

## Los temporales de viento: propuesta metodológica para el análisis de un fenómeno infravalorado.

**Domingo Rasilla Álvarez, Juan Carlos García Codron, Carolina Garmendia Pedraja**

Grupo de Gestión del Medio Natural;

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria.

### Resumen

*Los temporales de viento constituyen uno de los riesgos meteorológicos más característicos del litoral cantábrico. El trabajo plantea su análisis climático a partir de la obtención de una serie de índices de intensidad y dirección del viento, obtenidos de datos de presión atmosférica a nivel del mar en rejilla. Por otro lado, se estudia la utilidad de este procedimiento para avanzar su comportamiento futuro bajo la hipótesis de un cambio climático, así como su relación con la reciente variabilidad de la circulación atmosférica, lo que permitirá encuadrar su evolución histórica en el marco del comportamiento climático regional.*

### Palabras clave

*Temporales, región cantábrica, índices de la circulación atmosférica.*

### Abstract

*Windstorms are one of the most frequent meteorological hazards in Northern Spain. This contribution concerns about the climatological analysis of this phenomenon. The method followed has been the development of atmospheric circulation indices describing the strength and direction of the geostrophic wind, obtained from gridded sea level pressure databases. It also explores the usefulness of this procedure to predict the future behaviour of the windstorms according to the scenarios of global warming, and their links with the recent atmospheric circulation variability, which will allow us to understand their long term evolution into the regional climatic framework.*

### Keywords

*Windstorms, Cantabric region, flow indices.*

## 1. INTRODUCCIÓN.

Los temporales de viento son una de las adversidades meteorológicas más representadas tanto en los registros actuales como en los documentos antiguos con información paleoclimática. Siendo, por otra parte, uno de los tipos de riesgo natural más ubicuo y frecuente en las latitudes medias, es también aquel cuyos daños cuantificables se han ido incrementando más a los largo del último siglo en todo el mundo y, en particular, en las sociedades más avanzadas (BERZ, 2002).

Sin embargo, en general, estos temporales no han sido objeto de atención preferente por parte de los climatólogos y sólo los eventos más extremos han sido trabajados, mucho más en relación con su propia excepcionalidad y con sus posibles consecuencias que en el contexto del clima del que forman parte.

Esta situación tiene varias causas. Por una parte, el término mismo "temporal" es de un uso muy subjetivo y resulta poco preciso, cuando no abiertamente polisémico, y, dependiendo de los momentos o de las regiones, sirve para designar episodios de lluvias, nieves, vientos (Figura 1) o, incluso, oleaje importantes. En muchos casos, todos estos meteoros aparecen juntos y acumulan sus efectos sinérgicamente pero en otros no es así y, sin más información, no es posible deducir ni su sucesión de acontecimientos ni su verdadero alcance.

Por otra parte, se trata de acontecimientos normalmente breves, de unas horas a algunos días de duración, bastante frecuentes y, por tanto, "banales", que, individualmente, no suelen constituir episodios excesivamente destacados en el registro climático y que, por todo ello, quedan eclipsados ante otro tipo de sucesos o de ciclos.

*Figura 1 – Efectos de un temporal en Cantabria*



Creemos que el estudio sistemático de los temporales de viento y su relación con los grandes patrones de circulación atmosférica puede proporcionar una

información de gran interés climático en regiones como la Cantábrica en las que la rapidez con que se suceden habitualmente los tipos de tiempo permite una gran frecuencia de los temporales a la vez que resta significación a situaciones tan importantes en otros lugares de la Península como las sequías, las olas de calor o frío o, incluso, los episodios de lluvias excepcionales. La memoria histórica carece en el Cantábrico del recuerdo de periodos prolongados de esas adversidades que han marcado tan profundamente a otras regiones y sólo el análisis de los mucho más discretos temporales permite un correcto acercamiento tanto a la historia del clima regional como a un trabajo prospectivo dada la variación de su incidencia que auguran los modelos más comunmente admitidos de cambio climático.

## 2. METODOLOGÍA.

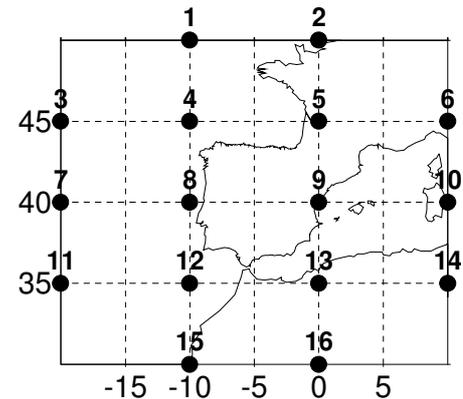
El análisis de los temporales de viento se enfrenta a cierto número de problemas. A diferencia de otros parámetros climáticos, su cuantificación choca con una red de observatorios demasiado laxa como para registrar toda la variabilidad espacial inherente a un fenómeno tan complejo y dinámico. A ello hay que añadir la influencia perturbadora de cambios en el instrumental, en los métodos y unidades de medición del viento, o de emplazamiento y exposición de los observatorios.

