

Accidentes de montaña y vientos fuertes del norte en el Pirineo Mediterráneo

Autores: Ramón Pascual y Alfons Callado
Centre Meteorològic Territorial a Catalunya
Instituto Nacional de Meteorología

Nota: Este documento se puede complementar consultando la presentación en *power point* asociada:

http://www.emetsoc.org/annual_meetings/documents/Pascual_Tormentasdevientoyaccidentes.pdf

Introducción

Los accidentes producidos durante la práctica de los deportes de montaña pueden tener causas diversas. Los riesgos meteorológicos son uno más de los riesgos naturales que afectan al practicante de una actividad turística/deportiva en la montaña. El montañero experimentado o el turista ocasional está sometido a riesgos biológicos (ataques, picaduras o mordeduras de animales), geomorfológicos (desprendimientos, corrimientos de tierras), fluviales (avenidas e inundaciones), nivológicos/glaciales (aludes), etc. (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002).

Algunos de los fenómenos meteorológicos o condiciones atmosféricas más peligrosos y que comportan un riesgo más elevado en la práctica del montañismo son las tormentas (rayos, inundaciones repentinas y vientos fuertes) (Doswell, 2001), nevadas fuertes y/o abundantes, vientos fuertes de origen no convectivo, temperaturas extremas y niebla. Los tipos de tiempo observados los días en los que se han producido accidentes asociados, en principio, a las condiciones meteorológicas, se pueden agrupar de forma subjetiva partiendo de características como el valor estimado de las diferentes variables atmosféricas (velocidad del viento, temperatura, visibilidad, etc.), la presencia de diferentes meteoros (tormenta, lluvia, nevada, etc.) o la época del año. Se puede hablar, por lo tanto, de temporales invernales o episodios tormentosos tipo o situaciones con visibilidad muy reducida, por ejemplo.

En general, la combinación de nevada, viento fuerte y temperaturas bajas está frecuentemente asociada a siniestros fatales en España, especialmente en la alta montaña, aunque cuando verdaderas olas de frío han afectado a gran parte de la península Ibérica se han producido accidentes incluso en cotas inferiores a los 1000 m, especialmente en la mitad norte. En algunos episodios concretos, como el sucedido a finales de diciembre de 2000 en el Pirineo (Pascual, 2001), se han producido de forma simultánea accidentes con víctimas mortales en puntos alejados de una misma cordillera -Ripollès (Girona), Pallars Sobirà (Lleida) y Sobrarbe (Huesca)- e incluso en diferentes cordilleras, como en abril de 1994 en el que hubo un accidente mortal en el valle de Ordesa y otro en los Picos de Europa. Desde el punto vista sinóptico, este tipo de tiempo se ha establecido habitualmente bajo advecciones septentrionales o continentales europeas o durante el paso de vaguadas atlánticas.

Se ha documentado alguna excepción a esta regla empírica como el caso de noviembre de 1984 en el que un excursionista murió, probablemente por hipotermia después de perderse a causa de la mala visibilidad, en el macizo del Puigmal (Pirineo Oriental). Bajo una situación sinóptica de advección del sudoeste cayeron fuertes nevadas y las temperaturas fueron bajas.

Se debe añadir, sin embargo, que esta advección, establecida por una depresión centrada sobre el Atlántico, al sudoeste de Galicia, fue acompañada del paso de oeste a este de un frente frío.

También, en ocasiones, se han vivido condiciones ambientales invernales en alta montaña en pleno verano. Estos episodios entrañan un gran riesgo, no tanto por la peligrosidad de los fenómenos en si, sino por las elevadas exposición y vulnerabilidad del colectivo de personas presentes en dicha estación en la montaña. El 20 de agosto de 2005 un evento de esta clase provocó la muerte de una persona en el macizo del Aneto (Pirineo central), y puso en grave peligro por hipotermia a otros excursionistas en el mismo sector.

En este trabajo presentamos una serie de accidentes mortales sucedidos en el Pirineo Oriental, al este de la depresión de la Cerdanya (Pirineo de Girona), asociados a temporales invernales. Complementariamente se nombran dos casos de características meteorológicas y epidemiológicas muy similares pero fuera de esta zona. Tal como se ha sugerido, las configuraciones sinópticas presentes durante estos episodios se han ajustado, excepto una, al mismo patrón: advecciones de componente norte. Las condiciones meteorológicas han sido una combinación de nevada, viento fuerte, bajas temperaturas y nieve en suspensión, con una reducción notable de la visibilidad. Esta última circunstancia se conoce localmente con el nombre de *torb*.

En el artículo se describe someramente el ámbito geográfico de estudio, el método de búsqueda y selección de los casos y las características básicas de los accidentes y del entorno meteorológico asociado. Posteriormente se describen los entornos sinóptico y mesoscalar en los cuales se registran los sucesos y su contexto climatológico, es decir, el tipo de situaciones sinópticas que con más frecuencia están presentes en la época invernal y la frecuencia con la que aparecen los temporales invernales. Finalmente, se esbozan unas breves conclusiones, con objeto de introducir sugerencias cuyo fin sea mitigar el riesgo asociado a los temporales invernales.

Ámbito geográfico

El área de estudio (Fig. 1) es el sector pirenaico comprendido entre la fosa tectónica de la Cerdanya y el mar Mediterráneo si bien, el accidente más oriental se ha registrado en el macizo francés del Canigó (2784 m), alejado aún unos 50 km de la costa. Este sector del Pirineo Axial recibe el nombre genérico de Pirineo Oriental o también Pirineo Mediterráneo. Bajo este término se incluyen a veces las montañas situadas entre Andorra y la Cerdanya, sector en el cual no se ha registrado ningún accidente de las características señaladas pero sí algunos asociados a aludes, como el de del pico de La Carbassa (2738 m), en diciembre del 2005, en el macizo del Puigpedrós, en el que murió un esquiador. También se ha considerado un siniestro ocurrido en la Tosa d'Alp (2536 m), en el límite entre el Prepirineo barcelonés y el Pirineo Oriental. Los casos complementarios se han situado en el macizo del Montardo (2833 m), en el valle de Arán, y en el Montseny (1706 m), en el sector norte de la cordillera Prelitoral. El primero de ellos se sitúa a unos 110 km al oeste del centro del Pirineo Oriental y el segundo a unos 70 km al sur.

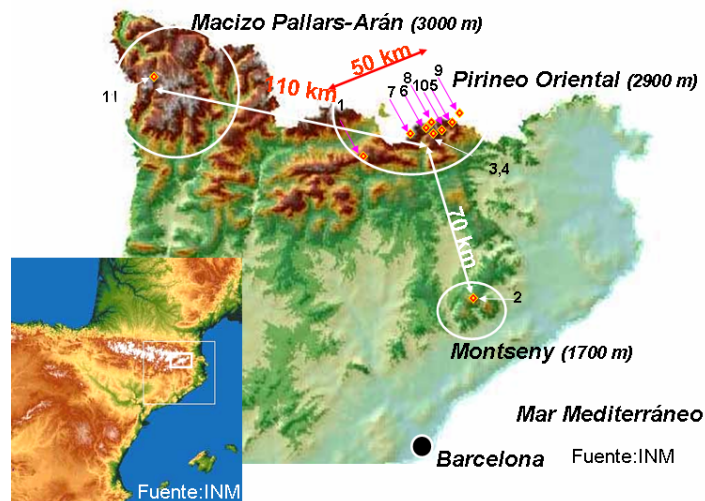


Fig. 1. Ámbito de estudio. La numeración corresponde a la de las tablas 1 y 2. Se indican los tres sectores en los que se registran los accidentes, las distancias entre ellos y el diámetro aproximado del Pirineo Oriental.

Entre el accidente de la Tosa d'Alp y el del Canigó hay una distancia aproximada de 50 km y de los 10 casos seleccionados (excluyendo los complementarios) 8 se encuentran en un área de 160 km². La distancia entre los dos accidentes "axiales" más alejados (Puigmal y Canigó) es de 25 km (Fig. 2). De los 10 casos seleccionados, 8 se sitúan en la comarca del Ripollès, uno en la Cerdanya (Tosa d'Alp) y otro en el Canigó (Conflent, departamento francés de los Pirineos Orientales). El municipio de Queralbs (Girona), con 7 accidentes mortales, es probablemente uno de los municipios españoles con más accidentes mortales en montaña por causas meteorológicas. Si consideramos como referencia geográfica y social de esta zona el Santuario de Nuria (1950 m), en Queralbs, podremos llamar genéricamente a este sector, montañas de Nuria. Siete de los accidentes reseñados se han producido a 10 km o menos de este lugar, objetivo tradicional del excursionismo catalán y del esquí.

