

Accidentes de montaña asociados a flujos del norte invernales en el Pirineo Mediterráneo

R. Pascual y A. Callado

Delegación Territorial en Cataluña, Agencia Estatal de Meteorología. C. Arquitecte Sert, núm. 1, 08005 Barcelona

Recibido: 15-IV-2009 – Aceptado: 4-II-2010 – **Versión original**

Correspondencia a: rpascualb@aemet.es

Resumen

El Pirineo Mediterráneo, en el extremo oriental de la cordillera, es un área muy frecuentada. Su cota máxima supera los 2900 m s.n.m. y numerosos picos superan los 2000 m s.n.m., siendo el relieve redondeado y la vegetación escasa sobre esta última cota. Una característica climática invernal relevante es la ocurrencia de entradas bruscas de aire frío con vientos violentos del norte, caída de las temperaturas y valores de índice de frío muy bajos. Tales advecciones se establecen tras el paso de un frente frío nivoso y, en consecuencia, hay un abundante transporte de nieve, tanto nueva como preexistente, que reduce notablemente la visibilidad horizontal. Las condiciones post-frontales representan en cotas altas una seria amenaza para las personas. El examen realizado muestra que los montañeros inmersos en un ambiente de visibilidad reducida, vientos fuertes y temperaturas muy bajas pueden rápidamente desorientarse, sufrir congelaciones e hipotermia y resbalar en el hielo. La caracterización de un conjunto de accidentes ocurridos en este ámbito geográfico, identificados en la prensa, ha mostrado en este trabajo que la fenomenología asociada a las advecciones septentrionales invernales es un elemento de peligro a considerar en la evaluación de los riesgos naturales en dicha área. Además, el carácter múltiple de muchos de los sucesos insinúa que la vulnerabilidad a tales peligros es elevada. El análisis climatológico presentado sugiere que tales condiciones no son raras en invierno, aunque los siniestros más graves se han registrado bajo flujos especialmente fuertes y fríos. Las conclusiones extraídas recomiendan que las condiciones meteorológicas descritas, llamadas localmente torb, deben ser conocidas por los visitantes de estas montañas en invierno y su aparición anunciada en los boletines meteorológicos, que a su vez deben ser suficientemente difundidos en las zonas de mayor afluencia de turistas y montañeros.

Palabras clave: accidentes de montaña, Pirineo, temporal invernal, torb

1 Introducción

Los accidentes producidos durante la práctica de actividades turístico/deportivas en la montaña pueden tener causas diversas siendo los riesgos meteorológicos uno más de los riesgos naturales presentes. Otros son los biológicos, geomorfológicos, fluviales, nivológicos/glaciales, etc. (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002). En el que probablemente fuera el primer estudio mínimamente exhaustivo sobre accidentabilidad en montaña, presentado por Perelló y Reñé (1953), ya se hacían claras referencias a la relación entre los siniestros y las condiciones meteorológicas.

Algunos de los meteoros o condiciones atmosféricas más peligrosos y que comportan un riesgo mayor en la práctica del montañismo son las tormentas (Doswell, 2001), las nevadas fuertes y/o abundantes, los vientos fuertes de origen no convectivo, las temperaturas extremas y las nieblas. Los tipos de tiempo observados en los días con accidentes asociados a priori a las condiciones meteorológicas, son agrupables subjetivamente partiendo de características como el valor estimado de diferentes variables atmosféricas, la presencia de diferentes meteoros o la época del año. Se puede hablar, por ejemplo, de temporales invernales,



Tabla 1. Casos seleccionados y sus principales características de flujos del norte en el Pirineo Mediterráneo. Exc.: Excursionistas. Esq.: Esquiadores.

Casos (núm. identificativos)	Fecha	Lugar de referencia	Comarca	Municipio	Altitud (m)	Núm. de muertos
0	S. XIX (1850)	Noucreus (cima)	Ripollès	Queralbs	2800	9
1	17/02/1930	La Tosa d'Alp (cima)	Cerdanya	Alp	2000-2200	1 (Esq.)
3	27-30/12/1968	Gargantas del Freser	Ripollès	Queralbs	1700-2000	3 (Exc.)
4	8/03/1970	Gargantas del Freser	Ripollès	Queralbs	1700-2500	1 (Exc.)
5	26/11/1978	Costabona (cima)	Ripollès	Setcases	2200	3 (Exc.)
6	31/12/1979	Torrreneules (cima) (ver Figura 3a)	Ripollès	Queralbs	2200-2600	3 (Exc.)
8	23/12/1986	Tirapits (collado)	Ripollès	Queralbs	2700	2 (Exc.)
9	16-17/04/1992	Canigó (cima)	Conflent	-	1500-2700	1 (Exc.)
10	30/12/2000	Balandrau (cima)	Ripollès	Queralbs	2300	9 (Exc./Esq.)

Tabla 2. Casos complementarios y sus principales características que no son flujos del norte y/o no se localizan en el Pirineo Mediterráneo. Exc.: Excursionistas. Esq.: Esquiadores.

Casos (núm. identificativos)	Fecha	Lugar de referencia	Comarca	Municipio	Altitud (m)	Núm. de muertos
2	6/03/1944	Matagalls (Montseny) (cima)	Vallès Or.	El Brull	1400	2 (Esq.)
7	4/11/1984	Puigmal (cima)	Ripollès	Queralbs	2700	2 (Exc.)
11	15/02/2005	Montardo (cima)	Vall d'Aran	Naut Aran	2100-2800	1 (Exc.)

episodios tormentosos o situaciones con visibilidad muy reducida.

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 durante verdaderas olas de frío, que han afectado a gran parte de la Península Ibérica, ha habido accidentes incluso en cotas inferiores a los 1000 m, especialmente en su mitad norte (Pascual, 2008). En algunos episodios, como el caso seleccionado 10 (12/00) (en adelante los casos se referenciarán por su número identificativo y entre paréntesis se especificará el mes y el año) (Tabla 1) (Pascual, 2001; Vilà, 2001; García y Vilar, 2006; Pons, 2008), se han registrado simultáneamente accidentes con víctimas mortales en puntos alejados de una misma cordillera -Ripollès (Girona), Pallars Sobirà (Lleida) y Sobrarbe (Huesca) en el Pirineo- e incluso en diferentes cordilleras, como en el episodio de abril de 1994 en el que hubo un accidente mortal en el valle de Ordesa y otro en los Picos de Europa.

Este tipo de tiempo se ha establecido habitualmente bajo advecciones sinópticas septentrionales o continentales europeas o durante el paso de vaguadas atlánticas aunque hay excepciones como el caso complementario 7 (11/84) (Tabla 2), cuando, con una advección sinóptica del SW, cayeron fuertes nevadas y las temperaturas fueron bajas. En este evento un excursionista murió, probablemente por hipotermia, tras perderse en el macizo del Puigmal (Pirineo Mediterráneo) debido a la mala visibilidad. Se debe considerar, sin embargo, que tal advección, establecida por una depresión

atlántica, 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 que han entrañado 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 día 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 se presentan una serie de accidentes mortales sucedidos en el Pirineo Mediterráneo, al este de la Cerdanya, asociados a temporales invernales. Complementariamente se nombran dos casos de características meteorológicas y epidemiológicas muy similares pero fuera de esta zona (casos 2 (03/44) y 11 (02/05) (Zaragoza, 2008) de la Tabla 2). Las configuraciones sinópticas presentes durante estos episodios se han ajustado, excepto una (caso complementario 7 (11/84) de la Tabla 2), al mismo patrón: advecciones de componente N. 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 en el Pirineo Mediterráneo con el nombre de *torb*.

Cabe decir que, aunque hay escasos trabajos que muestren análisis sobre temporales de viento en el Pirineo (la mayoría de los cuáles se han referenciado aquí), sí existen diversos estudios que analizan episodios impor-