### 2.1.- Cálculo del viento geostrófico.

Un procedimiento para soslayar esos inconvenientes es la reconstrucción de la velocidad del viento geostrófico a partir de los gradientes de presión. El viento geostrófico es un viento ideal, animado por las diferencias de presión y la rotación de la Tierra, que bajo condiciones atmosféricas precisas mantiene una relación aproximadamente constante con el viento real. Este viento geostrófico puede ser calculado disponiendo de observaciones de presión atmosférica en diversos puntos. Dado que este último parámetro meteorológico se registra desde principios del s.XX bajo protocolos e instrumentos de observación muy similares a los actuales, es posible obtener una relación de las situaciones atmosféricas susceptibles de provocar temporales de vientos a lo largo de más de 100 años.

Existen diversos procedimientos para el cálculo de este viento geostrófico. Uno de los más sencillos es el diseñado por JENKINSON y COLLISON (1977) para el análisis de los temporales (“gales”) en el Mar del Norte. Parte de la caracterización del estado de la circulación atmosférica a partir de una serie de índices cuantitativos, obtenidos a partir de mapas de presión a nivel del mar en formato rejilla (Figura 2).

Figura 2 – Distribución de los puntos de rejilla con la presión atmosférica a nivel del mar.



Estos índices proporcionan la dirección (D) e intensidad (F) del flujo geostrófico, así como su vorticidad (Z, o el grado de rotación de una partícula de aire respecto a un punto, positiva en el caso de un área de bajas presiones y negativa en el caso de altas presiones). Las reglas para obtener los índices son los siguientes:

$$W = \frac{1}{2}(p_{12} + p_{13}) - \frac{1}{2}(p_4 + p_5)$$

$$S = 1,74 \left[ \frac{1}{4}(p_5 + 2p_9 + p_{13}) - \frac{1}{4}(p_4 + 2p_8 + p_{12}) \right]$$

$$F = (S^2 + W^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$ZW = 1,07 \left[ \frac{1}{2}(p_{15} + p_{16}) - \frac{1}{2}(p_8 + p_9) \right]$$

$$-0,95 \left[ \frac{1}{2}(p_8 + p_9) - \frac{1}{2}(p_1 + p_2) \right]$$

$$ZS = 1,52 \left[ \frac{1}{4}(p_6 + 2p_{10} + p_{14}) - \frac{1}{4}(p_5 + 2p_9 + p_{13}) \right]$$

$$\left[ -\frac{1}{4}(p_4 + 2p_8 + p_{12}) + \frac{1}{4}(p_3 + 2p_7 + p_{11}) \right]$$

$$Z = ZW + ZS$$

Todos los índices están medidos en unidades de hPa por cada 10° de latitud 40°N.

### 2.2.- Definición de temporal de viento.

Hemos planteado la hipótesis de la existencia de una relación entre el viento geostrófico calculado a partir de los mapas en rejilla y la velocidad del viento observada en superficie. Para verificarla se procedió a comparar el valor del viento geostrófico y la racha máxima de viento registrada en el observatorio de Parayas, en Cantabria. Como confirmamos en líneas posteriores, la mayoría de los temporales se producen bajo situaciones atmosféricas que implican intensos gradientes de presión asociados a flujos atlánticos. Por ello, se seleccionaron únicamente los días con viento geostrófico procedente del 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> cuadrantes. Los resultados confirman en buena medida esa hipótesis

inicial: pese a la comparación de procesos de distinta escala (sinópticos y mesoescales; RASILLA ÁLVAREZ, 1999), se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,70 (equivalente al 49 % de la varianza de los datos de superficie). Su desglose por cuadrantes pone de manifiesto que son las situaciones que propician gradientes meridianos (SW, NNW) las que proporcionan mejores resultados, sobre todo si la orografía no interviene distorsionando el flujo sinóptico. Por el contrario, el menor ajuste se consigue con situaciones de flujo zonal, paralelo a la divisoria cantábrica, pero perpendicular a la orientación fundamental de los valles cántabros (Tabla 1).

Tabla 1 – Coeficiente de determinación entre la velocidad de la racha máxima de viento en Parayas y la intensidad del viento geostrofico.