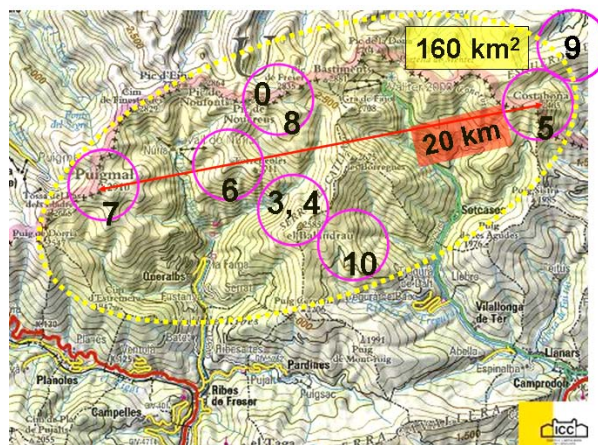


Fig. 2. Sector axial del Pirineo Oriental en el que se registran 9 accidentes mortales. Dimensiones orientativas del sector.

Previamente al análisis de las condiciones atmosféricas presentes durante los accidentes estudiados y la frecuencia de aparición de las cuales puede estar detrás del elevado

índice de siniestralidad de la zona, se deben considerar otros factores naturales y sociales que sin duda también lo favorecen. En primer lugar, la morfología de estas montañas, excepto en sectores concretos, está caracterizada, por encima de los 2000 m, por formas redondeadas y altos cordales herbosos. La cota máxima es el Puigmal (2910 m) siendo numerosas las cimas de más de 2800 m de altitud. No se puede olvidar la existencia por debajo de los 2000 m de sectores abruptos, escarpaduras y gargantas, como las de los ríos Nuria o Freser, donde precisamente ha habido algunos accidentes mortales. En segundo lugar, la llegada el año 1919 del tren hasta Ribes de Freser, punto focal de la vertiente sur, y la del tren cremallera al Santuario de Nuria el año 1931, han permitido la entrada masiva de turistas y excursionistas a estas montañas, provenientes en gran proporción de la conurbación barcelonesa. Por tanto, desde hace más de medio siglo la frecuentación de las montañas de Nuria es probablemente bastante más elevada que la de otros macizos pirenaicos catalanes.

Casos seleccionados

Se ha llevado a cabo una búsqueda de accidentes supuestamente asociados a condiciones meteorológicas adversas siguiendo diferentes vías:

- Mediante el uso de palabras clave se han buscado noticias en las hemerotecas digitales de diversos diarios de ámbito catalán o español. El archivo más completo de los consultados es el de *El País*, disponible desde 1976. El *Servei de Gestió Documental, Arxius i Publicacions* de l'Ajuntament de Girona facilita en su página web el acceso y la herramienta de búsqueda en prensa digitalizada desde el año 1808, pero solamente se ha consultado sistemáticamente desde 1965 y en algunos casos concretos anteriores (1930 y 1944). Gracias a este servicio se han recopilado noticias del *Diario de Gerona*, *Los Sitios* y *Los Sitios de Gerona* desde 1969 hasta 1983 y del *Diari de Girona* posteriormente. También se han extraído noticias de la hemeroteca digital de *La Vanguardia*, para fechas posteriores al año 2001.
- La otra fuente fundamental de información ha sido el artículo de Perelló y Reñé (1953), *Los accidentes en nuestras montañas*, publicado en la revista *Montaña* del *Centre Excursionista de Catalunya*. Este trabajo recoge 46 accidentes ocurridos en España en la primera mitad del siglo XX entre los cuales uno de ellos está claramente vinculado a meteorología invernal adversa en la zona de estudio (Tosa d'Alp) y otro en el Montseny.
- Para corroborar algunos datos se ha contactado también con el ayuntamiento de Queralbs, municipio principalmente afectado por los siniestros, y con personas indirectamente relacionadas con los mismos.

En la tabla 1 se listan los casos seleccionados y sus características. Se debe añadir que en algunos de los casos hay incertidumbre, incluso grande, en cuanto a la fecha exacta y la localización, y por tanto en la altitud precisa en la que se ha producido el accidente.

Características de los accidentes y condiciones meteorológicas

De la observación de la tabla 1 se extraen algunas conclusiones de carácter general:

- Los accidentes se han registrado entre los meses de noviembre y abril, siendo diciembre el mes con mayor número. No hay ningún caso en el mes de enero.
- El aumento en la frecuentación de la montaña asociado a períodos de vacaciones o fines de semana condiciona la distribución diaria, semanal y mensual de los accidentes. En este sentido es remarcable el relativamente elevado número de accidentes entorno a los días de Navidad y Fin de Año, coincidiendo por otro lado con los días más cortos del año.
- Excepto en el caso complementario del Montseny, los accidentes han acaecido por encima de los 1500 m-1700 m, y 8 de ellos por encima de los 2000 m, es decir, en el ámbito de la alta montaña.
- A diferencia de los accidentes debidos a errores técnicos cometidos en condiciones meteorológicas favorables, la mayoría de los accidentes seleccionados tienen más de una víctima mortal. De hecho, además, en 3 de los 5 casos en los cuales hay solamente una muerte el excursionista iba solo.

De la información disponible en la prensa, algunas observaciones meteorológicas dispersas, relatos de personas implicadas y estimaciones a partir de reanálisis de modelos numéricos se pueden establecer, con incertidumbre, las posibles causas naturales del accidente y las posibles causas de fallecimiento. En cuanto a las primeras se pueden proponer:

- En algunos casos se produce nevada y en otros no. En estos segundos, sin embargo, hay probablemente nieve en el suelo que, como consecuencia de las bajas temperaturas, está poco cohesionada.
- Condiciones de visibilidad reducida por precipitación en forma de nieve y/o nieve en suspensión levantada del suelo por el viento debido a su escasa cohesión.
- Vientos fuertes, con rachas probablemente superiores a los 120 km/h (huracanadas).
- Temperaturas negativas buena parte del día.
- La combinación de bajas temperaturas y vientos fuertes se traduce en unos valores del índice de frío (*windchill*) muy bajos.

Los cambios a menudo repentinos en las condiciones atmosféricas implican variaciones en las condiciones del terreno tanto en lo que hace referencia a la superficie (nevada o no) como en la estabilidad del manto nivoso. En términos generales es lo que Fuster y Elizalde (1995) llaman cambios cualitativos del *substratum* de la práctica deportiva como consecuencia de la acción de los *agentes modificadores internos o ecológicos*, en este caso el factor meteorológico.

Dos términos ingleses describen las condiciones ambientales presentes cuando se combinan los elementos anteriores: *blizzard* y *whiteout*. *Blizzard* es, según TERMCAT (<http://www.termcat.cat>): un estado del tiempo caracterizado por temperaturas extremadamente bajas, viento fuerte y una reducción casi total de la visibilidad a causa de la nieve que este viento levanta del suelo. Es un fenómeno propio especialmente de las zonas polares y del noroeste de América del Norte. Unos umbrales que se han establecido para definirlo son: temperatura inferior a -12 °C y velocidad del viento superior a 50 km/h. Otros criterios proponen vientos superiores a 40 km/h, nevada o nieve levantada del suelo (*blowing snow*), visibilidad inferior a 1 km e índice de frío inferior a -25 °C, que correspondería a una

temperatura inferior a -13 °C. El *torb* del Pirineo, especialmente del sector más oriental, es un fenómeno equivalente al *blizzard* en los casos más severos. Una diferencia fundamental en cuanto al impacto social del fenómeno es que mientras el *blizzard* norteamericano puede afectar a áreas muy pobladas el *torb* afecta de manera casi exclusiva a la alta montaña.

Fecha	Lugar de referencia	Comarca	Municipio	Altitud	Nº de muertos
Mediados del siglo XIX	<i>Noucreus</i> (cima)	Ripollès	Queralbs	2800 m	9
17/02/1930 (1)	<i>La Tosa d'Alp</i> (cima)	Cerdanya	Alp	2000-2200 m	1 (esquiador)
6/03/1944 (2)	<i>Matagalls (Montseny)</i> (cima)	Vallès Or.	El Brull	1400 m	2 (esquiadores)
27-30/12/1968 (3)	<i>Gargantas del Freser</i>	Ripollès	Queralbs	1700-2000 m	3
8/03/1970 (4)	<i>Gargantas del Freser</i>	Ripollès	Queralbs	1700-2500 m	1
26/11/1978 (5)	<i>Costabona</i> (cima)	Ripollès	Setcases	2200 m	3
31/12/1979 (6)	<i>Torreneules</i> (cima) (Fig. 3)	Ripollès	Queralbs	2200-2600 m	3
4/11/1984 (7)	<i>Puigmal</i> (cima)	Ripollès	Queralbs	2900 m	1
23/12/1986 (8)	<i>Tirapits</i> (collado)	Ripollès	Queralbs	2700 m	2
16-17/04/1992 (9)	<i>Canigó</i> (cima)	Conflent	-----	1500-2700 m	1
30/12/2000 (10)	<i>Balandrau</i> (cima)	Ripollès	Queralbs	2300 m	9 (algunos esquiadores)
15/02/2005 (11)	<i>Montardo</i> (cima)	Val d'Aran	Naut Aran	2100-2800 m	1

Tabla 1. Casos seleccionados y principales características.