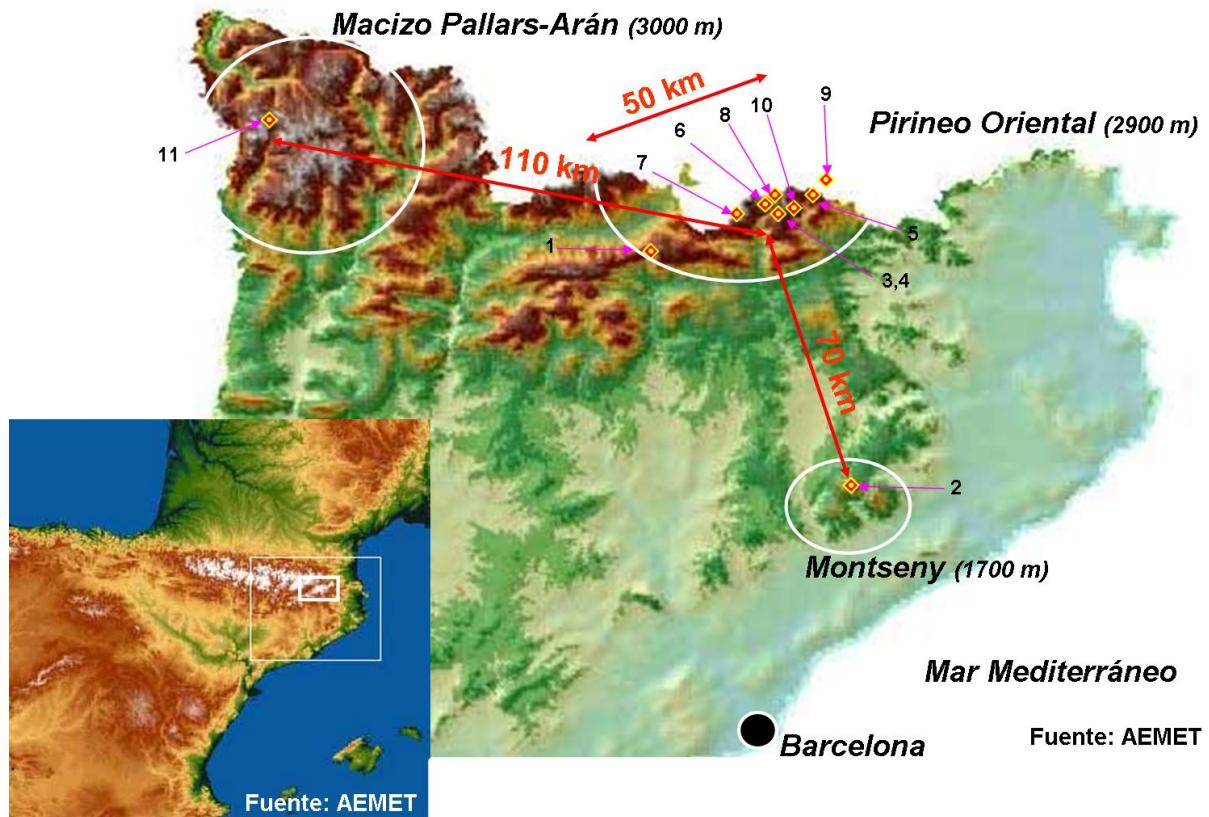


Figura 1. Ámbito de estudio. La numeración de los casos corresponde a la de las Tablas 1 y 2. Se indican los tres sectores en los que se registran los accidentes, las distancias entre ellos y una dimensión característica del Pirineo Mediterráneo.

tantes de nevadas y su posible relación con períodos con frecuentes aludes o aludes de grandes dimensiones (por ejemplo: García y Salvador, 1994; Esteban et al., 2007; García et al., 2007, García et al., 2008). También se han publicado trabajos sobre accidentabilidad en montaña ligada a aludes (por ejemplo: Rodés, 1999; IGC, 2006), pero ninguno sobre accidentabilidad relacionada con condiciones meteorológicas salvo Pascual (2008).

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 sinópticos y mesoscales 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. Finalmente, se esbozan unas breves conclusiones, con objeto de introducir sugerencias cuyo fin sea mitigar el riesgo asociado a los temporales invernales.

2 Ámbito geográfico

El área de estudio (Figura 1) es el sector pirenaico gerundense comprendido entre la fossa tectónica de la Cerdanya y el Mediterráneo aunque 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 Mediterráneo u Oriental. Bajo este término se incluyen, a veces, los montes limítrofes entre Andorra y la Cerdanya, área en la cual no se ha registrado ningún accidente de las características señaladas. También se ha considerado un siniestro en la Tosa d'Alp (2536 m), en el límite entre el Prepirineo barcelonés y el Pirineo Oriental. Los casos complementarios 11 (02/05) y 2 (03/44) (Tabla 2) se han situado respectivamente 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.

Entre el lugar del accidente de la Tosa d'Alp y el del Canigó hay una distancia de unos 50 km y 8 de los 10 casos seleccionados (excluyendo los casos complementarios 11 (02/05) y 2 (03/44)) se agrupan en un territorio de 160 km². Los lugares de los dos accidentes ocurridos en el Pirineo axial más alejados entre sí (Puigmal y Canigó) distan 25 km (Figura 2). De estos casos, 8 se sitúan en la comarca del Ripollès, uno en la Cerdanya (Tosa d'Alp) y otro en el Conflent (Canigó; departamento francés de los Pirineos Orientales).

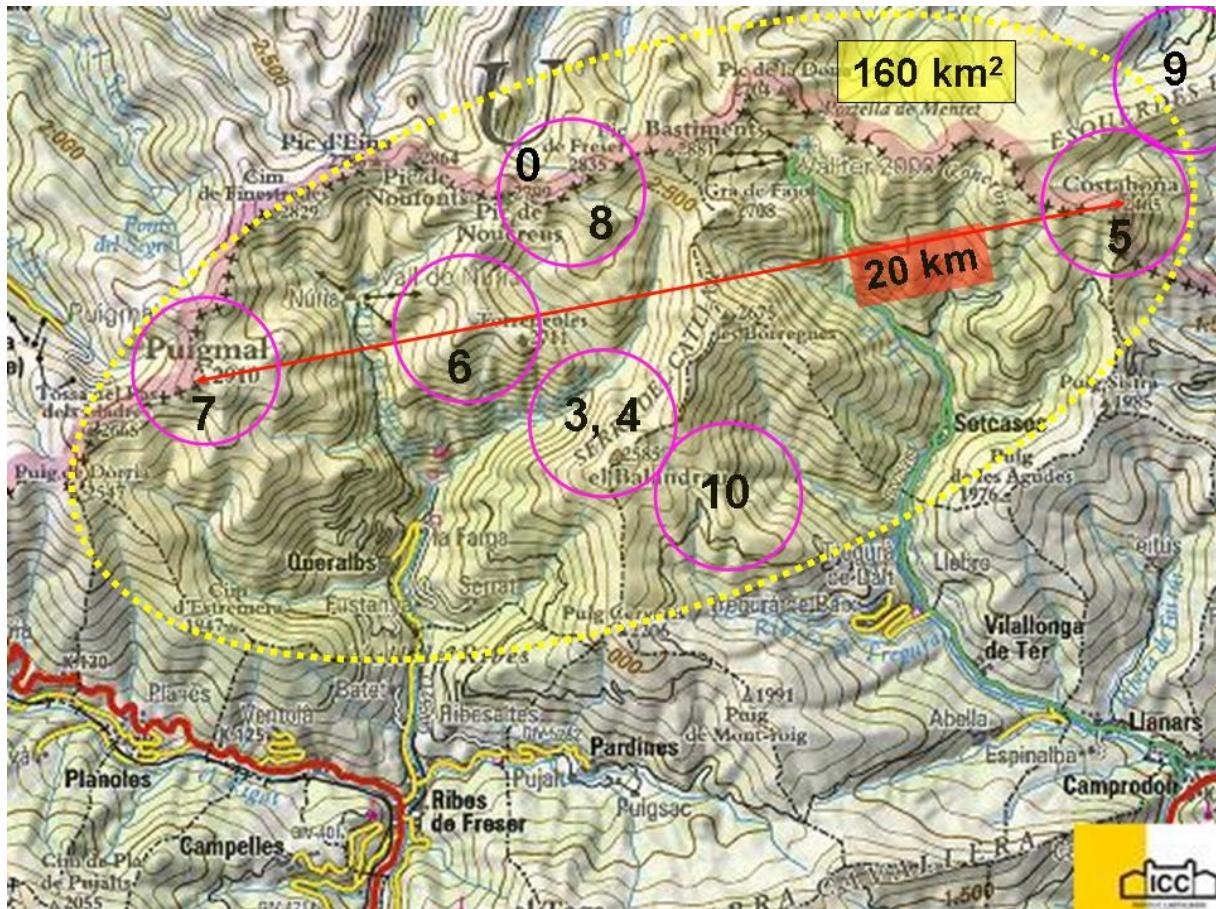


Figura 2. Sector axial del Pirineo Oriental en el que se muestra la localización aproximada de 9 accidentes mortales y dimensiones orientativas del sector.

El municipio de Queralbs (Girona) es probablemente uno de los municipios españoles con más accidentes mortales en montaña por causas meteorológicas (Pascual, 2008). Se puede considerar el Santuario de Nuria (1950 m), en Queralbs, como el centro de un área montañosa llamada, en consecuencia, Montañas de Nuria. Siete de los accidentes reseñados se han producido a 10 km o menos del santuario.

Aunque la elevada frecuencia de aparición de unas determinadas condiciones atmosféricas está detrás, sin duda, del elevado índice de siniestralidad de la comarca, otros factores naturales y sociales también favorecen que sea así. En primer lugar, la morfología de estas montañas está caracterizada, por encima de los 2000 m y excepto en sectores concretos, 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. Por debajo de los 2000 m existen algunos sectores abruptos, escarpaduras y gargantas, como las de los ríos Nuria o Freser, donde precisamente ha habido algunos accidentes mortales.

Por otro lado, la llegada en 1919 del tren hasta el pueblo de Ribes de Freser y la del tren cremallera al Santuario de Nuria en 1931, han permitido la entrada masiva de turistas y

excursionistas a estas montañas. 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.

3 Casos seleccionados

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

- Se han buscado noticias en diversas hemerotecas digitales de ámbito catalán o español, siendo la más completa en el momento de realizar este estudio la de *El País*, disponible desde 1976 (actualmente la hemeroteca digital de *La Vanguardia* permite consultar ejemplares desde 1881). El *Servei de Gestió Documental, Arxiu i Publicacions de l'Ajuntament de Girona* facilita en su página web el acceso y la herramienta de búsqueda en prensa digitalizada desde 1808, pero solamente se ha consultado sistemáticamente desde 1965 y en algunos casos concretos anteriores (1930 y 1944). Gra-

Tabla 3. Valores térmicos estimados a la altitud de los accidentes a partir de los niveles isobáricos de 850 y 700 hPa, y valores de viento a diferentes niveles isobáricos, de la atmósfera libre a partir de los reanálisis de cada 6 horas del ECMWF y del NCEP/NCAR para los casos seleccionados y complementarios. Los cinco casos más fríos tienen la sensación térmica en negrita, mientras que los cinco casos con mayor intensidad del viento tienen esta variable a 850 hPa en negrita.