	SW	W	NNW
R <sup>2</sup>	0,50	0,38	0,64

Una vez considerada aceptable la relación encontrada, se planteó la consideración de los límites de un temporal. Según la escala de Beaufort, ampliamente utilizada en el ámbito marítimo, un temporal implica vientos de más de 62 km/h. Una cifra similar, 65 km/h, es considerada por algunos autores como el umbral mínimo a partir del cual son esperables daños en las infraestructuras y mobiliario urbanos (ALGUACIL *et al*, 1992). Usando un ajuste lineal esta velocidad del viento correspondería a unas 20 unidades de viento geostrofico, cifra superada por un número amplio de situaciones atmosféricas. Por lo tanto se procedió a una redefinición del umbral a partir de la experiencia particular de los autores y del análisis de la distribución de frecuencias del fenómeno. Por ello se consideró temporal cualquier situación en la que el valor del viento geostrofico supera 30 unidades (equivaldría teóricamente a unos 102 km/h, velocidad a partir de la que se habla de temporal muy duro en la citada escala), o bien, si no se alcanza este umbral, pero el índice G (Gale Index, JENKINSON y COLLISON, 1977) rebasa 35 puntos. Este último relaciona la intensidad del flujo y la proximidad al centro de acción a través de la vorticidad.

$$G = [F^2 + (0,5Z)^2]^{0,5}$$

De esta manera, conseguimos un método de cuantificación de la severidad de los temporales aplicable a todas las regiones de la Península Ibérica, e independiente de los factores locales.

### 2.3.- Caracterización de las situaciones sinópticas causantes de temporales.

Los índices calculados previamente no sólo sirven para seleccionar los días que, según los criterios

expuestos, presentan condiciones óptimas para la génesis de un temporal de viento. En efecto, a partir de ellos se puede obtener automáticamente una clasificación diaria de tipos de circulación a escala sinóptica. Las clasificaciones automáticas son relativamente rápidas y fáciles de obtener, y en contraste con las de naturaleza subjetiva, sus resultados pueden reproducirse repetidas veces. No obstante, no son totalmente objetivas, ya que implican cierto número de condicionantes previos que pueden influir en los resultados finales. Cada tipo sinóptico original puede ser asociado a valores concretos de los siguientes parámetros:

- Si  $Z < F$  se obtiene un tipo direccional puro, cuya dirección se calcula a partir de la del flujo subdividido en segmentos de 45° (p.e. todos los días con flujo entre 242.5° y 282.5°).
- Si  $Z > 2F$  se obtiene un tipo rotacional, anticiclónico cuando  $Z < 0$  o ciclónico cuando  $Z > 0$ .
- Pero si  $F < 6$  y  $Z < 6$  el día es clasificable, por que el flujo tiene una dirección indeterminada o su intensidad es débil.

Varias son las ventajas de este método de clasificación. Una es su fácil aplicación a ámbitos geográficos diferentes del original, con sólo desplazar la ventana espacial (BUISHAND and BRANDSMA, 1997; GODESS and PALUTIKOFF, 1998). El segundo es la buena reproducción del catálogo manual original, con algunas discrepancias debidas a que el método automático utiliza un acercamiento estático: cada día es independiente del anterior.

No obstante, la experiencia conseguida en la utilización reiterada de esta clasificación (FERNÁNDEZ GARCÍA *et al*, 2000) nos llevó a emprender un conjunto de modificaciones para adecuar la clasificación a la realidad climática de la Península Ibérica. En este sentido, días englobados en la categoría de flujos indeterminados (U), pero con una presión superior a 1020 hPa fueron reclasificados como anticiclónicos, pues ese umbral corresponde al límite inferior de las células anticiclónicas (DAVIS *et al*, 1997). Análogamente, días con presión inferior a 1010 hPa fueron clasificados como ciclónicos, ya que la mayoría corresponde a los momentos finales de una situación persistente de esa naturaleza. Igualmente, el compás de la dirección del viento propia de cada tipo sinóptico fue ligeramente modificado.

Para desarrollar una climatología de los temporales más significativos que afectaron a la Península Ibérica se utilizó el método del secuenciado de los mapas sinópticos (YARNAL, 1993), con el fin de identificar y trazar el movimiento de los centros de acción,

localizando el nodo de rejilla en el que se alcanzó el valor mínimo de presión (“nadir” del centro de acción).