El término *whiteout* se puede traducir al castellano como paisaje blanco. La definición proveniente del programa europeo Eumetcal (<http://www.eumetcal.org/Euromet>) es la siguiente: fenómeno óptico atmosférico, que aparece especialmente en las regiones polares, en el que el observador parece hallarse envuelto por una blancura uniforme debida a la falta de contraste entre el cielo y la superficie; no pueden distinguirse las sombras, el horizonte ni las nubes, y se pierden el sentido de la profundidad y la orientación. Este paisaje blanco es el que se encuentra un excursionista caminando por la alta montaña bajo las condiciones meteorológicas del *blizzard*. Se da con más facilidad sobre montañas con pocos elementos del relieve significativos, como las del Pirineo Oriental, redondeadas y bastante uniformes.

Obviamente hay una serie de factores ligados al propio practicante que pueden influir en alguna medida en la gravedad del accidente, como su preparación física, psíquica y técnica o el equipo y material del cual dispone (George, 1993). Se debe decir, sin embargo, que el análisis de los casos aquí mostrados y de muchos otros registrados en otras zonas y épocas del año sugiere que en determinados tipos de tiempo muy adversos y suponiendo el mismo grado

de exposición, la vulnerabilidad de los montañeros depende poco de sus aptitudes. Dos casos extremos pueden ser clarificadores en este sentido: a) el accidente ocurrido en diciembre de 2000 en el Balandrau comportó la muerte de 9 de las 10 personas de un grupo “deportivamente heterogéneo”; b) en un entorno muy alejado del pirenaico, 9 expedicionarios, entre guías (profesionales) y clientes, murieron en mayo de 1996 muy cerca de la cima del Everest bajo unas condiciones de tiempo muy adversas frente a las cuales los montañeros más experimentados no tuvieron muchas más oportunidades de sobrevivir que los novatos.

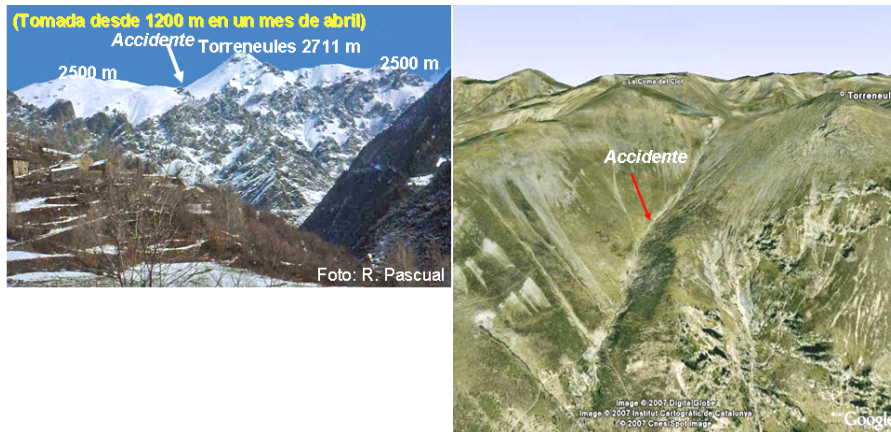


Fig. 3. Macizo del Torreneules y localización aproximada del accidente mortal a finales de diciembre de 1979 (Caso 6).

Las causas directas de muerte han sido probablemente las siguientes:

- Hipotermia
- Contusiones por caída a diferente nivel con o sin subsiguiente hipotermia.
- Ahogo por caída a un torrente con subsiguiente hipotermia (Matagalls, 1944).
- Contusiones, hipotermia y/o asfixia por quedar sepultado bajo un alud (Tosa d'Alp, 1930).

La hipotermia es un estado general de gran enfriamiento del cuerpo por debajo de su temperatura central, de 35 °C. Algunas de las consecuencias inmediatas de un estado de hipotermia son la pérdida de capacidad para realizar movimientos y el surgimiento de apatía. La inconsciencia llega cuando la temperatura del cuerpo baja hasta aproximadamente unos 30 °C y el corazón se para alrededor de los 26 °C. Tanto el accidente de 1944 como el de 1930 se han incluido en esta selección ya que, aunque la causa directa de la muerte no es el frío ambiental, el accidente ha acontecido en el contexto meteorológico descrito anteriormente.

En la tabla 2 se muestran algunos valores meteorológicos estimados a partir de las salidas de diferentes modelos numéricos de predicción, concretamente de los reanálisis del modelo del ECMWF (ERA-40) y del NCEP/NCAR, de resolución espacial 2.5° x 2.5°. El reanálisis del ECMWF (europeo) está disponible desde 1957 y el del NCEP/NCAR (americano) desde 1948. No se ha incluido en la tabla el caso del siglo XIX. Para los dos casos más antiguos no se dispone de información sobre el viento a niveles medios y altos. El índice de frío se ha calculado haciendo uso de la fórmula propuesta el año 2001 por el *National Weather Service* de los EEUU (<http://www.weather.gov/om/windchill>).

El intervalo de temperaturas y de índices de frío que se muestra en la tabla 2 es consecuencia de la incertidumbre en las altitudes de los lugares de los accidentes y del rango de velocidad del viento asumido para los diferentes episodios. Las temperaturas corresponden al valor en la atmósfera libre, según el modelo numérico usado, en el lugar del accidente, y las velocidades y direcciones del viento de la tabla corresponden al viento medio en el momento de máxima intensidad a lo largo del episodio, teniendo en cuenta que los análisis están disponibles cada 6 horas. Las rachas máximas pueden ultrapasar en buena medida el valor del viento medio. En algunas cimas del Pirineo Oriental como el Bastiments (2881 m), parece que se han podido superar los 200 km/h en vendavales extraordinarios (Sacasas, 1999).

La dirección del viento en todos los niveles y todos los casos está comprendida entre el oeste y el nordeste, excepto para el caso de noviembre de 1984, resaltado en la tabla, en el que el flujo ha sido de componente sur y la temperatura sensiblemente más elevada que en los otros episodios. La velocidad ha sido, como es normal, más elevada en 300 hPa que en los niveles inferiores, superándose en todos los casos los 145 km/h y llegándose a los 230 km/h el Fin de Año de 1979. En este episodio la velocidad del viento medio (no racha) en el collado de Torreneules (Fig. 3), muy cerca de donde se produjo la muerte de los tres excursionistas, podría haber estado comprendida entre 100 km/h y 130 km/h en el momento de máxima virulencia del temporal, suponiendo un incremento lineal de la velocidad del viento entre los 850 hPa y los 700 hPa. El 26 de noviembre de 1978 las rachas podrían haber superado los 150 km/h en el macizo del Costabona, donde 3 excursionistas murieron de hipotermia.

En la mayoría de los casos el viento ha sido más fuerte a 700 hPa que a 850 hPa pero a menudo la diferencia es pequeña, especialmente cuando predomina la componente norte. Los 5 episodios más fríos se han distribuido entre los meses de febrero (2), diciembre (1), noviembre (1) y abril (1).

Caso	T (°C)	Windchill (°C)	300 hPa W (m/s)	700 hPa W (m/s)	850 hPa W (m/s)
1 (Feb.)	-10 /-12	-23 /-27	-----	-----	(NE, SFC)
2 (Mar.)	-5 /-10	-----	-----	-----	(NE, SFC)
3 (Dec.)	-8 /-11	-20 /-22	53 (NNW)	21 (NW)	14 (NW)
4 (Mar.)	-1 /-7	-9 /-17	45 (WSW)	20 (W)	10 (W)
5 (Nov.)	-10	-23	60 (N)	28 (N)	30 (N)
6 (Dec.)	-4 /-7	-16 /-19	65 (NNW)	40 (NNW)	23 (NW)
7 (Nov.)	-4	-12	31 (S)	23 (S)	14 (S)
8 (Dec.)	-14	-27	56 (WNW) 44 (NE)	21 (NNW) 26 (NE)	24 (N)
9 (Apr.)	-5 /-14	-14 /-28	54 (NE)	27 (N)	25 (N)
10 (Dec.)	-4 (-7)	-14 (-19)	60 (NNW)	24 (N)	27 (N)
11 (Feb.)	-8 /-13	-21 /-28	50 (N)	20 (NNE)	15 (NE)

Tabla 2. Valores térmicos y velocidad del viento a diferentes niveles isobáricos para los casos seleccionados.

Entorno sinóptico de los episodios con accidentes

A escala sinóptica los episodios se han caracterizado por advecciones frías y relativamente secas como corresponde a la presencia predominante de flujos de componente norte. En la mitad de los casos la masa de aire advectada es de tipo continental. En las 9 fechas en las que se ha podido consultar un análisis frontal, un frente frío ha cruzado recientemente (situación post-frontal) la península Ibérica o lo está haciendo siguiendo unas trayectorias comprendidas entre oeste-este y nordeste-sudoeste (Fig. 4). El carácter post-frontal de varios de los episodios justifica la suposición (cuando no se tiene la absoluta certeza) de que hay nieve reciente en el suelo. En la Fig. 5 se muestran las posiciones y trayectorias de los centros depresionarios en 500 hPa y superficie para los casos del siglo XX. Estas configuraciones sinópticas determinan, tal como se ha dicho, un flujo de componente norte entre las bajas y el anticiclón de las Azores, más o menos alargado como dorsal hacia Islandia.