Casos	Temperatura (°C)	Índice de frío o Windchill (°C)	Intensidad (km h^{-1}) y dirección del viento		
			300 hPa	700 hPa	850 hPa
1(02/30)	-10/-12	-23/-27	Sin dato	Sin dato	(NE, SFC)
2(03/44)	-5/-10	Sin dato	Sin dato	Sin dato	(NE, SFC)
3(12/68)	-8/-11	-20/-22	191(NNW)	76(NW)	50(NW)
4(03/70)	-1/-7	-9/-17	162(WSW)	72(W)	36(W)
5(11/78)	-10	-23	216(N)	101(N)	108(N)
6(12/79)	-4/-7	-16/-19	234(NNW)	144(NNW)	83(NW)
7(11/84)	-4	-12	112(S)	83(S)	50(S)
8(12/86)	-14	-27	202(WNW) 158(NE)	76(NNW) 94(NE)	86(N)
9(04/92)	-5/-14	-14/-28	194(NE)	97(N)	90(N)
10(12/00)	-4(-7)	-14(-19)	216(NNW)	86(N)	97(N)
11(02/05)	-8/-13	-21/-28	180(N)	72(NNE)	54(NE)

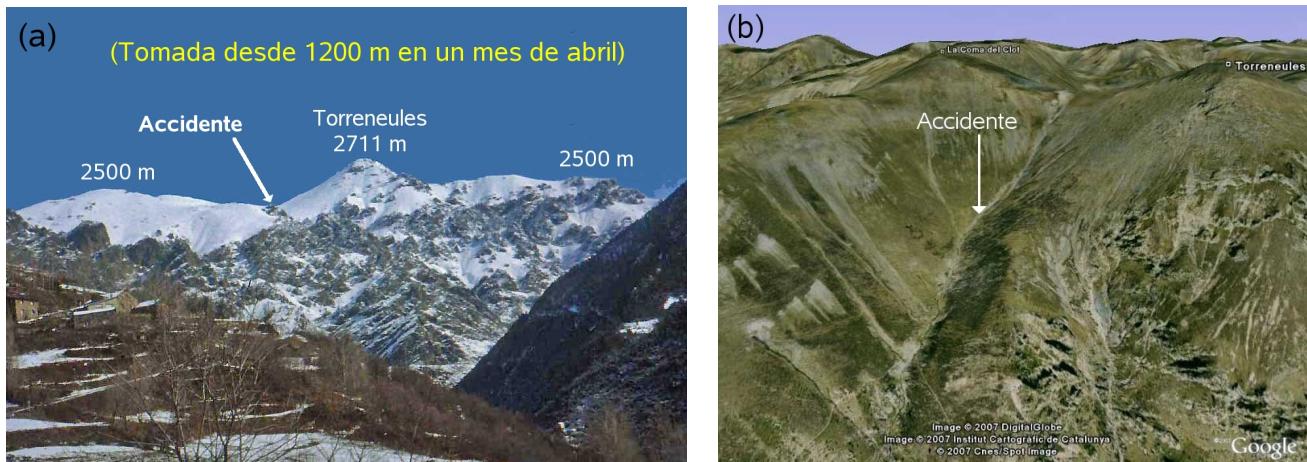


Figura 3. (a) Macizo del Torreneules y (b) localización aproximada del accidente mortal ocurrido a finales de diciembre de 1979 (caso 6 (12/79)).

cias 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 Vanguardia*, para fechas posteriores al 2001.

- Otra fuente fundamental de información es el artículo de Perelló y Reñé (1953), el cual recoge 46 accidentes ocurridos en España en la primera mitad del siglo XX entre los cuales dos de ellos están claramente vinculados a meteorología invernal adversa: uno en la zona de estudio (Tosa d'Alp) y otro en el Montseny.
- Para corroborar algunos datos se ha contactado con el ayuntamiento de Queralbs y, en unos pocos casos y de forma informal, con personas indirectamente relacionadas con los siniestros o con las operaciones de rescate efectuadas.

En la Tabla 1 se muestran las características de los casos seleccionados con flujos del norte en el Pirineo Mediterráneo, advirtiendo que en algunos hay una notable incertidumbre en cuanto a la fecha y localización exactas del accidente.

Se han incluido tres casos complementarios de interés (ver Tabla 2) que o no poseen un flujo del norte o no pertenecen al ámbito geográfico de estudio, pero que sí muestran las mismas o parecidas tipologías de los accidentes, y por tanto, permiten ampliar y comparar los casos seleccionados. Dos de ellos, los casos 2 (03/44) y 11 (02/05), se incluyen para estudiar y comparar las mismas características meteorológicas de flujos del norte en otros ámbitos geográficos próximos al Pirineo Oriental, como son respectivamente el Montseny y el Pirineo Occidental catalán. También es incluido el caso 7 (11/84), poco habitual pero no imposible, de la misma tipología de accidentes sin flujos del norte

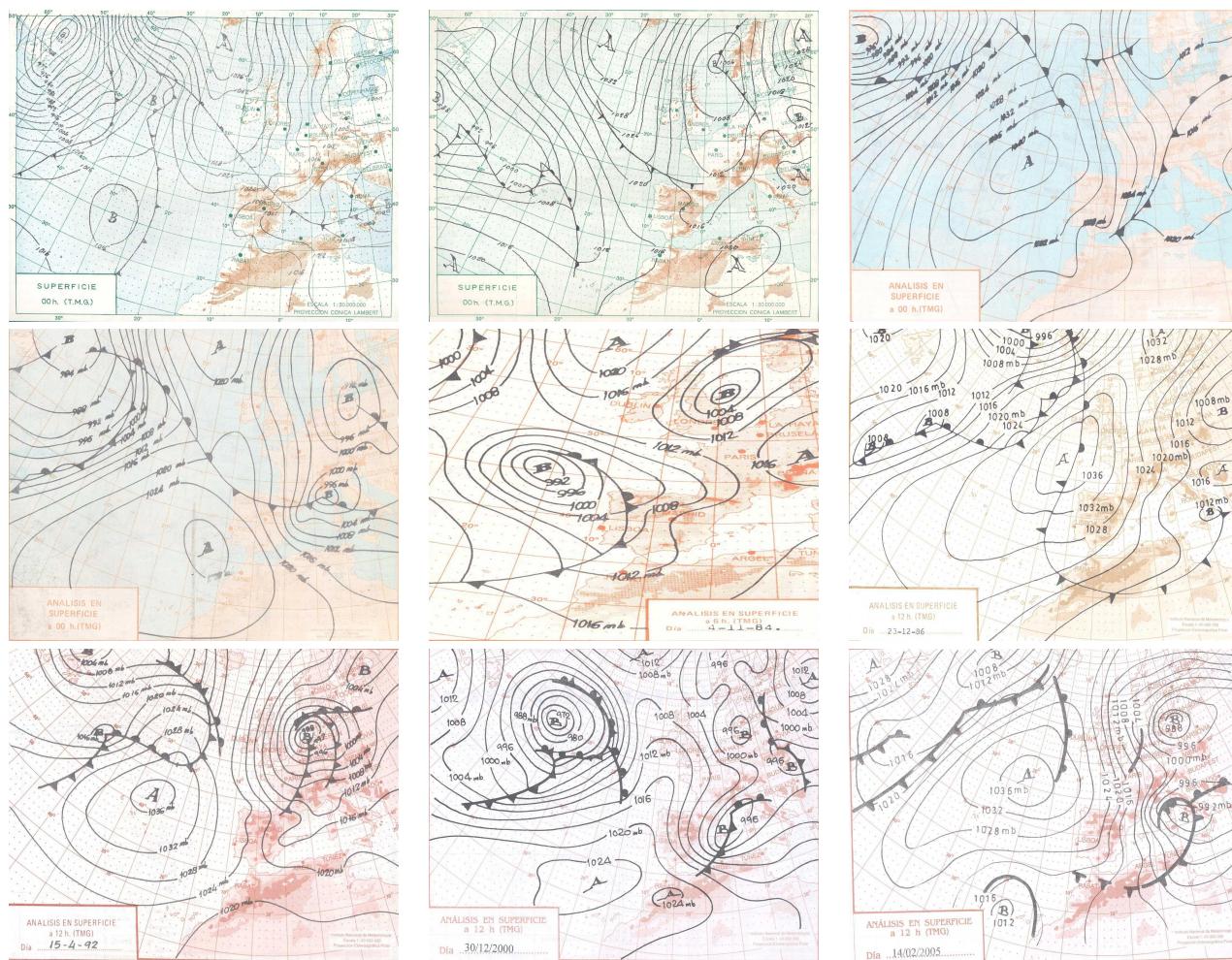


Figura 4. Análisis de presión en superficie y análisis frontal. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: 27/12/68 00 UTC (caso 3 (12/68)); 8/03/70 00 UTC (caso 4 (03/70)); 26/11/78 00 UTC (caso 5 (11/78)); 31/12/79 00 UTC (caso 6 (12/79)); 4/11/84 06 UTC (caso 7 (11/84)); 22/12/86 12 UTC (caso 8 (12/86)); 15/04/92 12 UTC (caso 9 (04/92)); 30/12/00 12 UTC (caso 10 (12/00)); y 14/02/05 12 UTC (caso 11 (02/05)). Fuente: AEMET.