### 3. DATOS.

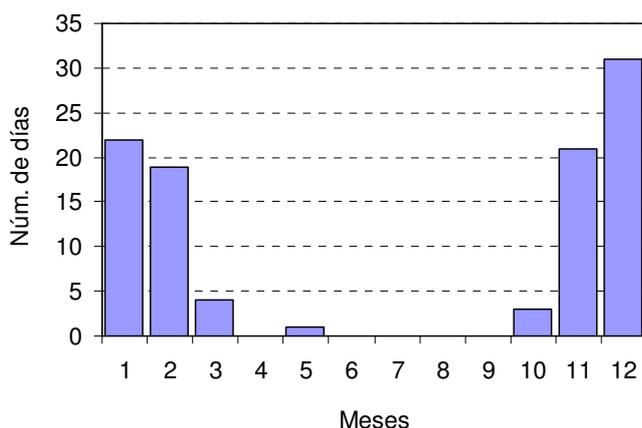
La base de datos de presión a nivel del mar utilizada en este trabajo es la *ds10.0*, adquirida a NCAR. Comprende valores diarios interpolados a un malla de 5°x5° de latitud y longitud desde 1899 hasta la actualidad. Las lagunas de la serie original no superiores a los 3 días fueron rellenadas por medio de interpolación lineal (1 día) o regresión lineal múltiple (hasta 3 días); tan sólo el período que abarca desde diciembre de 1944 a diciembre de 1945 fue imposible de reconstruir. Esta base de datos ha sido utilizada previamente por numerosos investigadores, siendo por ello revisada en profundidad en busca de errores (Trenberth y Paolino, 1980), identificaron una serie de anomalías, pero la mayoría fuera del Atlántico N. y Europa Occidental, donde la abundancia de estaciones meteorológicas y el tráfico marítimo confirma la fiabilidad de las observaciones.

### 4. RESULTADOS.

#### 4.1.- Frecuencia de los temporales de viento.

La mayor parte de estos eventos corresponde a la estación invernal: el intervalo comprendido entre noviembre y febrero supone casi el 90% de los temporales. Octubre y marzo suponen el restante 9%, mientras que, en el periodo considerado, no se ha recogido ninguno entre junio y agosto (Figura 3).

Figura 3 – Frecuencia mensual de temporales de viento.



Esta concentración responde a varios factores:

- La expansión de los Westerlies, que alcanzan en invierno su posición más meridional.
- El gradiente término meridiano más acusado entre latitudes polares y tropicales.
- La persistencia de temperaturas relativamente cálidas en el Atlántico, que desplaza los máximos hacia diciembre. Estas altas

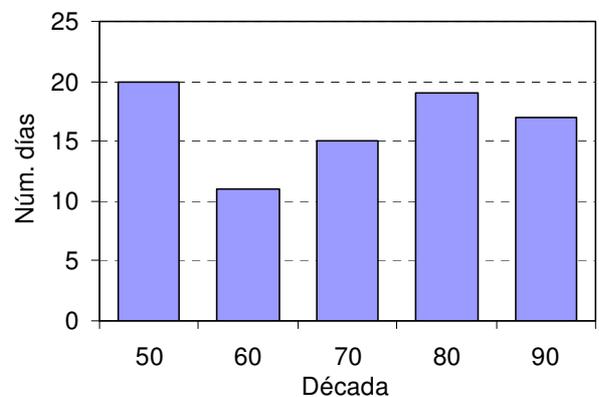
temperaturas relativas alimentan las borrascas, facilitando su ahondamiento.

La mayor parte de los temporales aparecen como eventos aislados, si bien existen casos de temporales con una duración superior a 1 día: tan sólo existen 27 secuencias de 2 días consecutivos frente una única secuencia de 3 días (23-25 marzo de 1943). Ello no implica que en algunos meses concretos se produzca el encadenamiento de varios temporales separados por unos pocos días (p.e. 4 días entre 13/19-XII-1958)

#### 4.2.- Evolución interanual.

A la largo de la segunda mitad del siglo XX no se observa una tendencia definida al aumento o disminución de la frecuencia de estos temporales, pero sí fluctuaciones significativas. Las décadas de los 50 y 80 fueron particularmente propicias, mientras existen sendos mínimos relativos en torno a los años 60 y 70. La década de los 90 constituye un mínimo relativo, pero más próximo a los décadas en las que existe abundancia de temporales (Figura 4). A escala mensual destaca diciembre de 1958, con 4 días incluidos dentro de la clasificación, mientras que los meses de diciembre de 1976 y 1981 sufrieron 3 temporales.

Figura 4 – Evolución temporal de la frecuencia de días de temporal.