La Fig. 5 muestra como elementos más significativos los siguientes:

1. La presencia semi permanente de un anticiclón atlántico más o menos alargado latitudinalmente.
2. La presencia de núcleos depresionarios tanto en 500 hPa como en superficie concentrados en dos zonas: el norte de la cuenca del Mediterráneo Occidental y el norte de Centroeuropa. Las bajas mediterráneas son el resultado de los procesos de interacción del flujo sinóptico con los Alpes y su frecuente generación convierten el área comprendida entre el Golfo de León, el de Génova y el mar Catalano-balear en una de las más ciclogénicas del mundo (Jansà, 1997).
3. Quedan definidos dos caminos principales de desplazamiento de las depresiones en estos episodios (elipses grandes en la Fig. 5): el situado entre las Islas Británicas y Rusia y entre la península Ibérica y los países balcánicos, ambos de oeste a este.
4. Las áreas situadas dentro de las elipses pequeñas son zonas en las que los centros de las depresiones se mantienen bastante estacionarios en los diferentes episodios e incluso manifiestan un cierto movimiento retrógrado (de este a oeste).
5. El caso de noviembre de 1984 muestra el desplazamiento hacia el este de una depresión atlántica entrando en la península Ibérica por Galicia (500 hPa) y Portugal (superficie).
6. El suceso de diciembre de 1986 muestra ciclogénesis argelina en superficie, a sotavento del Atlas con flujo de componente sur.
7. En abril de 1992 el centro de la baja en superficie hace un rápido desplazamiento, anómalo, de norte a sur pasando de la trayectoria europea a la mediterránea.
8. En el gravísimo caso de diciembre del 2000 una depresión en profundización se desliza muy rápidamente desde la costa cantábrica hasta al mar balear (Pascual, 2001).

Entorno mesoscalar

Bajo flujo sinóptico de componente norte el campo de presión a mesoscala alfa sobre el nordeste de la península Ibérica y el istmo pirenaico muestra una deformación característica, configurándose lo que se conoce como dipolo pirenaico (Jansà, 1997): un mínimo de presión sobre el valle del Ebro o Cataluña y un máximo sobre la llanura aquitana o sobre la misma cordillera en forma de dorsal con eje orientado de oeste a este. Esta dorsal ha

recibido el gráfico nombre de “nariz de föhn” (Barry (1981), según Brinckmann (1970)), ya que a menudo acompaña este tipo de tiempo a sotavento de las cordilleras. Otros elementos asociados al dipolo son: el sistema de vientos regionales tramuntana-mestral, el bloqueo temporal de aire frío en la vertiente norte y el consecuente desarrollo de un fuerte gradiente de temperatura y humedad transversal al Pirineo (Bougeault *et al.*, 1993; Campins *et al.*, 1997; Pascual, 2001).

El hecho de que, según algunas observaciones y los propios relatos de los accidentados o rescatadores, la velocidad del viento a menudo aumenta de manera brusca sugiere que el modelo conceptual de corriente de densidad puede explicar esta fenomenología (Arasti, 2001; Pascual, 2001). No se debe olvidar, además, que la compleja orografía local genera aceleraciones del viento a microescala γ y β , en zonas que serán potenciales puntos negros desde el punto de vista de la siniestralidad.

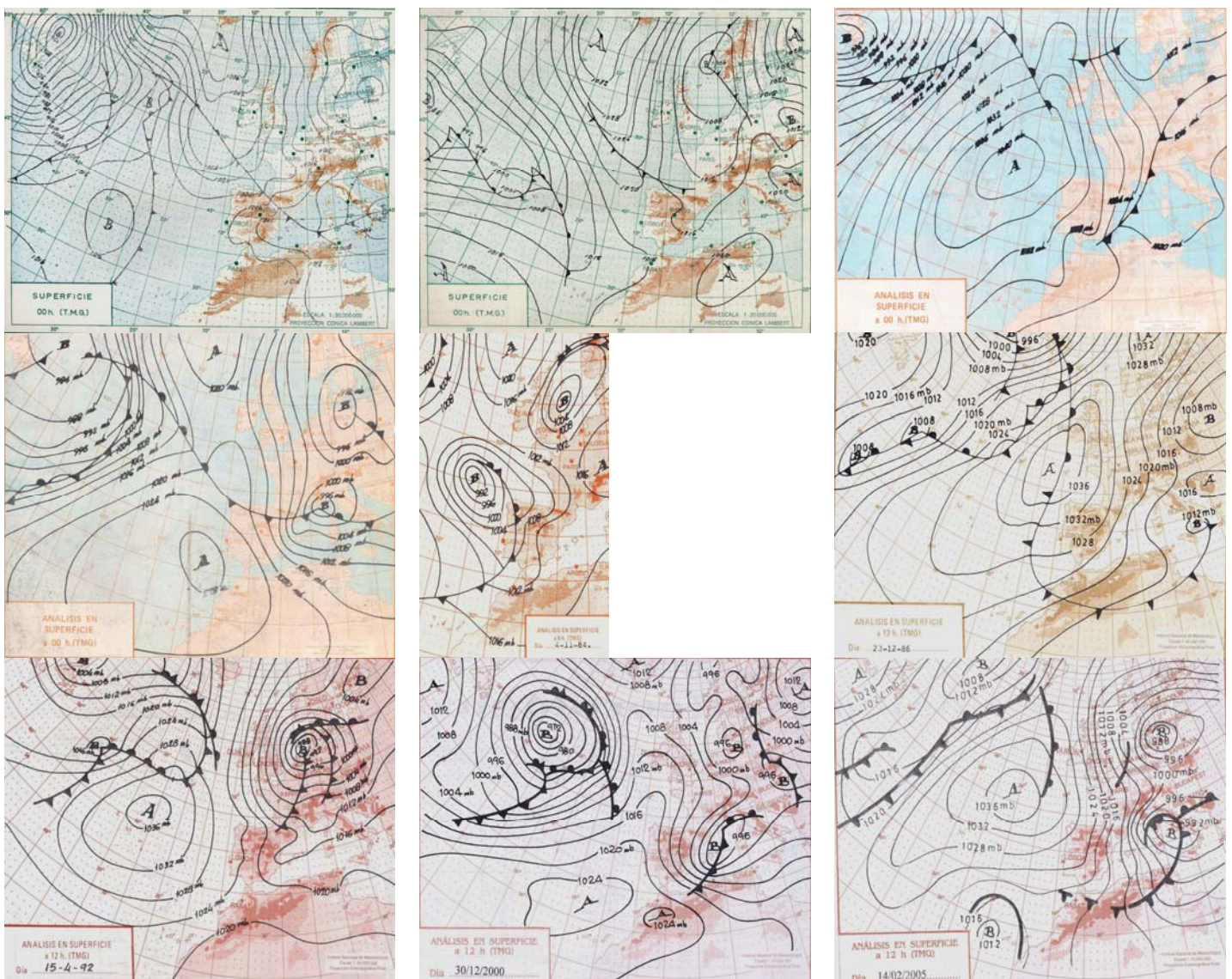


Fig. 4. Análisis de presión en superficie y análisis frontal. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: 27/12/68 00 UTC; 8/03/70 00 UTC; 26/11/78 00 UTC; 31/12/79 00 UTC; 4/11/84 06 UTC; 22/12/86 12 UTC; 15/04/92 12 UTC; 30/12/00 12 UTC; 14/02/05 12 UTC. Fuente: INM.

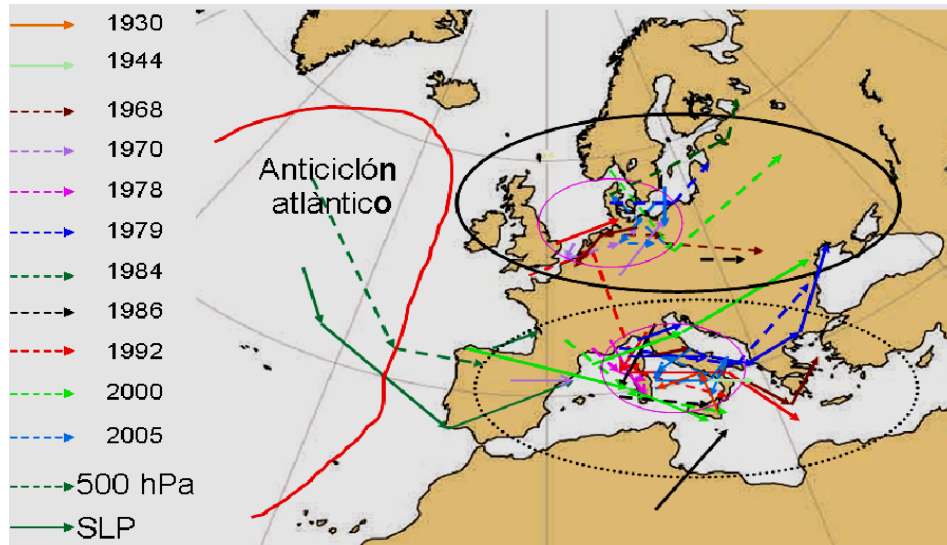


Fig. 5. Trayectorias de las bajas para los episodios del siglo XX. Para el significado de las elipses ver el texto. En trazo continuo se muestran las trayectorias de las bajas a nivel del mar (SLP) y en discontinuo a 500 hPa. Fuente del mapa: ECMWF.

