. (2015b) mostró que hay algunas regiones que necesitarían mayor densidad de estaciones como son los principales sistemas montañosos de la península, especialmente los Pirineos y los sistemas Béticos, el cabo de Creus o el norte de Portugal. Esto podría hacer que estuviéramos obviando muchos vientos extremos en estas zonas de la PI.

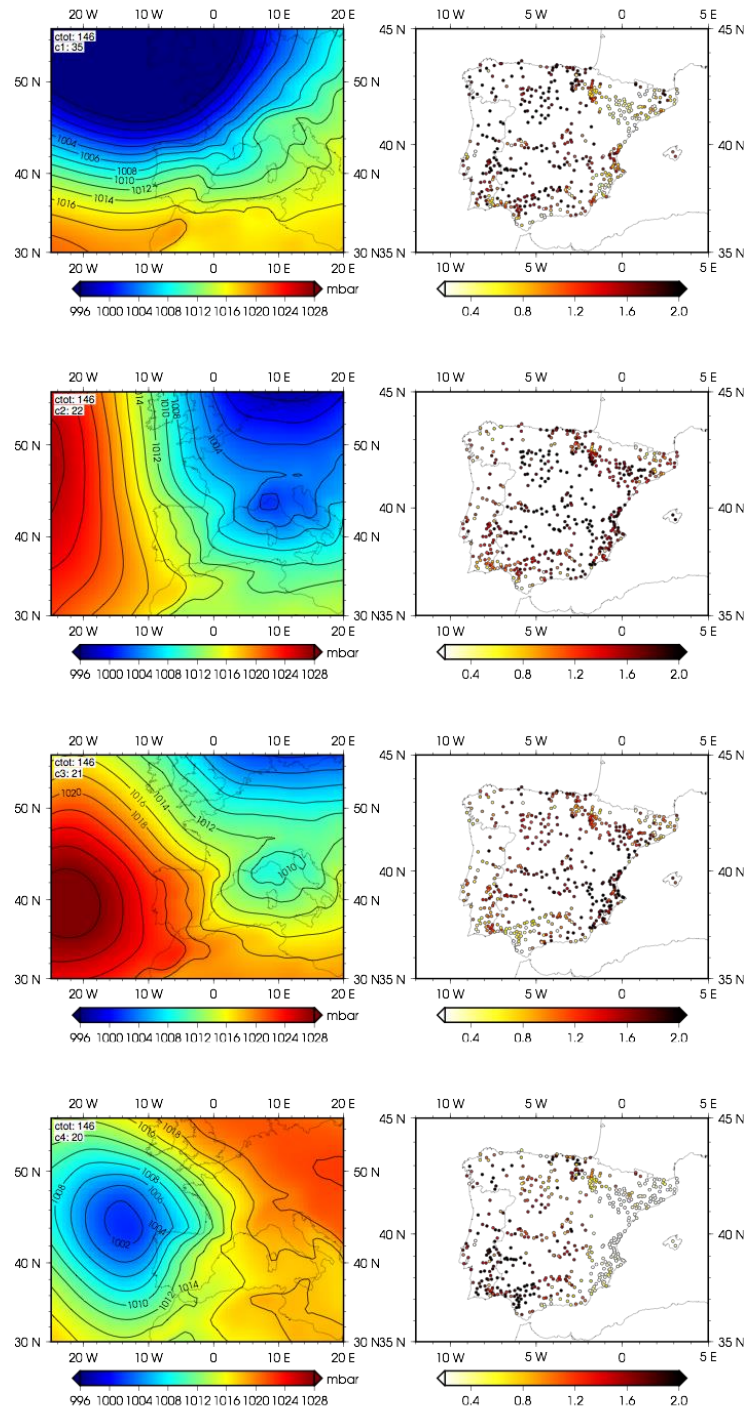


Fig. 2: Representación de los TCs en la columna izquierda y los TTs en la columna derecha para los grupos 1, 2, 3 y 4. El Grupo 1 se corresponde con las imágenes de la primera fila, el Grupo 2 con las de la segunda y así sucesivamente.