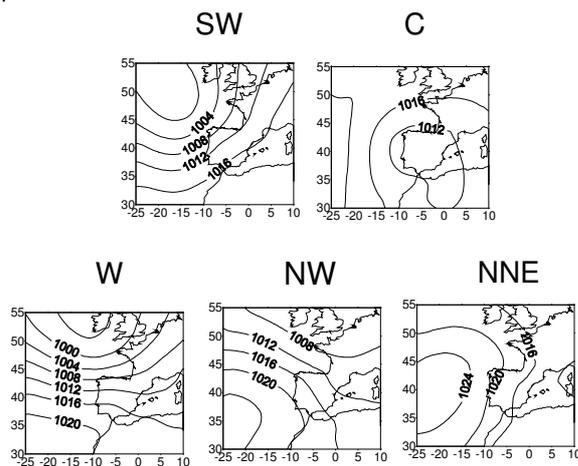
#### 4.3.- Tipología sinóptica.

Atendiendo a la tipología propuesta por Olcina (1994), distinguimos cuatro tipos de temporales, cuyas características dinámicas se sintetizan en la tabla 2:

Los más frecuentes (48 %) y en los que se alcanzan valores más elevados de viento geostrófico y los mínimos barométricos se producen cuando una ondulación del Jet Stream facilita la llegada de una borrasca profunda, que siguiendo la disposición de la corriente en altura, adopta una trayectoria SW-NE. (sucesión SW/SW ó SW/C). En algunos casos, p.e. el 15/2/1941 ó el 6/11/1982, el mínimo barométrico penetra en tierra firme y barre toda la Península Ibérica, desencadenando los temporales más violentos y

destruictivos. Estos últimos son además los de mayor persistencia, ya que son los que encadenan secuencias de más de un día. La orografía juega un papel decisivo en la configuración del tiempo sobre la Península Ibérica, ya que intensifica las precipitaciones en las montañas orientadas al SW, mientras que en la Cornisa Cantábrica, diversos mecanismos orográficos acentúan la turbulencia y propician un ambiente seco, las “suradas” (Figura 5).

Figura 5 – Configuración de la mapa de presión medio en cada una de las situaciones sinópticas responsables de temporales de viento.



El segundo tipo está asociado a una situación del W/NNW ó NNW/NNW (23%). Su génesis está asociada al reforzamiento del Anticiclón de las Azores y a la consiguiente ondulación del Jet Stream, en esta ocasión facilita la progresión de masas de aire frío hacia el Mediterráneo, siguiendo el borde oriental de la dorsal atlántica. En ocasiones, esta advección, dirigida a veces por una borrasca ubicada en torno al Mar del Norte, propicia, bien el ahondamiento, bien el nacimiento de un nuevo centro de acción, esta vez sobre el Mediterráneo Occidental. Esta evolución configura un nuevo tipo de situación, (sucesión C-NNE; 17%), caracterizada por la estabilización de ese centro de acción durante varios días.

Aunque las zonas más expuestas a ambos tipos de temporales son Galicia, Cornisa Cantábrica, Cataluña y Baleares (Tramontana, Mistral), no es infrecuente que factores igualmente de naturaleza orográfica refuercen la intensidad del viento al atravesar zonas como el Valle del Ebro (Cierzo) o descender al litoral levantino (Ponent).

El tipo menos frecuente se produce con una borrasca atravesando el Cantábrico o el Canal de la Mancha (situación del W), solidaria con una circulación zonal intensa. Pese a ser la menos frecuente y significada (12% ), disfruta de la singularidad de que en ocasiones constituyen los restos de un ciclón tropical (p.e. 4/10/1984, ciclón Hortensia) que, en su traslado hacia el Este, dirigido por la Corriente del Golfo, se reactiva al

coincidir con un embolsamiento de aire frío en altura. Estos mínimos suelen ser profundos, generando un gradiente de presión considerable, como consecuencia de su origen tropical (a mayor contenido de humedad mayor potencial destructivo), pero afortunadamente de duración efímera, a causa de su rápido movimiento hacia el interior de Europa. De nuevo son las comunidades septentrionales, más la Cuenca del Duero y el Alto Ebro donde este tipo de temporales deja sentir sus efectos con mayor rigor.

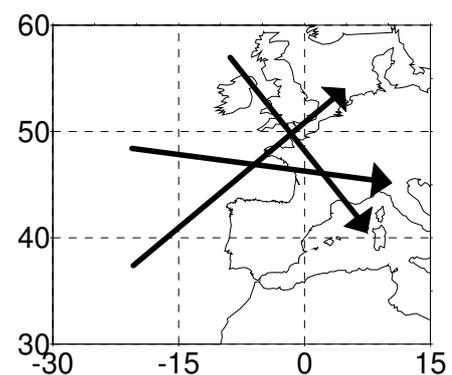
Tabla 2 – Características dinámicas de los temporales según tipos sinópticos

	SW	NNW	NNE	W	Promedio
Presión	1001.5	1007.8	1009.1	1002.6	1004.3
F	30.0	31.3	29.3	29.1	30.1

En clara conexión con la clasificación antes citada, se pone de manifiesto la existencia de unas trayectorias o rutas preferentes seguidas por los mínimos barométricos (Figura 6):

- La principal, SW-NE, discurriendo frente a la costa de Portugal y Galicia.
- Una secundaria, W-E, atravesando el Cantábrico y entrando en Europa a la altura de Bretaña.
- Otra NW-SE, desde Gran Bretaña hasta el Mediterráneo Occidental.