El efecto del Pirineo sobre el flujo del norte es más evidente a 850 hPa que a 700 hPa, nivel isobárico aproximado de las cimas más elevadas del Pirineo Oriental, de tal forma que la aceleración del viento en su extremo oriental es más clara por debajo de los 1200 m-1500 m, especialmente cuando la tramuntana ha entrado en régimen estacionario (Campins, 1997). En algún caso, como el del diciembre de 1979, el campo de viento a 700 hPa presenta un máximo localizado (Fig. 6a) mucho más acentuado que en el resto de los episodios. Este máximo, también visible en 850 hPa, va acompañado de un máximo de viento del NNW de 65 m/s (230 km/h) a 300 hPa. El gradiente de geopotencial sobre el nordeste de la península Ibérica en este episodio es más grande que en los otros casos como producto de la relativa proximidad al sudoeste peninsular del anticiclón atlántico (Fig. 6b), de manera similar a como pasó el 30 de diciembre de 2000, con velocidades de 60 m/s (220 km/h) en 300 hPa.

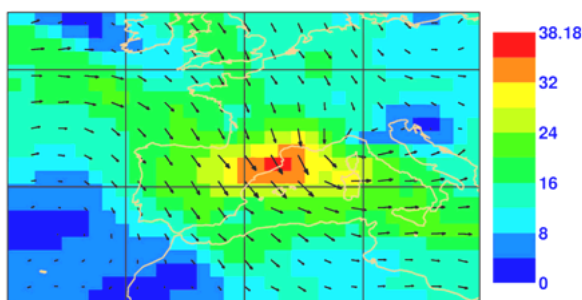


Fig. 6a. Campo de velocidad a 700 hPa correspondiente al 31/12/79 a 12 UTC. Reanálisis del ECMWF. Velocidad en m/s.

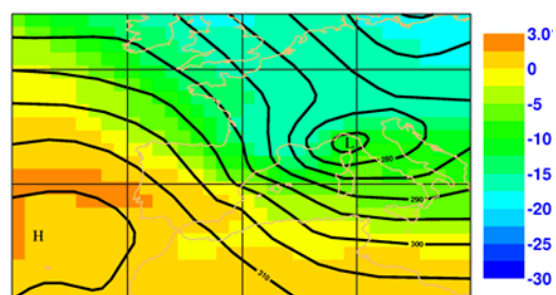


Fig. 6b. Campo de temperatura (coloreado) y altura geopotencial a 700 hPa (isohipsas) correspondiente al 31/12/79 a 12 UTC. Reanálisis del ECMWF. Temperatura en °C. Altura geopotencial en gdm.

Por otro lado, casos como el del noviembre de 1978 o diciembre de 1986, con tres y dos personas muertas respectivamente en el Costabona y en Tirapits, muestran valores máximos de la velocidad del viento superiores en 850 hPa que en 700 hPa y perfectamente localizados en el extremo oriental del Pirineo (Fig. 7), ligados al efecto orográfico pirenaico, lo cual no significa que el viento a niveles más altos no sea también fuerte. De hecho, los

Pirineos y el dipolo de presión son responsables de la mayoría de los episodios con viento fuerte en Cataluña no relacionados con ciclones cercanos (Campins *et al.*, 2007).

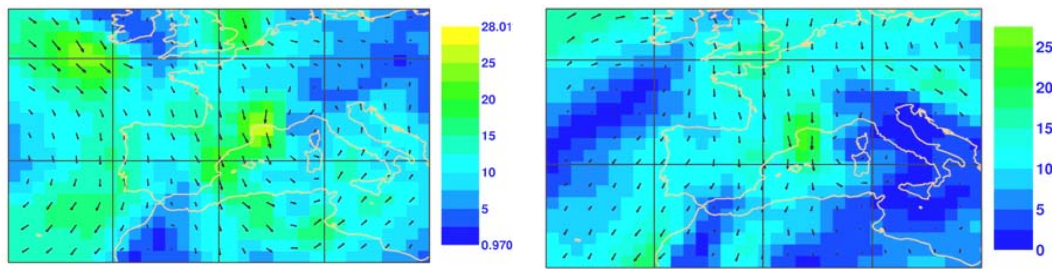


Fig. 7. Campo de velocidad a 850 hPa correspondiente al 26/11/78 (izquierda) y 23/12/86 (derecha) a 18 UTC. Reanálisis del ECMWF. Velocidad en m/s.

El análisis simultáneo de los campos de velocidad vertical y humedad específica en 700 hPa y 850 hPa en el entorno del Pirineo Oriental (Fig. 8) muestra una subsidencia de aire seco máxima sobre o a sotavento de la cordillera con flujo de componente norte. En cambio, en el episodio con advección del SW de noviembre de 1984 el análisis del modelo del ECMWF presenta un débil movimiento ascendente, asociado, al menos en parte, al forzamiento orográfico en la vertiente sur pirenaica. La subsidencia bajo situación del norte probablemente tiene dos componentes fundamentales:

1. La aproximación de una dorsal atlántica y
2. La probable onda de montaña generada en situaciones de creciente estabilidad en la estratificación. Esta onda se ha mostrado en otros episodios con flujo de componente norte, con efecto föhn y/o temporales de viento a sotavento (Pascual, 2001; Pascual, 2005). En la Fig. 8 se muestran, como ejemplo, los mapas correspondientes al 26 de noviembre de 1978 en los que observa como un máximo subsidente en 700 hPa y 850 hPa, a sotavento del Pirineo, coincide con un área relativamente seca, especialmente en niveles medios.

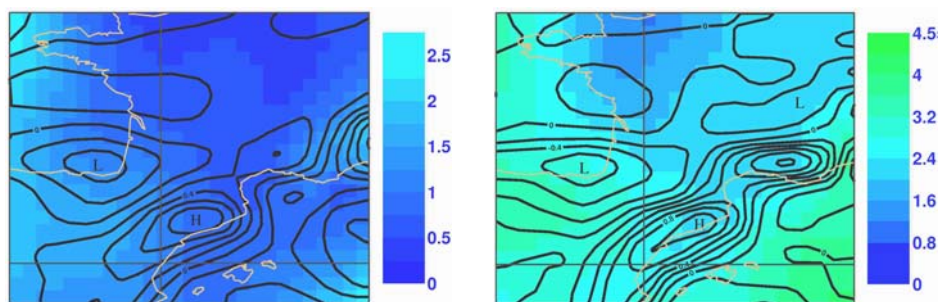


Fig. 8. Campo de velocidad vertical (isotacas) y humedad específica (coloreado) en 700 hPa (Izq.) y 850 hPa (Der.) correspondientes al 26/11/78 a 18 UTC. Reanálisis del ECMWF. Valores positivos de la velocidad indican movimiento descendente. Velocidad en m/s. Humedad específica en g/Kg.

Contexto climatológico

Con el objetivo de valorar el carácter más o menos excepcional de los episodios seleccionados se ha realizado un análisis climatológico de tipo dinámico, considerando la localización de depresiones y centros de alta presión en la época invernal que pueden haber influido en el tipo de tiempo observado en la zona de estudio, y luego se han comparando sus

resultados con los patrones isobáricos de los casos de estudio. También se ha analizado el ambiente térmico en diferentes niveles atmosféricos en esta época del año sobre el ámbito geográfico de trabajo con el fin de estimar el posible carácter anómalo de los ambientes en los que se han registrado los siniestros.

Se han escogido tres fechas representativas del inicio del invierno, su mitad y su final, aproximadamente, y se han obtenido las series temporales de temperatura en cuatro niveles isobáricos (300 hPa, 500 hPa, 700 hPa y 850 hPa) sobre el Pirineo. Tal como ya se ha dicho se han planteado los centros de alta y baja presión bajo diferentes tipos de flujo y se han comparado con las posiciones en los casos de estudio. Las tres fechas escogidas han sido 31 de diciembre, 15 de febrero y 31 de marzo y el periodo de estudio, 1961-1990. Los datos provienen de los reanálisis ERA-40 del ECMWF, a resolución 0.25°. Son probablemente los dos casos de noviembre aquellos que peor pueden estar representados en esta elección, no exenta de arbitrariedad.