(flujo del SW), pero con una procedencia de la masa de aire parecida a los casos objeto de estudio.

4 Características de los accidentes y de las condiciones meteorológicas

De la observación de las Tablas 1 y 2 se extraen de los casos seleccionados (excluyendo el caso 0 (S. XIX) en las estadísticas) y de los complementarios algunas características generales:

- El aumento en la frecuentación de la montaña asociado a vacaciones o fines de semana condiciona, lógicamente, la distribución diaria, semanal y mensual de los accidentes (el 70% de los casos y el 81% de las víctimas mortales sucedieron en días no laborables). También es remarcable el relativamente elevado número de accidentes entorno a Navidad y Fin de Año

(por ejemplo, el 40% de los casos con el 65% de las víctimas), coincidiendo por otro lado con los días más cortos del año.

- Los accidentes, entre los meses invernales del Pirineo de noviembre a abril, registran un máximo el mes de diciembre y un mínimo en enero sin ningún caso, en parte condicionados probablemente por lo expuesto en el punto anterior.
- Excepto en el caso del Montseny (caso 2 (03/44)), los accidentes han ocurrido por encima de los 1500 m - 1700 m. Además el 80% de ellos (85% de las víctimas), han ocurrido sobre los 2000 m, es decir, en la alta montaña.
- A diferencia de los accidentes debidos a errores técnicos en la progresión 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 so-

lamente una muerte el excursionista iba solo lo que sugiere que, en el caso de haber estado presentes más personas, quizás el accidente hubiese sido más grave aún.

De la información disponible en la prensa, algunas observaciones meteorológicas dispersas, relatos de personas implicadas y estimaciones a partir de reanálisis de modelos numéricos ECMWF (ERA-40) (<http://www.ecmwf.int/services/archive>) y NCEP/NCAR (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsslppeur.html>) se pueden establecer, aunque con incertidumbre, las posibles causas de los fallecimientos y de las causas naturales que condicionan las ocurrencias de los accidentes. Para las últimas se propone:

- Presencia de nieve poco cohesionada, en unos casos por nevada en el momento del accidente, y en otros, por nevadas recientes en un proceso muy lento de transformación y apelmazamiento debido a las bajas temperaturas.
- Condiciones de visibilidad reducida por nevada y/o nieve en suspensión levantada del suelo por el viento debido a su escasa cohesión.
- Vientos fuertes o muy fuertes, con rachas, en algunos casos, superiores a los 120 km h^{-1} . Sacasas (1999) sugiere que en algunas cimas del Pirineo Oriental, como el Bastiments (2881 m), es posible que se hayan rebasado los 200 km h^{-1} en vendavales extraordinarios. García y Vilar (2006) indican que en el caso 10 (12/00) se registró una racha máxima de 138 km h^{-1} en la estación meteorológica automática de Ulldeter (2380 m), del *Servei Meteorològic de Catalunya*, situada a 6 km del lugar del accidente.
- Temperaturas negativas buena parte del día y valores del índice de frío muy bajos.

Los cambios, a menudo repentinos, en las condiciones atmosféricas implican variaciones en las del terreno, tanto en lo que hace referencia a la superficie (nevada o no), como en la estabilidad del manto nivoso. 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. Debido a estos cambios (sobre todo sobre terrenos nevados) la percepción del entorno por parte de los excursionistas los puede llevar a errores fatales en la toma de decisiones (grado de pendiente, desorientación, falta de referencias visuales, etc.).

Dos términos anglosajones describen las condiciones ambientales presentes cuando se combinan los elementos anteriores: *blizzard* y *whiteout*. *Blizzard* es, según TERMCAT (2009), un estado del tiempo caracterizado por temperaturas extremadamente bajas, viento fuerte y una reducción casi total de la visibilidad a causa de la nieve levantada del suelo. Es especialmente un fenómeno propio de las zonas polares y del noroeste de América del Norte. Según TERMCAT (2009) unos umbrales establecidos para definirlo son: temperatura inferior a -12°C y velocidad del viento superior a 50 km h^{-1} . Otros criterios proponen vientos superiores a

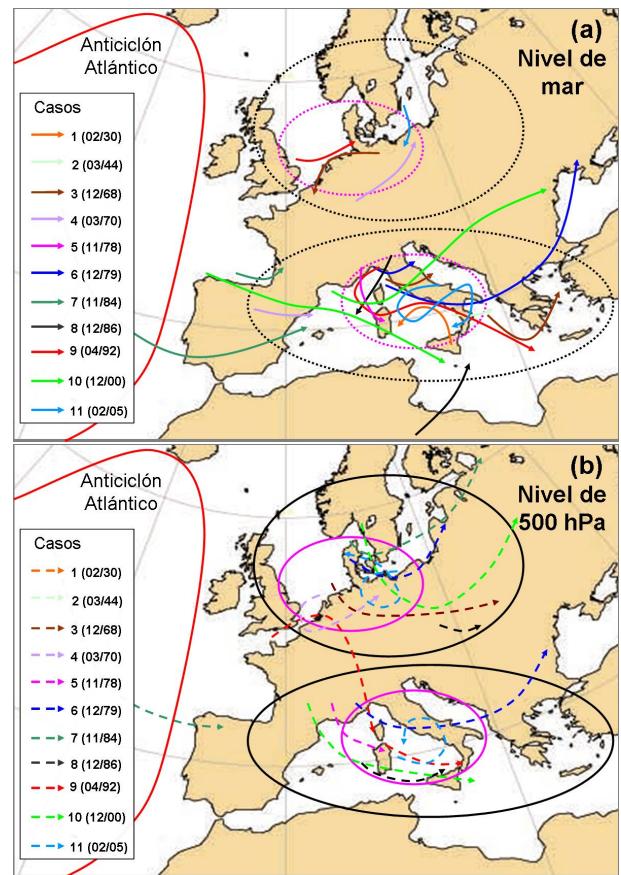


Figura 5. Trayectorias de los centros de las bajas para los episodios seleccionados y complementarios del S. XX. En (a) con trazo continuo se muestran las trayectorias de los centros de las bajas a nivel del mar (presión reducida a nivel de mar) y en (b) con trazo discontinuo a nivel de 500 hPa (geopotencial). Las elipses negras (grandes) engloban los principales caminos de desplazamiento de las depresiones. Las elipses rosas (pequeñas) engloban áreas en donde las depresiones se mantienen estacionarias o tienen movimiento retrógrado. Fuente de la cartografía: ECMWF-NOAA.

40 km h^{-1} , nevada o nieve levantada del suelo, visibilidad inferior a 1 km e índice de frío inferior a -25°C y duración de al menos 4 horas (Environment Canada, 2009). Las condiciones ambientales tipo *turb* del Pirineo, especialmente en la alta montaña del sector más oriental, son en los casos más severos un fenómeno equivalente al *blizzard*.

El término *whiteout* equivale a paisaje o resplandor blanco. Se trata de un 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 (Eumetcal, 2009). Este paisaje blanco es el que encuentra un excursionista en la alta montaña bajo las condiciones meteorológicas del *blizzard*. Se da con más facilidad sobre montañas con pocos elementos del relieve significa-

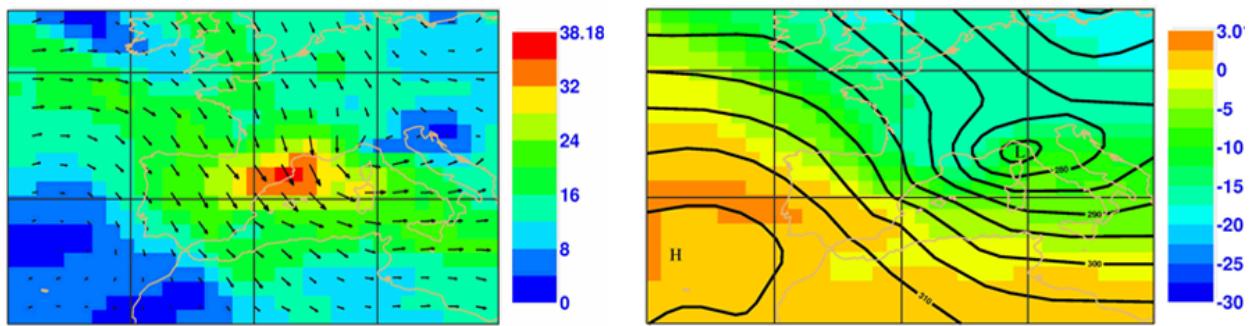


Figura 6. (a) Campo de velocidad del viento a 700 hPa correspondiente al caso 6 (12/79) a 12 UTC. Reanálisis del ECMWF. Velocidad en m s^{-1} . (b) Campo de temperatura (coloreado) y altura geopotencial a 700 hPa (isohipsas) correspondiente al caso 6 (12/79) a 12 UTC. Reanálisis del ECMWF. Temperatura en $^{\circ}\text{C}$. Altura geopotencial en gpm.

tivos, como las del Pirineo Oriental, redondeadas y bastante uniformes.