Figura 6 – Trayectorias preferentes de los mínimos barométricos durante los temporales citados.



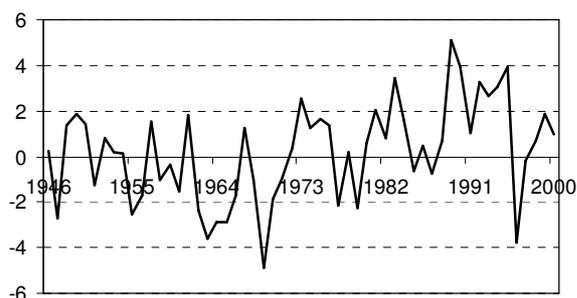
#### 4.4.- Relación con la circulación atmosférica a gran escala.

Un último aspecto en el que el grupo está trabajando es la vinculación de estos temporales a periodos específicos en los que la circulación atmosférica adopta alguno de sus modos dominantes. Estudios análogos en el N de Europa ponen de manifiesto la estrecha ligazón entre la frecuencia de eventos análogos en aquella región y el signo de la Oscilación del Atlántico Norte

(NAO). Esta oscilación reproduce la intensidad de los Westerlies sobre el Atlántico N, por lo que alcanza su máxima repercusión durante la estación invernal. Sus fases también están asociadas a otros aspectos de la circulación atmosférica relevantes para el análisis en curso, como es la trayectoria de las borrascas. Durante fases positivas estos centros de acción se desplazan hacia el Mar del Norte y Escandinavia, mientras que en las negativas la trayectoria es meridional, acercándose a la Península Ibérica (ROGERS, 1990, 1997).

La evolución del índice NAO en la 2ª mitad del s. XX (Figura 7) muestra una tendencia ascendente desde comienzos de los años 70, alcanzando en torno a los años 90 los valores más altos de todo el siglo (ULBRICH y CHRISTOPH, 1999). JONES et al. (1999) han señalado un incremento en el número de días con temporales severos sobre Gran Bretaña desde los años 60. En la misma línea, Alexandersson et al. (1998, 2000) y el grupo WASA (1998) han revelado un incremento en el número de eventos en la zona del Mar del Norte desde un mínimo situado alrededor de los años 60.

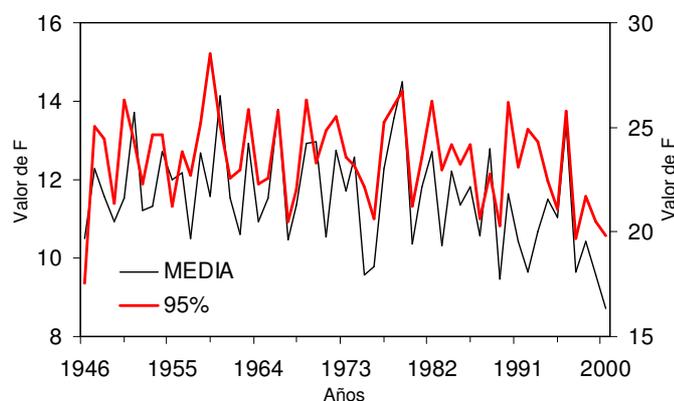
Figura 7 – Evolución temporal de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO).



Una manera de abordar la relación entre la Oscilación del Atlántico Norte y estos temporales es a través de la comparación del índice invernal de la NAO (HURREL, 1995) con el promedio invernal, reflejo del estado medio de la circulación de cada invierno, y con el percentil 95 del viento geostrófico diario, valor alcanzado únicamente en los días con temporal.

En el primer caso, el coeficiente de correlación es significativo (-0,51), pero no excesivamente elevado, lo que denota una relación moderada, probablemente más a escala de décadas que a escala interanual. Esta relación se diluye en el caso del percentil 95 (-0,30), denotando que en el caso de la Península Ibérica, la relación con la Oscilación del Atlántico Norte es compleja. Parte de esta discrepancia puede explicarse a través del comportamiento singular de ambos parámetros desde los años 80, caracterizado por una reducción significativa del promedio de F y un mantenimiento de su percentil 95 %, particularmente a finales de esa década y comienzo de los 90 (Figura 8).