En la Fig. 9 se muestran las series de temperaturas en los 4 niveles isobáricos para las tres fechas seleccionadas. En general, hay una buena correlación entre la temperatura en 850 hPa (T850) y la temperatura en 700 hPa (T700), con coeficientes de correlación de Pearson del orden o superiores a 0.8. En cambio, las temperaturas en 500 hPa y 300 hPa han seguido en ocasiones tendencias muy distintas. Es detectable en las tres fechas, y en todos los niveles en mayor o menor medida, un periodo frío comprendido entre los años 1967 y 1971, prolongándose con menos intensidad hasta 1973. Los accidentes de 1968 y 1970 pertenecen a este periodo frío. La fecha más fría ha sido, a lo largo del periodo de 30 años, el 15 de febrero y la más cálida el 31 de marzo, hechos que a priori no sorprenden.

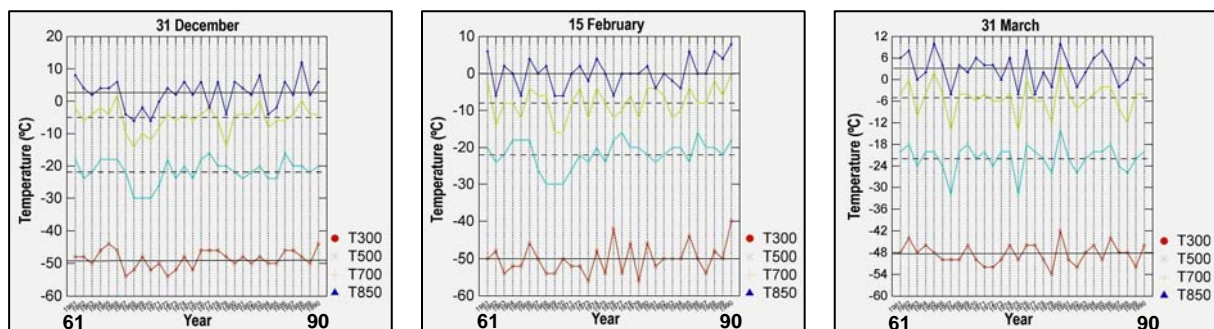


Fig. 9. Series temporales de temperaturas (°C) a 12 UTC para los días 31 de diciembre (Izq.), 15 de febrero (Centro) y 31 de marzo (Der.) de 1961 a 1990. Niveles: 300 hPa (inferior; rojo), 500 hPa (azul claro), 700 hPa (verde) y 850 hPa (superior; azul oscuro). Reanálisis del ECMWF.

La Fig. 10 es más interesante ya que en ella se comparan las temperaturas medias en los diferentes niveles isobáricos para las tres fechas escogidas con las representativas de los casos de estudio. En 850 hPa y 700 hPa las temperaturas registradas en los casos de estudio han sido siempre inferiores a la media para las fechas de referencia salvo para el caso de noviembre de 1984, con advección del sudoeste. En 500 hPa y 300 hPa hay algunas excepciones pero mayoritariamente ocurre lo mismo que en los dos niveles inferiores. Es decir, suponiendo la representatividad de las fechas escogidas, se puede concluir que los casos en los que se han registrado los siniestros son especialmente fríos a todos los niveles.

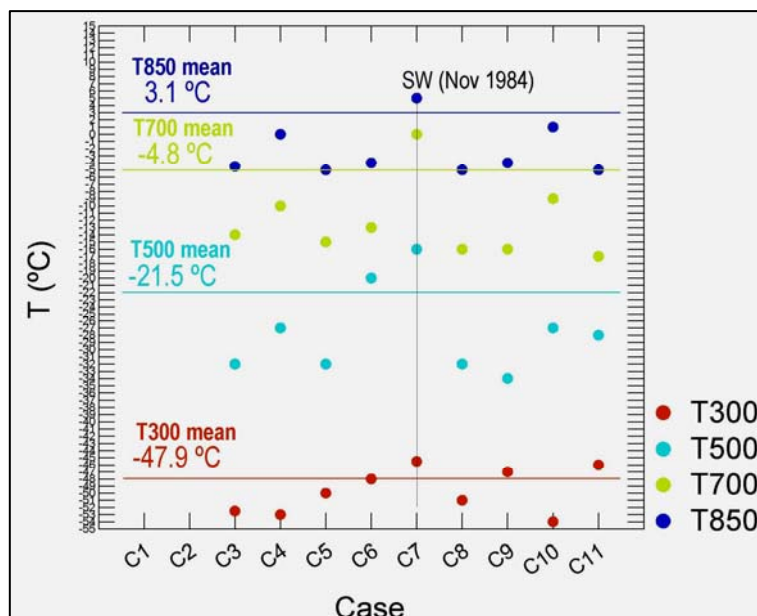


Fig. 10. Temperaturas representativas de los episodios escogidos en 300 hPa (inferior; rojo), 500 hPa (azul claro), 700 hPa (verde) y 850 hPa (superior, azul oscuro). Las líneas horizontales muestran los valores medios de las series de 30 años para las fechas de referencia y los cuatro niveles.

Se han analizado subjetivamente las situaciones sinópticas presentes en las tres fechas de referencia y se ha visto que las advecciones septentrionales y las continentales europeas representan algo más de un 30 % de las configuraciones sinópticas aparecidas en esas fechas. Este predominio es menos acentuado el 31 de diciembre que en las otras dos fechas. Otras situaciones con una frecuencia de aparición superior al 10 % han sido advecciones zonales, tanto de tipo ciclónico como anticiclónico, bajas dinámicas centradas en la cercanía del Pirineo y anticiclones centrados cerca o sobre la península Ibérica.

En cuanto a las direcciones de los flujos, en 500 hPa predominan los provenientes del tercer y el cuarto cuadrantes mientras que en superficie lo son los del cuarto y primer cuadrante en diciembre y los del primer y cuarto cuadrante (en este orden) el 15 de febrero y el 31 de marzo. Por lo tanto, las situaciones sinópticas presentes las fechas con accidentes en el Pirineo no son extrañas desde un punto de vista climatológico, al menos para las fechas y periodo temporal escogidos, así como tampoco lo son los flujos del primer y cuarto cuadrante en niveles bajos. Desde el punto de vista del análisis de riesgos se debe considerar en consecuencia tal frecuencia de advecciones septentrionales dado el peligroso tipo de tiempo que a menudo comportan en la alta montaña.

En la tabla 3 se muestran las temperaturas analizadas a distintas altitudes para distintas direcciones del flujo. Las temperaturas en todos los niveles isobáricos siempre son más bajas que las medias para la fecha en cuestión cuando el flujo es del primer cuadrante. Ello es especialmente visible en 700 hPa y 850 hPa. Cuando el flujo es del cuarto cuadrante la temperatura puede ser mayor o menor a la media según la masa de aire advectada, marítima polar o marítima tropical, fundamentalmente. En general, los flujos del cuarto cuadrante están asociados en todos los niveles a valores térmicos superiores a la media. La fecha en la que la temperatura en los diferentes niveles es más sensible al tipo de flujo es el 31 de marzo, es decir, las advecciones septentrionales o continentales europeas establecen a principios de primavera un tipo de tiempo térmicamente muy alejado de las condiciones medias.

	T300 (° C)	T500 (° C)	T700 (° C)	T850 (° C)
31 DEC 1(NE)/4(NW)	-49.5/ -47.3	-23.0/ -20.9	-7.5/ -5.6	-0.8/ 2.9
31 DEC Media	-48.7	-21.7	-5.3	2.4
15 FEB 1(NE)/4(NW)	-50.5/ -52.0	-22.2/ -21.0	-11.0/ -7.5	-2.5/ 1.5
15 FEB Media	-50.1	-21.8	-7.7	0.1
31 MAR 1(NE)/4(NW)	-49.2/ -46.3	-25.1/ -19.3	-9.3/ -2.7	-0.2/ 5.3
31 MAR Media	-48.4	-21.8	-5.2	3.1

Tabla 3. Temperaturas en cuatro niveles isobáricos. Valores medios para flujos del primer y cuarto cuadrante (NE/NW) y valores medios para todos los flujos. En azul se indican los valores inferiores a la media y en rojo los superiores. En negrita-azul aparecen aquellos en los que la diferencia es mayor a 2 °C.

Los centros de las bajas en superficie en estas tres fechas a lo largo de los 30 años de estudio se pueden agrupar básicamente en dos áreas geográficas (Fig. 11): Atlántico Norte y Mediterráneo Occidental. En el Atlántico Norte esta *clusterización* es más evidente para el 31 de diciembre que para las otras dos fechas. A su vez se puede destacar que a mediados de febrero aparece una relativamente mayor densidad de núcleos depresionarios entre las islas Baleares, la costa catalana y los golfos de Génova y León que en las otras dos fechas.