Para generar una situación de riesgo, la peligrosidad manifiesta del *torb* debe interactuar con elementos vulnerables. La vulnerabilidad, en este caso, depende de las características del propio practicante de la alta montaña que influye en gran medida en la gravedad del accidente, como su preparación física, psíquica y técnica, o el equipo y material del cual dispone (George, 1993). Sin embargo, el análisis de los casos aquí mostrados y de otros registrados en diferentes zonas y épocas del año sugiere que, en determinados tipos de tiempo muy adversos y suponiendo el mismo grado de exposición, la dependencia directa de la vulnerabilidad de los montañeros con sus aptitudes disminuye sensiblemente. Por ejemplo, un caso extremo que puede ser clarificador en este sentido sería el accidente ocurrido en el Balandrau (caso 10 (12/00)) que comportó la muerte de 9 de las 10 personas de un grupo deportivamente heterogéneo.

Las causas directas de muerte en los siniestros seleccionados 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, caso 2 (03/44)).
- Contusiones, hipotermia y/o asfixia por quedar sepultado bajo un alud (Tosa d'Alp, caso 1 (02/30)).

Cuando la temperatura corporal es inferior a 35°C aparece el trastorno llamado hipotermia (Instituto de Estudios de Medicina de Montaña, 2009). Algunas de las consecuencias inmediatas de un estado de hipotermia son la pérdida de capacidad para realizar movimientos y el surgimiento de apatía.

La semiinconsciencia y la inconsciencia llegan cuando la temperatura del cuerpo baja hasta unos 32°C - 28°C y el corazón se para alrededor de los 28°C - 24°C (Instituto de Estudios de Medicina de Montaña, 2009). Tanto en el accidente de 1944 (caso 2 (03/44)) como en el de 1930 (caso 1 (02/30)) la causa directa de la muerte no es el frío ambiental

pero han acontecido en un contexto meteorológico equivalente a los otros eventos.

En la Tabla 3 se muestran algunos valores meteorológicos estimados a partir de los reanálisis del ECMWF (ERA-40) (Uppala et al., 2005), a 2.5° de latitud y longitud de resolución espacial horizontal, y del NCEP/NCAR, disponibles cada 6 horas desde 1957 y 1948, respectivamente. 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 en 2001 por el *National Weather Service* de los EEUU (NWS, 2001).

Los intervalos de temperatura y de índices de frío mostrados en la Tabla 3 reflejan las incertidumbres en las altitudes de los lugares de los accidentes. Las temperaturas corresponden al valor en la atmósfera libre, según el reanálisis usado, en el lugar del accidente. Y las velocidades y direcciones del viento corresponden al viento medio en 6 horas de los reanálisis en el intervalo temporal de máxima intensidad.

La dirección del viento en todos los niveles y casos está comprendida entre el W y el NE, salvo en el caso 7 (11/84) en el que el flujo fue de componente S y la temperatura sensiblemente más elevada que en los otros episodios. La velocidad ha sido más elevada en 300 hPa que en los niveles inferiores, superándose en todos los casos los 145 km h^{-1} y llegándose a los 230 km h^{-1} el Fin de Año de 1979 (caso 6 (12/79)). En este episodio la velocidad del viento medio en el collado de Torreneules (Figura 3), muy cerca de donde fallecieron los tres excursionistas, pudo haber sido del orden de 100 km h^{-1} - 130 km h^{-1} en el momento de máxima virulencia del temporal, suponiendo un incremento lineal de la misma entre 850 y 700 hPa. En el caso 5 (11/78) las rachas pudieron superar los 150 km h^{-1} en el Costabona, donde otros tres excursionistas murieron por hipotermia.

En la mayoría de los casos el viento ha sido más fuerte a 700 que a 850 hPa pero a menudo la diferencia es pequeña, especialmente cuando predomina la componente N. Los 5 episodios más fríos (Tabla 3, sensaciones térmicas en negrita)

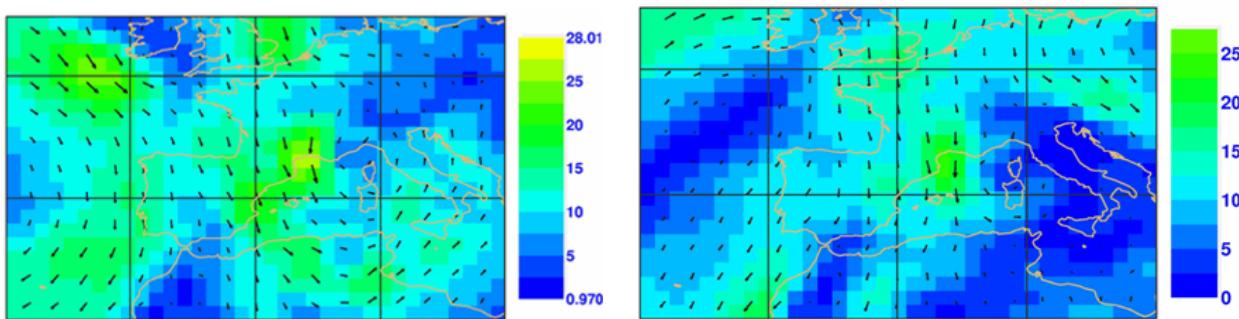


Figura 7. Campo de velocidad a 850 hPa correspondiente al caso 5 (11/78) (izquierda) y al caso 8 (12/86) (derecha) a 18 UTC. Reanálisis del ECMWF. Velocidad en m s^{-1} .

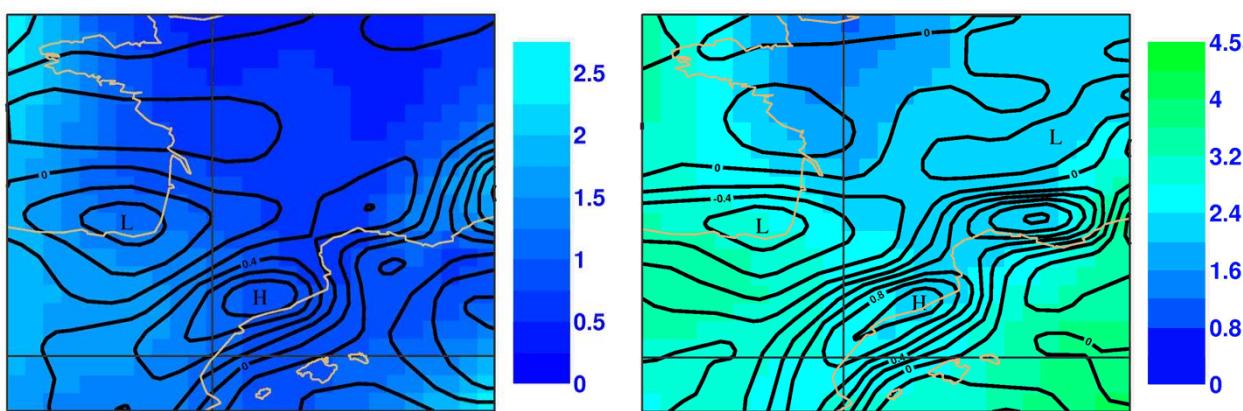


Figura 8. Campo de velocidad vertical (isotacas) y humedad específica (coloreado) en 700 hPa (izquierda) y 850 hPa (derecha) correspondientes al caso 5 (11/78) a 18 UTC. Reanálisis del ECMWF. Valores positivos de la velocidad indican movimiento descendente. Velocidad en m s^{-1} . Humedad específica en g kg^{-1} .

se han distribuido entre los meses de febrero (2 casos), diciembre (1 caso), noviembre (1 caso) y abril (1 caso).

5 Entorno sinóptico y mesoscalar de los episodios con accidentes

A escala sinóptica los episodios se han caracterizado por los flujos de componente norte (salvo el caso 7 (11/84)), asociados normalmente a advecciones frías, y con un mayor o menor grado de humedad según su origen atlántico o continental, respectivamente. En la mitad de los casos la masa de aire advectada ha sido de tipo continental. En las nueve fechas en las que se ha podido consultar un análisis frontal, un frente frío ha cruzado recientemente la Península Ibérica o lo está haciendo siguiendo una trayectoria comprendida entre oeste-este y nordeste-sudoeste (Figura 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.

La Figura 5 presenta las posiciones y trayectorias de los centros depresionarios en 500 hPa y superficie para los casos del siglo XX. Estas configuraciones sinópticas deter-

minan un flujo de componente N entre las bajas europeas o mediterráneas y un área de altas presiones sobre el Océano Atlántico, más o menos alargado como dorsal hacia Islandia. Los elementos más significativos son:

- Presencia recurrente de un anticiclón atlántico más o menos alargado latitudinalmente. Este área de altas presiones se corresponde en buena medida con el tipo sinóptico 5, dorsal atlántica, propuesto por Rasilla (2003). El tipo 3 propuesto por el mismo autor, correspondiente al conocido anticiclón de las Azores, está caracterizado por la penetración de una dorsal anticyclónica hacia Europa Occidental que no se observa en los mapas de superficie de la Figura 4. El mismo trabajo muestra que térmicamente el tipo 5 tendría un carácter marcadamente frío, mientras el 3 sería de tipo intermedio; y que además la intensidad del flujo, en un 99% de los casos proviniente del 1° o 4° cuadrante en el tipo 5, sería mucho mayor que para el tipo 3. En la más reciente clasificación sinóptica presentada por Esteban et al. (2006), para el periodo 1960-2001, basada en un análisis por componentes principales y una posterior clusterización, se muestran también dos patrones que

describen esta configuración estirada latitudinalmente del anticiclón de las Azores que establece un flujo del norte o noroeste sobre Europa Occidental. Son sus patrones CL6 (Baja mediterránea/advección septentrional) y CL16 (Baja centroeuropea/advección septentrional), con un mínimo de frecuencia en verano el primero y un máximo en primavera el segundo, y cuya principal diferencia entre ellos radica en la localización de la baja en superficie.