Figura 8 – Evolución temporal de la intensidad del viento geostrófico sobre la Península Ibérica (eje izquierdo, valor medio; eje derecho, percentil 95).



La reducción del valor medio de F desde mediados de los 80 viene motivada por el considerable incremento de la presión a nivel del mar sobre la Península Ibérica, reflejo del predominio de una fase positiva de la NAO, que ha supuesto una disminución de la frecuencia de las situaciones perturbadas (FERNÁNDEZ GARCÍA et al., 2000). Por el contrario, el sostenimiento de los altos valores del percentil 95 de F es consecuencia, desde nuestro punto de vista, de la influencia, marginal pero real, de los grandes temporales que azotaron Europa por aquellos años. Igualmente, en el mismo trabajo se pone de manifiesto que, entre las configuraciones más propicias a los temporales de viento, únicamente las del SW, W y Ciclónicas presentan una vinculación significativa con el signo y magnitud de la Oscilación del Atlántico N (tabla 3).

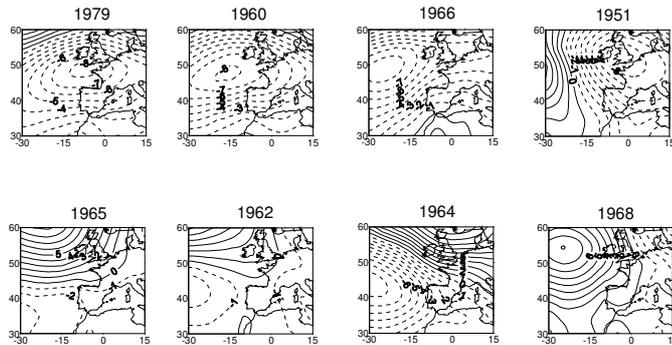
Tabla 3 - Coeficiente de correlación de Pearson, promedios y significación de las diferencias (según un test de Kruskal-Wallis) de índices de la circulación y frecuencia de tipos sinópticos durante las fases extremas de la NAO (1946-98).

	CORR	NEG	NEUT	POS	$\chi^2$	Sign
Tipo C	** -0.46	12.2	12.6	7.5	12.8	0.00
Tipo SW	** -0.60	16.5	11.5	9.0	19.0	0.00
Tipo W	** -0.41	14.1	9.9	8.7	9.3	0.01
Tipo NNE	0.01	11.4	12.0	11.0	0.6	0.73
Tipo NW	-0.11	13.9	13.3	12.1	1.1	0.57

Finalmente, esta moderada relación también se explica por las notables diferencias de trayectoria seguidas por las borrascas durante las fases negativas de la Oscilación del Atlántico Norte. Efectivamente, en algunos inviernos (p.e. 1979, 1960; 1966 y 1951) su trayectoria discurre más al N de la Península Ibérica, pero lo suficientemente cerca como para generar estos episodios de vientos violentos. Por el contrario, durante otros inviernos (1965, 1962, 1964 y 1968) las borrascas

atraviesan en menor número la Península Ibérica, pero su trayectoria es aún más meridional (Figura 9). Estas borrascas, no obstante, no vienen acompañadas de gradientes de presión tan intensos como en el caso anterior.

Figura 9 – Patrones de la circulación atmosférica pertenecientes a inviernos con índice NAO negativo seleccionados en función de la intensidad del viento geostrofico sobre la Península Ibérica.



## 5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Hasta este momento el método propuesto ha servido para analizar un fenómeno de gran transcendencia económica y humana en la segunda mitad del s. XX. Nuestras investigaciones persiguen, no obstante, aplicar este mismo método con una doble orientación.

### 5.1.- Orientación predictiva.

Estudios provenientes del Hadley Centre, referidos a temporales invernales en las regiones extratropicales del Hemisferio Norte, concluyen que el descenso en la frecuencia de los ciclones vendrá acompañado, sin embargo, de un aumento en el número e intensidad de las borrascas más profundas (CARNELL y SENIOR, 1998). En algunos casos, estos estudios plantean evidentes contradicciones; Simmonds y Keay (2000) apuntan que un incremento de la temperatura supondrá un aumento de la humedad específica, y por lo tanto, una mayor actividad ciclónica, pero Zhang y Wang (1997) sugieren que la mayor eficiencia en el transporte de energía en una atmósfera húmeda debería reducir su número.

En cualquier caso, esta metodología puede aplicarse sin ningún problema a bases de datos procedentes de Modelos de la Circulación General de la Atmósfera, con el fin de determinar si en el futuro es esperable una mayor frecuencia y duración de estos temporales sobre la Península Ibérica.