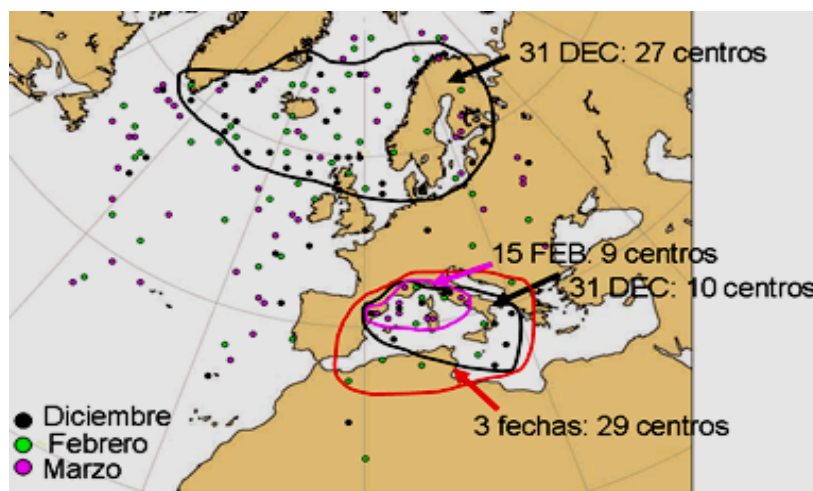


Fig. 11. Localización de los centros de baja presión en superficie para las tres fechas de referencia. Negro: diciembre. Verde: febrero. Rosa: marzo. Las líneas continuas cerradas engloban áreas de máxima densidad espacial de tales centros. Se indican algunos valores referentes al número de centros en dichas áreas para las distintas fechas. Fuente del mapa: ECMWF.

Cuando se obtienen estas localizaciones para las fechas en las que hay flujo del norte (Fig. 12) y se representan simultáneamente con la situación de los centros de alta presión en las mismas fechas, se obtienen las direcciones sintetizadas principales de desplazamiento de las masas de aire frío, marítimas o continentales, que afectan al Pirineo Oriental. El área atlántica situada entre las islas Azores y la península Ibérica es una región en la que frecuentemente se localiza un centro de alta presión más o menos elongado latitudinalmente. Por otro lado, es posible que un centro anticiclónico principal o secundario, asociado al

anticiclón atlántico, se extienda hacia el este, sobre el oeste y centro de Europa o sobre el Mar del Norte y Escandinavia. Más raramente un centro de altas presiones sobre Rusia o el oeste de Siberia influye en el tipo de tiempo observado en el Pirineo Oriental.

La disposición del dipolo sinóptico de presión formado por el centro de altas presiones y la baja o bajas presentes en el ámbito europeo-atlántico en las mismas fechas determina en última instancia la dirección precisa del flujo incidente sobre el nordeste ibérico. Se debe señalar que no siempre tal dipolo está bien definido siendo únicamente un potente anticiclón o una profunda depresión los que establecen el flujo predominante. Las borrascas centradas en el entorno de Islandia establecen flujos del noroeste, marítimos y las situadas sobre Europa del este, del norte-nordeste, muy fríos y más continentalizados. Las últimas direcciones principales son las provenientes del nordeste o del este-nordeste, desplazando masas de aire muy frías y continentales las primeras y probablemente algo más húmedas las segundas. El anticiclón ruso es responsable de las trayectorias del nordeste mientras que en algunas ocasiones la combinación de una depresión en el Mediterráneo Occidental y el centro de altas presiones en el centro-este de Europa determinan un flujo más zonal.

Cuando se compara la localización de los centros de alta y baja presión en superficie correspondientes a los casos de estudio con la figura anterior (Fig. 12) se comprueba que mientras que la presencia y posición del anticiclón de las Azores no han sido tan evidentes, sí hay una máxima densidad espacial de localizaciones de depresiones en superficie coincidente en buena medida con las áreas “climatológicamente favorables”, especialmente en el caso de las depresiones mediterráneas. Se deben destacar dos elementos singulares: la existencia de un mínimo barométrico frente de las costas portuguesas, asociado obviamente al episodio de flujo de sudoeste de 1984 y los cuatro centros situados sobre Centroeuropa y sur de Escandinavia correspondientes al caso de diciembre de 1968, marzo de 1970 y noviembre de 1978. Se constata una clara ausencia de depresiones en el área islandesa y por tanto, una menor presencia relativa de los flujos marítimos del noroeste respecto a los continentales.

El último aspecto sinóptico que se considera es la localización de los centros depresionarios y anticiclónicos en 500 hPa, tanto en lo que respecta a las series temporales de 30 años para las tres fechas de referencia, bajo flujo septentrional, como para el caso de los episodios con siniestros (Fig.13). La distribución espacial “climatológica” muestra claramente que, en situaciones del norte, no se sitúan depresiones en 500 hPa al oeste de una línea que se extiende entre el oeste de Islandia, el oeste de Irlanda y el Mediterráneo Occidental, y que el anticiclón atlántico domina la configuración sinóptica. En unas pocas fechas se identifica en los reanálisis un máximo barométrico sobre Escandinavia en la atmósfera media y ninguno en el resto del continente europeo, indicando, por lo tanto, que los anticiclones presentes en superficie (Fig. 12) tienen en su origen un componente fundamental de tipo térmico.

La máxima densidad de centros de alta presión se encuentra al norte de las Azores, mientras que respecto a los mínimos se esbozan tres áreas de máxima densidad (Fig. 13), dos de ellas superpuestas a las correspondientes zonas de máxima densidad en superficie (Fig. 12): el máximo del Mediterráneo Occidental y el de Europa oriental. El máximo sobre Inglaterra no parece tener un reflejo directo en superficie pudiendo estar ligado a depresiones sobre los golfos de Génova y León. La intensidad del flujo de componente norte es mayor para estas tres series temporales en las fechas en las que la baja en 500 hPa se sitúa en el sector oriental (línea de trazos azul claro de la Fig. 13) y/o el anticiclón lo hace al norte de las Azores y bastante al sur de Islandia (línea de trazos rosa de la Fig. 13). Las *L* de color azul

claro y las *H* rosas son las localizaciones de las bajas y altas respectivamente en situaciones de flujo del norte especialmente intenso en 500 hPa.

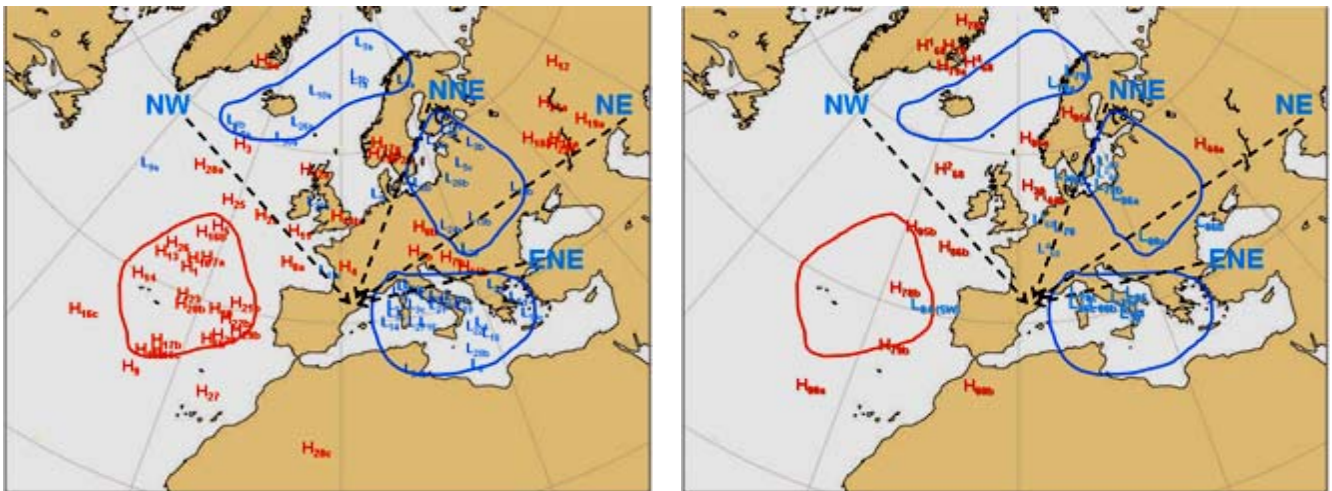


Fig. 12. Localización de los centros de baja (L; azul) y alta presión (H; rojo) en superficie para las tres fechas de referencia (Izq.) y para los casos de estudio (Der.), para flujos del norte sobre el Pirineo Oriental. Las líneas continuas cerradas engloban áreas “climatológicas” de máxima densidad espacial de tales centros. Izq.: El subíndice que acompaña a cada centro (L ó H) indica el número de orden de aparición de tal núcleo empezando a numerar a partir del 31 de diciembre de 1961 hasta el 31 de marzo de 1990. La letra añadida al número distingue los diferentes centros aparecidos en el mismo análisis (misma fecha). Der.: El subíndice que acompaña a cada centro indica el año (dos últimas cifras) del episodio. La letra añadida al número distingue los diferentes centros aparecidos en el mismo análisis (misma fecha). Las líneas a trazos y flechas indican las principales direcciones del flujo del norte asociadas a las diferentes configuraciones báricas en superficie, a escala sinóptica. Están indicados los rumbos asociados a tales direcciones. Fuente del mapa: ECMWF.