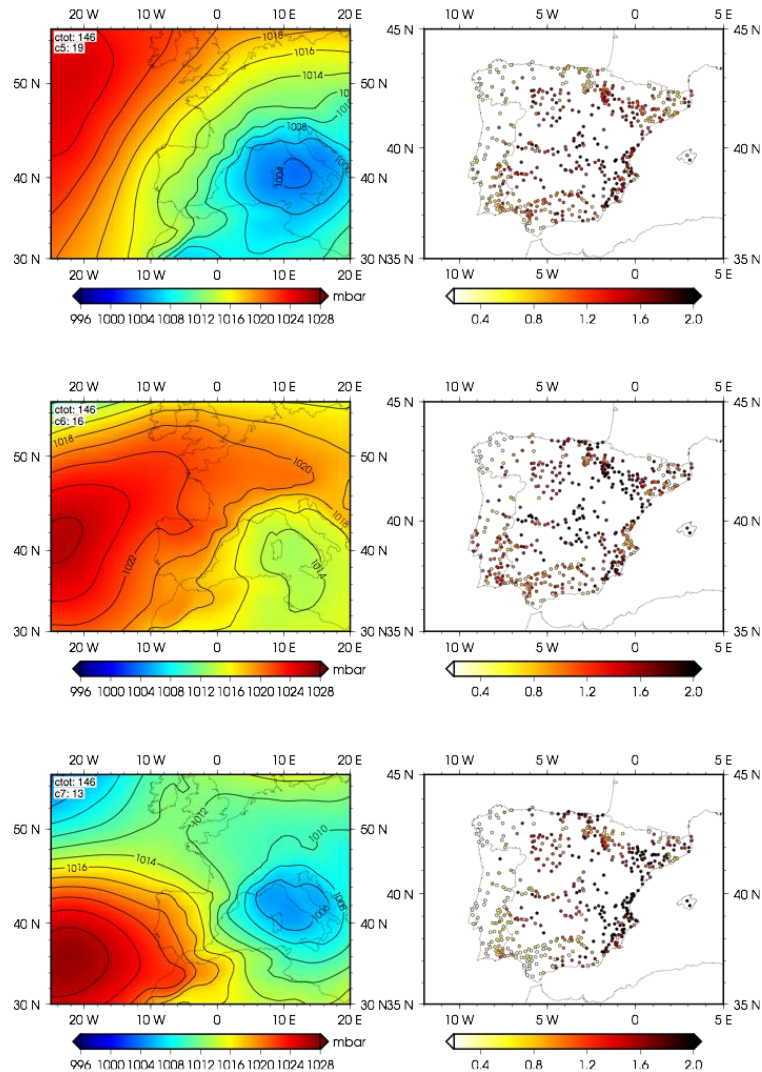


Fig. 3: Representación de los TCs en la columna izquierda y los TTs en la columna derecha para los grupos 5, 6 y 7. El Grupo 5 se corresponde con las imágenes de la primera fila, el Grupo 6 con las de la segunda y el 7 con las de la tercera.

Para futuros estudios de aplicaciones podríamos ser más estrictos a la hora de seleccionar extremos y podríamos tener en cuenta otras variables como la temperatura para distintas presiones o la altura geopotencial a 500 mb.

REFERENCIAS

Brönnimann, S., Martius, O., von Waldow, H., Welker, C., Luterbacher, J., Compo, G. P., Sardeshmukh, P. D. & Usbeck, T. (2012). Extreme winds at

- northern mid-latitudes since 1871. *Meteorologische Zeitschrift*, 21(1), 13–27.
- Della-Marta, P. M., Mathis, H., Frei, C., Liniger, M. A., Kleinn, J. & Appenzeller, C. (2009). The return period of wind storms over Europe. *International Journal of Climatology*, 29(3), 437–459.
- Dong, L. (2018). Wind resource assessment in the southern plains of the US: Characterizing large-scale atmospheric circulation with cluster analysis. *Atmosphere*, 9(3), 110.
- Hannachi, A., Jolliffe, I. T. & Stephenson, D. B. (2007). Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International journal of climatology*, 27(9), 1119–1152.
- Jungo, P., Goyette, S. & Beniston, M. (2002). Daily wind gust speed probabilities over Switzerland according to three types of synoptic circulation. *International journal of climatology*, 22(4), 485–499.
- Kalkstein, L. S., Tan, G. & Skindlov, J. A. (1987). An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of climate and applied meteorology*, 26(6), 717–730.
- Leckebusch, G. C., Weimer, A., Pinto, J. G., Reyers, M. & Speth, P. (2008). Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(1), 67–82.
- Lorente-Plazas, R., Montávez, J., Jimenez, P., Jerez, S., Gómez-Navarro, J., García-Valero, J. & Jimenez-Guerrero, P. (2015b). Characterization of surface winds over the Iberian peninsula. *International journal of climatology*, 35(6), 1007–1026.
- Palutikof, J., Brabson, B., Lister, D. & Adcock, S. (1999). A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorological applications*, 6(2), 119–132.
- Panteli, M. & Mancarella, P. (2015). Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. *Electric Power Systems Research*, 127, 259–270.
- Stull, R. (2018). *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Sundog Publishing, LLC.
- von Storch, H. & Zwiers, F. W. (2001). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press.