### 5.2.- Orientación prospectiva

Igualmente, el grupo de trabajo se ha planteado el análisis del clima cantábrico en periodos históricos a partir de la elaboración de un índice cualitativo del daño asociado a estos temporales de viento, para su contraste en época preinstrumental. Este índice servirá para analizar el impacto de cada una de estas situaciones en

el medio natural y las actividades humanas, y contrastar los resultados obtenidos en el s. XX con los procedentes de algunos indicadores históricos. Aunque este apartado está aún en fase inicial, se está empezando a trabajar con documentos de archivos y, de inmediato, se prevé extender el estudio a otras fuentes de información susceptibles de proporcionar datos explotables.

## 6.- REFERENCIAS.

Alexandersson, H., T. Schmith, K. Iden and H. Tuomenvirta (1998): Long-term variations of the storm climate over NW Europe. *Global Atmosphere and Ocean Systems*, 6: 97-120.

Alexandersson, H., T. Schmith, K. Iden and H. Tuomenvirta (2000): Trends in storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Clim. Res.*, 14: 71-73.

Alguacil, M.J.; Piserra, M.T. y del Río, J. (1992): Estudio sobre la peligrosidad del fenómeno de los vientos fuertes en España. *La METEOROLOGÍA en el mundo Iberoamericano*, nº 7-8, pp. 15-20.

Berz, G. (2002): Naturkatastrophen im 21. Jahrhundert. *Geografische Rundschau*, 54,1: 9-14.

Buishand, T. A. y Bradsmas, T. (1997). "Comparison of circulation classification schemes for prediction of temperature and precipitation in the Netherlands". *Int. J. Climatol*, 17, 875-889.

Carnell, R.E. and C.A. Senior (1998): Changes in mid-latitude variability due to increasing greenhouse gases and sulphate aerosols, *Climate Dynamics*, 14: 369-383

Davis, R.E.; Hayden, B.P.; Gay, D.A.; Philipps, W.A. y Jones, G.J. (1997). The North Atlantic Subtropical Anticyclone. *J. Climate*, 10, 728-744.

Fernández García, F.; Rasilla Alvarez, D.; Horcas, R. (2000). Secular variations of the synoptic scale atmospheric circulation over the Iberian Peninsula. *International Scientific Meeting on Detection and Modelling of the Recent Climate Change and their effects in a Regional Scale*.

Godess, M. y Palutikoff, J.P. (1998). Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling. *Int. J. Climatol*, 10, 1051-1083.

Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends on the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation. *Science*. 269, 676-679.

Jenkinson, A. y Collison, F. (1977). *An initial climatology of gales over the North Sea areas*. Synoptic Climatology Branch Memorandum nº 62, Met. Office, Bracknell.

Jones, P.D., E.B. Horton, C.K. Folland, M. Hulme, D.E. Parker, and T.A. Basnett (1999): The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42: 131-149

Olcina Cantos, J. (1994): *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Penthalon, Madrid.

Rasilla Álvarez, D. (1999): *Viento sur y efecto föhn en la Cornisa Cantábrica: impactos climáticos regionales*. Servicio de Publicaciones del CEDEX, Ministerio de Fomento, 302 pp.

Rogers, J.C. (1990). Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies. *J. Climate*, 3, pp. 1364-1379.

Rogers, J.C. (1997). North Atlantic storm track and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *J. Climate*, 10, pp. 1635-1647..

Simmonds, I. and K. Keay, 2000: Variability of Southern Hemisphere extratropical cyclone behavior, 1958-97. *J. Climate*, 13, 550-561.

Trenberth K.E. y Paolino, D. (1980). The Northern Hemisphere sea level pressure dataset: trends, errors and discontinuities. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 855-872.

Ulbrich, U. and M. Christoph (1999): A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing, *Climate Dynamics*, 15: 551-559.

WASA Group (von Storch et al.) (1998): Changing waves and storms in the Northeast Atlantic? *Bull. Am. Met. Soc.*, 79: 741-760.

Yarnal, B. *Synoptic climatology in Environmental Analysis*. Studies in Climatology Series. Belhaven Press, London, 1993.

Zhang, Y.; Wang, W.C. (1997): Model-simulated northern winter cyclone and anticyclone activity under a greenhouse warming scenario. *J. Climate*, 10: 1616-1634.

## Agradecimientos

El presente trabajo se relaciona con el proyecto *Cambio climático y efectos ambientales en la Montaña Cantábrica Central* (REN2001-1152) gracias al cual los autores, espíritus casi puros, están investigando por amor a la Climatología.