- 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 convierte el área comprendida entre el Golfo de León, el de Génova y el mar Catalano-balear en una de las más ciclogenéticas del mundo (Jansà, 1997).
- Quedan definidos dos caminos principales de desplazamiento, oeste-este, de las depresiones en estos episodios: el situado entre las Islas Británicas y Rusia y el situado entre la Península Ibérica y los países balcánicos. Estos caminos no son anómalos ya que, para el caso de temporales de viento afectando a la Península Ibérica, Rasilla et al. (2002) ya presentan como una trayectoria secundaria de los mínimos barométricos en superficie una intermedia entre las dos anteriores: desde el Atlántico hasta Europa Central cruzando el mar Cantábrico.
- Se identifican en el interior de los caminos anteriores unos sectores en los que los centros depresionarios se mantienen bastante estacionarios e incluso manifiestan un cierto movimiento retrógrado (de este a oeste).
- El caso 7 (11/84) muestra el desplazamiento hacia el este de una depresión atlántica entrando en la Península Ibérica por Galicia (500 hPa) y Portugal (superficie).
- El suceso de 1986 (caso 8 (12/86)) muestra una ciclogénesis argelina en superficie, a sotavento del Atlas con flujo de componente S.
- En el caso 9 (04/92) el centro de la baja en superficie hace un rápido desplazamiento norte-sur, anómalo, pasando de la trayectoria europea a la mediterránea. Aunque no es un desplazamiento habitual, Rasilla et al. (2002) consideran esta trayectoria una de las tres asociadas a temporales de viento en Cataluña y otras áreas del norte peninsular.
- En el gravísimo caso 10 (12/00) una depresión en profundización se desplaza muy rápidamente desde el Cantábrico hasta al mar Balear (Pascual, 2001).

Bajo flujo sinóptico de N el campo de presión a mesoscala alfa sobre el noreste de la península Ibérica y el istmo pirenaico muestra una deformación característica, configurándose el dipolo pirenaico (mesoscalar) (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. Asociado

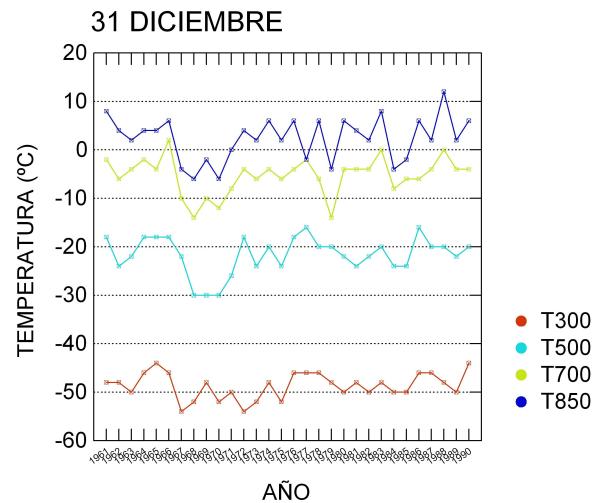


Figura 9. Series temporales de temperaturas (°C) a 12 UTC para el día 31 de diciembre, de 1961 a 1990. Niveles: 300 hPa (inferior; rojo), 500 hPa (azul claro), 700 hPa (verde) y 850 hPa (superior; azul oscuro). Reanálisis del ECMWF.

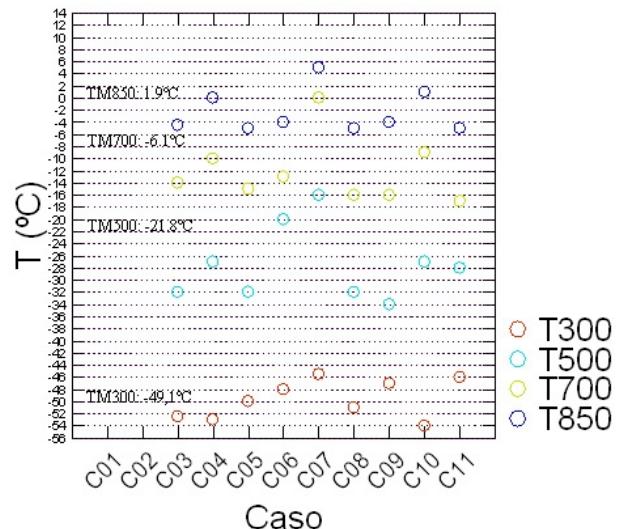


Figura 10. Temperaturas representativas de los episodios escogidos en: 300 hPa (inferior; rojo), 500 hPa (azul claro), 700 hPa (verde) y 850 hPa (superior, azul oscuro). TM: Valor medio de las series de 30 años para las fechas de referencia y los cuatro niveles.

ciados al dipolo aparecen el sistema de vientos regionales tramuntana-mestral, un bloqueo temporal de aire frío en la vertiente norte y el consecuente desarrollo de un fuerte gradiente de temperatura y humedad (y densidad) transversal al Pirineo (Bougeault et al., 1993; Campins et al., 1997; Pascual, 2001).

Para explicar el hecho de que, según algunos registros de estaciones automáticas, por ejemplo en el caso del 30 de diciembre de 2000 (Pascual, 2001; García y Vilar, 2006) y

los propios relatos de los accidentados o rescatadores (Fransí, 1999; Vilà, 2001), la velocidad del viento a menudo aumenta bruscamente, y dado que el gradiente de densidad transversal al Pirineo es elevado, podría aplicarse a esta fenomenología el modelo conceptual de corriente de densidad (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 son potenciales puntos negros desde el punto de vista de la siniestralidad.

El efecto del Pirineo sobre el flujo del N es más evidente a 850 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 et al., 1997).

Con el fin de ejemplificar algunos de los efectos a escala subsinóptica de la interacción entre los flujos septentrionales y la orografía pirenaica se muestran a continuación algunos campos meteorológicos procedentes del ERA-40 del modelo del ECMWF, a 2.5° de resolución espacial. Se debe tener en cuenta que a esta resolución, equivalente a unos 125 km, la orografía pirenaica está sensiblemente suavizada respecto a la real y por tanto no se puede esperar que estos reanálisis reproduzcan toda la fenomenología mesoscalar asociada a la mencionada interacción.

En el caso 6 (12/79), el campo de viento a 700 hPa presenta un máximo localizado notablemente acentuado (Figura 6a). Este máximo, también visible en 850 hPa, acompaña otro del NNW de 65 m s^{-1} (230 km h^{-1}) a 300 hPa. El gradiente de geopotencial sobre el nordeste de la Península Ibérica es en este episodio más grande que en los otros casos, tanto debido a la presencia de una profunda borrasca centrada en el golfo de Génova como a la cercanía al sudoeste peninsular del centro del anticiclón atlántico (Figura 6b), de manera similar a como pasó en el caso 10 (12/00), caso en el que se registraron velocidades de 60 m s^{-1} (220 km h^{-1}) en 300 hPa.

Esteban et al. (2005) identifican en su clasificación objetiva de patrones sinópticos favorables a las nevadas fuertes en Andorra, dos clusters (5 y 7) a los que se podrían asociar los casos nombrados en el párrafo anterior, caracterizados por la presencia de un dipolo sinóptico de presión formado entre una profunda baja sobre el sur de Europa y el anticiclón centrado al oeste o sudoeste de Portugal, un fuerte gradiente bárico sobre el Pirineo y el consecuente flujo fuerte del NW a todos los niveles.

Por otro lado, casos como el de 5 (11/78) o 8 (12/86), con tres y dos personas muertas respectivamente en el Costabona y en Tirapits, muestran valores máximos de la velocidad del viento ligeramente superiores en 850 que en 700 hPa (Tabla 2) y perfectamente localizados en el extremo oriental del Pirineo (Figura 7), ligados al efecto orográfico, lo cual no impide que el viento a niveles más altos fuese también fuerte, superior a los 80 km h^{-1} . De hecho, el Pirineo y el dipolo de presión asociado son responsables de la

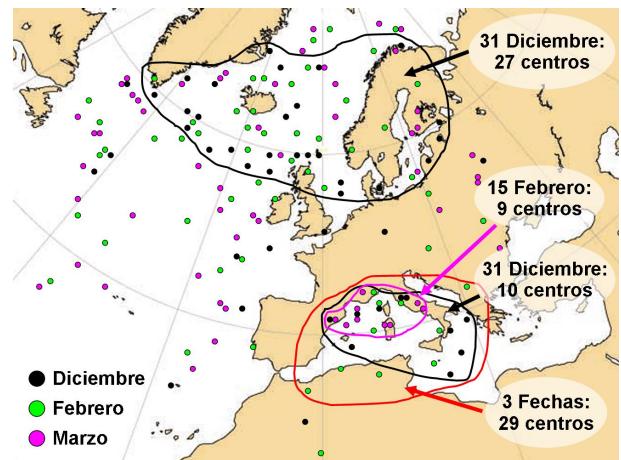


Figura 11. Localización de los centros de baja presión en superficie para las tres fechas de referencia. Negro: diciembre. Verde: febrero. Rosa: marzo. Las líneas continuas cerradas engloban áreas de máxima densidad espacial de tales centros. Se indican algunos valores referentes al número de centros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

mayoría de los episodios con viento fuerte en Cataluña no relacionados con ciclones cercanos (Campins et al., 2007).