En el caso de los eventos estudiados se constata que, salvo la localización de la baja en el episodio de noviembre de 1984, todas las demás se sitúan en las áreas “climatológicamente favorables”, destacando la densidad espacial de centros en el área oriental y en el área meridional, instaurándose con mayor facilidad por tanto flujos del NNE o del NE en niveles medios, fríos y secos en general.

Conclusiones

Los riesgos meteorológicos son uno más de los riesgos naturales que afectan al practicante de una actividad turística/deportiva en la montaña. La combinación de nevada, viento fuerte y temperaturas bajas está frecuentemente asociada a siniestros fatales en España, especialmente en la alta montaña. Desde el punto vista sinóptico, este tipo de tiempo se ha establecido habitualmente bajo advecciones septentrionales o continentales europeas o durante el paso de vaguadas atlánticas. En la mayoría de los casos se ha identificado el paso de un frente frío en días previos al accidente o durante el mismo día. El análisis de los casos aquí mostrados y de muchos otros registrados en otras zonas y épocas del año sugiere que en determinados tipos de tiempo muy adversos y suponiendo el mismo grado de exposición, la vulnerabilidad de los montañeros depende poco de sus aptitudes.

En ocasiones, se han vivido condiciones ambientales invernales en alta montaña en pleno verano. Estos episodios entrañan un gran riesgo, no tanto por la peligrosidad de los fenómenos en si, sino por las elevadas exposición y vulnerabilidad del colectivo de personas presentes en dicha estación en la montaña. Los accidentes seleccionados en este estudio, sin

embargo, se han registrado entre los meses de noviembre y abril, siendo diciembre el mes con mayor número. No hay ningún caso en el mes de enero. El aumento en la frecuentación de la montaña asociado a períodos de vacaciones o fines de semana condiciona la distribución diaria, semanal y mensual de los accidentes.

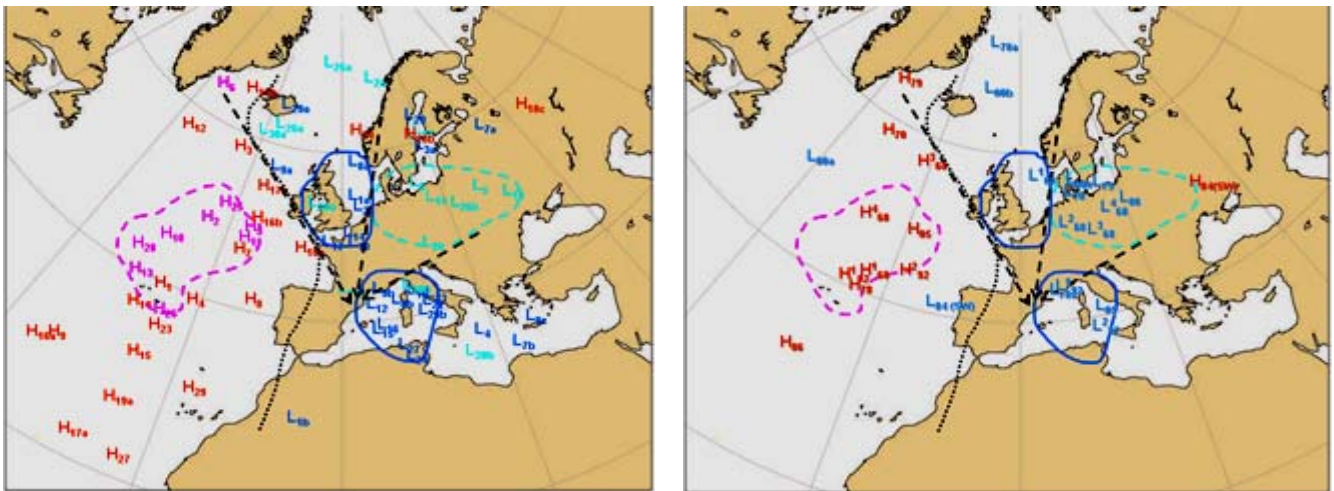


Fig. 13. Localización de los centros de baja (L; azul) y alta presión (H; rojo o rosa) en 500 hPa para las tres fechas de referencia (Izq.) y para los casos de estudio (Der.), para flujos del norte sobre el Pirineo Oriental. Las líneas continuas o discontinuas cerradas engloban áreas “climatológicas” de máxima densidad espacial de tales centros. Izq. Y Der.: Para el significado del subíndice ver Fig. 12. Las líneas a trazos y flechas indican las principales direcciones del flujo del norte asociadas a las diferentes configuraciones bariométricas a 500 hPa a escala sinóptica. La línea de puntos separa las áreas en las que aparecen núcleos ciclónicos de aquellas en las que no aparecen. Fuente del mapa: ECMWF.

En algunos casos se ha registrado nevada y en otros no pero en estos segundos, sin embargo, hay probablemente nieve en el suelo que, como consecuencia de las bajas temperaturas, está poco cohesionada. La visibilidad ha sido reducida por precipitación en forma de nieve y/o nieve en suspensión levantada del suelo por el viento debido a su escasa cohesión. Los vientos han sido fuertes, con rachas probablemente superiores a los 120 km/h y las temperaturas negativas buena parte del día. La combinación de bajas temperaturas y vientos fuertes se ha traducido en unos valores del índice de frío muy bajos y por tanto en unas condiciones propicias para la aparición de congelaciones e hipotermia.

La configuración sinóptica recurrente en estos episodios consiste en la presencia de un anticiclón al norte de las Azores más o menos alargado latitudinalmente y una depresión, tanto en superficie como en 500 hPa, sobre diferentes áreas comprendidas entre las Islas Británicas y el Mediterráneo Occidental y entre Francia y Europa del Este. El hecho de que el breve estudio climatológico haya mostrado que este patrón bariométrico es común en la época fría del año, y en consecuencia, la aparición de flujos de componente norte intensos también lo sea, sugiere que el riesgo meteorológico asociado es bastante elevado. Este hecho debe ser tenido en cuenta en la formación de aficionados y profesionales del montañismo y en la forma y lugares de difusión de la información meteorológica. El probable comportamiento como corriente de densidad de la masa fría que atraviesa de norte a sur el Pirineo se manifiesta en forma de un aumento brusco de la velocidad del viento acompañado de un descenso igualmente rápido de la temperatura, incrementándose así la peligrosidad del fenómeno.

Agradecimientos

Diferentes personas nos han suministrado información oral referente a algunos de los casos estudiados. Es necesario agradecer especialmente la amabilidad del Ayuntamiento de Queralbs al permitir disponer de datos sus archivos. También querríamos agradecer a varias personas del CMT en Catalunya su colaboración en la búsqueda de mapas sinópticos, especialmente a Isidro Jabato por facilitar el acceso a la Biblioteca Patxot ubicada en el CMT.

Bibliografía

- Arasti, E., 2001. *Estudio de la galerna típica del Cantábrico*. Nota Técnica del CMT en Cantabria y Asturias. INM. Ministerio de Medio Ambiente.
- Ayala-Carcedo, F. J. y J. Olcina (Coord.), 2002. *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel.
- Barry, R.G., 1981. *Mountain weather and climate*. New York: Methuen. Reeditado en 2001 por Routledge.
- Bougeault, *et al.*, 1993. The atmospheric momentum budget over a major mountain range: first results of the PYREX field program. *Annales Geophysicae*, **11**, 395-418.
- Campins, J., Calvo, J. and A. Jansà, 1997. The tramontane wind: Dynamic diagnosis and Hirlam Simulations. INM/WMO International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Mallorca, Spain, April 14-19.
- Campins, J., Aran, M., Genovés, A. and A. Jansà, 2007. High impact weather and cyclones simultaneity in Catalonia. *Advances in Geosciences*, **12**, 115-120.
- Doswell, C., 2001. Thunderstorms and Camping Safety. http://www.cimms.ou.edu/~doswell/tstm_camping_safety.html.
- Fuster, J. y B. Elizalde, 1995. Riesgo y actividades físicas en el medio natural: un enfoque multidimensional. Apuntes. *Educación Física y Deportes*, **41**, 94-107.
- George, D. J., 1993. Weather and mountain activities. *Weather*, **48**, 404-410.
- Jansà, A., 1997. A general view about mediterranean meteorology: cyclones and hazardous weather. INM/WMO International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Mallorca, Spain, April 14-19.
- Pascual, R., 2001. La situació meteorològica del 30 de desembre de 2000 al Pirineu Oriental. *Penell*, **9**.
- Pascual, R., 2005. El efecto Föhn en el Pirineo Catalán. Características generales y un caso de estudio. *Boletín de la AME*, **10**, 20-24.
- Sacasas, J., 1999. *Meteorologia del Pirineu Català*. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Montserrat.