El análisis simultáneo de los campos de velocidad vertical y humedad específica en 700 y 850 hPa en el entorno del Pirineo Oriental (Figura 8) muestra una subsidencia de aire seco máxima sobre o a sotavento de la cordillera con flujo de componente N. En cambio, en el episodio con advección del SW, caso 7 (11/84), aparece 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, sinóptica y mesoscalar:

- La aproximación de una dorsal anticiclónica atlántica, con la consiguiente subsidencia a gran escala.
- 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 N, con efecto föhn y/o temporales de viento a sotavento (Pascual, 2001; Pascual, 2005). En la Figura 8 se muestran, a modo de ejemplo, los mapas correspondientes al caso 5 (11/78), en los que se observa como un máximo subsidente en 700 y 850 hPa, a sotavento del Pirineo, coincide con un mínimo relativo de humedad específica, especialmente visible en 850 hPa.

6 Contexto climatológico

Para valorar la posible excepcionalidad de los episodios seleccionados se han comparado, a partir de los datos provenientes del ERA-40, sus configuraciones sinópticas y ambiente térmico con las condiciones atmosféricas habituales en esta época del año. Para ello se han escogido tres

Tabla 4. Temperaturas en 4 niveles isobáricos. Valores medios para los flujos del primer y cuarto cuadrante (NE/NW) y para todos los flujos. Entre comillas se indican valores inferiores a la media y con un asterisco los superiores. En negrita aparecen aquellos en los que la diferencia es mayor a 2°C.

Fecha	Cuadrantes	T300(°C)	T500(°C)	T700(°C)	T850(°C)
31 Diciembre	1(NE)/4(NW)	“-49.5”/-47.3*	“-23.0”/-20.9*	“-7.5”/-5.6”	“-0.8”/2.9”
31 Diciembre	Todos	-48.7	-21.7	-5.3	2.4
15 Febrero	1(NE)/4(NW)	“-50.5”/-52.0”	“-22.2”/-21.0*	“-11.0”/-7.5”	“-2.5”/1.5”
15 Febrero	Todos	-50.1	-21.8	-7.7	0.1
31 Marzo	1(NE)/4(NW)	“-49.2”/-46.3*	“-25.1”/-19.3”	“-9.3”/-2.7”	“-0.2”/5.3”
31 Marzo	Todos	-48.4	-21.8	-5.2	3.1

fechas representativas del inicio (31 de diciembre), mitad (15 de febrero) y final del invierno (31 de marzo), según su definición astronómica. Por su parte, el invierno meteorológico, a efectos estadísticos, incluye los meses de diciembre, enero y febrero pero Rasilla (2003), a partir de un análisis por componentes principales de la frecuencia absoluta de aparición de 10 tipos de circulación clasificados previamente, definió cuatro “estaciones naturales” de las cuales la primera era un periodo invernal comprendido entre el 12 de noviembre y el 31 de marzo. Por ello, los dos casos de noviembre puede que sean los peor representados en la elección realizada, no exenta de una cierta arbitrariedad.

En primer lugar se han obtenido las series temporales de temperatura en 300, 500, 700 y 850 hPa sobre el Pirineo, correspondientes al periodo 1961-1990. Como ejemplo, se ha representado en la Figura 9 la gráfica correspondiente al 31 de diciembre. Se han representado a su vez los centros de alta y baja presión bajo diferentes tipos de flujo comparándose tales representaciones con los de los casos de estudio.

En la Figura 10 se comparan las temperaturas medias en los 4 niveles isobáricos para las tres fechas escogidas con las representativas de los casos de estudio. En 850 y 700 hPa las registradas en éstos últimos han sido siempre inferiores a la media para las fechas de referencia salvo en el caso 7 (11/84), con advección del SW. En 500 y 300 hPa hay 2 y 4 casos respectivamente en los que las temperaturas asociadas a los casos de estudio han sido superiores a las medias climatológicas, incluyendo el caso 7 (11/84). Se comprueba, por tanto, que los casos de estudio han sido especialmente fríos a todos los niveles pero especialmente en los bajos.

Se han analizado subjetivamente las situaciones sinópticas presentes en las fechas de referencia y se ha visto que las advecciones septentrionales y las continentales europeas representan algo más de un 30% del total de configuraciones, siendo este predominio menos acentuado el 31 de diciembre. Otras situaciones con frecuencia de aparición superior al 10% han sido advecciones zonales, ciclónicas o anticiclónicas, las bajas dinámicas centradas en la cercanía del Pirineo y los 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 primero en diciembre y los del primero y cuarto el 15 de febrero y el 31 de marzo.

Por lo tanto, las situaciones sinópticas presentes en las fechas con accidentes no son raras 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. En un análisis de riesgos se debería considerar, en consecuencia, tal frecuencia de advecciones septentrionales.

En la Tabla 4 se muestran las temperaturas analizadas en distintas altitudes y para diferentes direcciones del flujo y se comprueba que siempre son más bajas que las medias para la fecha en cuestión cuando el flujo es del primer cuadrante, especialmente en 700 y 850 hPa. Cuando el flujo es del cuarto cuadrante la temperatura puede ser mayor o menor a la media según el origen de la masa de aire advectada aunque, en general, este flujo está asociado en todos los niveles a valores térmicos superiores a la media. El 31 de marzo es la fecha en que la temperatura en los diferentes niveles es más sensible al tipo de flujo, es decir, las advecciones septentrionales o continentales europeas establecen a principios de primavera un tipo de tiempo térmicamente muy alejado de las condiciones medias.

Los centros de las bajas en superficie en las tres fechas durante los 30 años pueden agruparse básicamente en dos áreas geográficas (Figura 11): Atlántico Norte, en donde es especialmente evidente para el 31 de diciembre, y Mediterráneo Occidental. También 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 fechas.

Cuando se obtienen las localizaciones de las bajas para fechas con flujo del norte (Figura 12) y se representan simultáneamente con la situación de los centros de alta presión en las mismas fechas, se obtienen las direcciones principales sintetizadas de desplazamiento de las masas de aire frío, marítimas o continentales, que afectan al Pirineo Oriental. El área atlántica situada entre las Azores y la Península Ibérica es una región de frecuente localización de un centro de alta presión más o menos elongado latitudinalmente. También es posible que un centro anticiclónico asociado al núcleo atlántico se extienda hacia el este, sobre Europa cen-

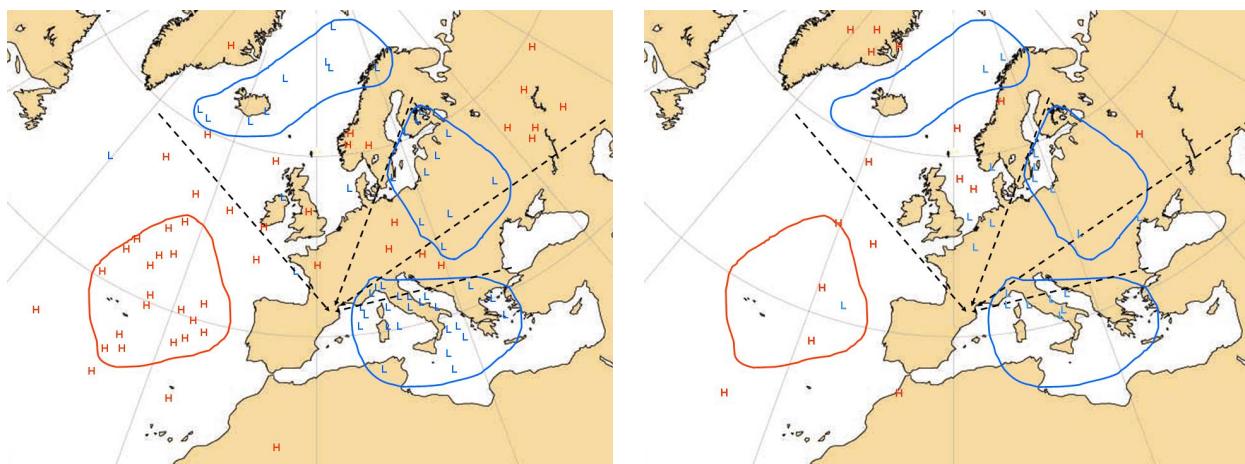


Figura 12. Localización de los centros de baja (L; azul) y alta presión (H; rojo) en superficie para las tres fechas de referencia (izquierda) con flujo del norte sobre el Pirineo Oriental y para los casos de estudio (derecha). Las líneas continuas cerradas engloban áreas climatológicas de máxima densidad espacial de tales centros. 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 de la cartografía: ECMWF-NOAA.

tral u occidental o sobre el Mar del Norte y Escandinavia. Se observa finalmente que, en pocas ocasiones, concretamente en 5, el flujo de componente norte sobre el Pirineo Oriental ha sido conducido por una alta sobre Rusia.

La disposición del dipolo bárico sinóptico formado por el centro de altas presiones y la baja (o bajas) presente en el ámbito atlántico-europeo determina en última instancia la dirección precisa del flujo incidente sobre el nordeste ibérico aunque este dipolo no siempre está bien definido siendo en ocasiones únicamente un potente anticiclón o una profunda depresión los que establecen el flujo predominante. Las borrascas centradas entorno a Islandia establecen flujos del NW, marítimos, y las situadas sobre Europa oriental, del NNE, muy fríos y continentalizados. Otras direcciones principales son las del NE o del ENE, desplazando masas de aire muy frías y continentales las primeras y algo más húmedas las segundas. El anticiclón ruso es responsable de las trayectorias del NE mientras que en ocasiones la combinación de una baja en el Mediterráneo Occidental y la alta en el centro-este de Europa determinan un flujo más mediterraneizado.

Al comparar la localización de los centros de alta y baja presión en superficie para los casos de estudio y para las series de 30 años (Figura 12) se comprueba que, mientras que la presencia y posición del anticiclón atlántico no han sido tan evidentes en el primer caso, sí hay una máxima densidad espacial de depresiones coincidente en buena medida con las áreas climatológicamente favorables, especialmente en el caso de las bajas mediterráneas. Además de la presencia del mínimo barométrico frente a las costas portuguesas, correspondiente al caso 7 (11/84), y por lo tanto, no comparable a efectos sinópticos con los otros casos (aunque sí, tal como se ha comentado anteriormente, a efectos de la tipología de accidentes), otro hecho singular es la existencia de cuatro centros situados sobre Centroeuropa y sur de Es-

candinavia correspondientes a los casos 3 (12/68), 4 (3/70) y 5 (11/78).

Cabe destacar también, una clara ausencia de depresiones islandesas y por tanto, una menor presencia relativa de flujos marítimos del NW respecto a los demás, más continentalizados debido a su trayectoria europea.

El último aspecto que se considera es la localización de los centros depresionarios y anticiclónicos en 500 hPa, tanto en lo que respecta a la serie de 30 años, bajo flujo septentrional, como para los episodios con siniestros (Figura 13). La distribución espacial para el treinteno muestra claramente que no se sitúan depresiones en 500 hPa al oeste de una línea extendida entre el oeste de Islandia e 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 de geopotencial sobre Escandinavia y en ninguna ocasión se sitúa una alta en 500 hPa sobre el resto del continente europeo, indicando, por lo tanto, que los anticiclones localizados en superficie sobre ese área (Figura 12) tienen un origen fundamentalmente térmico y no dinámico.

La máxima densidad de altas está al norte de las Azores, mientras que para los mínimos se esbozan otras tres áreas (Figura 13), dos de ellas superpuestas a las correspondientes zonas de máxima densidad de bajas en superficie (Figura 12): el Mediterráneo Occidental y Europa oriental. El máximo visible en 500 hPa 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 N es mayor en las fechas en las que la baja en 500 hPa se sitúa en el sector oriental y/o el anticiclón lo hace al norte de las Azores y bastante al sur de Islandia (en la Figura 13, líneas de trazos azul y rosa respectivamente). Las L de color azul claro y las H rosas son las localizaciones

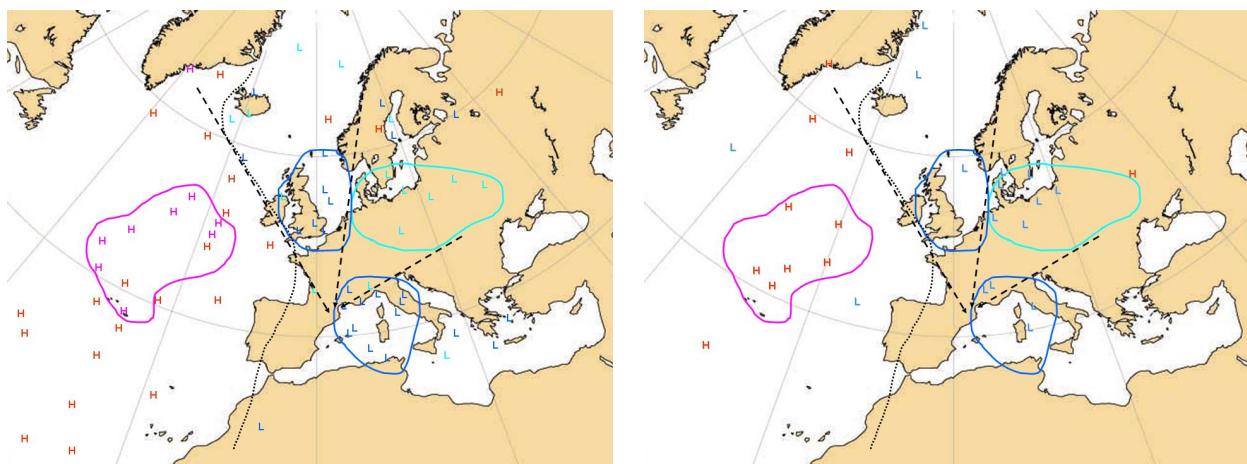


Figura 13. Localización de los centros de baja (L; azul) y alta presión (H; rojo o rosa) en 500 hPa para las tres fechas de referencia (izquierda) con flujo del norte sobre el Pirineo Oriental y para los casos de estudio (derecha). Las líneas continuas o discontinuas cerradas engloban áreas climatológicas de máxima densidad espacial de tales centros. Las líneas a trazos y flechas indican las principales direcciones del flujo del norte asociadas a las diferentes configuraciones 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 de la cartografía: ECMWF-NOAA.

de las bajas y altas respectivamente con flujo del N especialmente intenso en 500 hPa.

En el caso de los eventos estudiados se constata que, salvo la baja de 11/84, perteneciente a otro de tipo de configuración, las depresiones se sitúan en las áreas climatológicamente favorables, destacando la densidad espacial de centros en el área oriental y en la meridional, instaurándose con mayor facilidad por tanto flujos del NNE o del NE en niveles medios, fríos y secos, en general. Por otro lado, aunque sigue estando presente el área anteciclónica al norte de Azores, ésta ha perdido relevancia a favor de la localización y probablemente la intensidad de las bajas.

7 Conclusiones

Los riesgos meteorológicos afectan al practicante de actividades turístico-deportivas en la montaña. Estudios previos muestran que la combinación de nevada, viento fuerte y temperaturas bajas está frecuentemente asociada a siniestros fatales en España, especialmente en la alta montaña (Pascual, 2008). Este tipo de tiempo se establece habitualmente bajo advecciones septentrionales o continentales europeas o durante el paso de vaguadas atlánticas, identificándose, en la mayoría de los casos, el paso de un frente frío en días previos a la fecha del accidente o durante la misma. Estos mismos trabajos muestran que, en ocasiones, se han vivido condiciones invernales en alta montaña en verano, pero aunque estos episodios entrañan un gran riesgo por las elevadas exposición y vulnerabilidad del colectivo de personas presentes en ese momento en la montaña, los accidentes seleccionados aquí se han registrado entre noviembre y abril, siendo diciembre el mes con mayor número, y no habiéndose registrado ninguno en enero.

Los análisis previos que se han realizado, publicados en (Pascual, 2008) muestran que en algunos casos ha nevado y en casi todos hay probablemente nieve en el suelo que, debido a las bajas temperaturas, está poco cohesionada. La visibilidad ha sido reducida por la nevada y/o por la nieve en suspensión levantada del suelo por el fuerte viento. Los vientos han sido fuertes, con rachas en algunos casos superiores a los 120 km h^{-1} 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.

Los casos que se han seleccionado en este trabajo forman un subgrupo del conjunto de accidentes en montaña asociados a las condiciones meteorológicas y en concreto de los de tipo invernal, generado a partir de la aplicación de diferentes criterios (tipo de accidente, tipo de situación sinóptica y área geográfica).

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.

A mesoscala, el sistema de vientos tramontana-mestral, con sus principales características bien descritas y explicadas en la bibliografía, es el patrón dominante en los casos con flujo de componente norte, pero su intensidad y estructura vertical es variable según la posición precisa de los centros de acción, anticiclón atlántico y baja mediterránea, y de la intensidad de la subsidencia asociada a la dorsal atlántica penetrando por el sur de Francia, tal y como se manifiesta en este estudio.

Por otro lado, es conocido que la estabilidad de la masa de aire postfrontal y la interacción del flujo del norte con la cordillera pirenaica desarrollan una fenomenología característica, ondulatoria (Bougeault et al., 1993), cuya más clara manifestación en los casos de estudio presentados es la aparición de una zona subsidente y seca sobre y a sotavento de la cordillera. En estas circunstancias, las rachas de viento fuerte pueden afectar también a las laderas y los fondos de los valles, generando otros riesgos meteorológicos diferentes a los mostrados aquí. En (Pascual, 2009) se describe un episodio de estas características en el Pirineo Oriental.

Dado que el estudio climatológico ha mostrado, en concordancia con la bibliografía, que este patrón bárico es común en la época fría del año, y en consecuencia, también lo son los flujos de componente norte intensos, el riesgo meteorológico asociado es bastante elevado. No es posible disminuir la peligrosidad del fenómeno pero sí la exposición y la vulnerabilidad personal al mismo mediante tareas de formación e información y por supuesto, mejorando la forma y lugares de difusión de los boletines meteorológicos. El estudio realizado también muestra, por otro lado, que las condiciones térmicas en los casos analizados han sido más rigurosas que las que se encuentran normalmente en esas fechas.

El probable comportamiento como corriente de densidad de la masa fría que atraviesa de norte a sur el Pirineo, no discutido en este artículo, 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 severidad del fenómeno, su peligrosidad y el riesgo asociado.

Agradecimientos. Los autores quieren mostrar un especial agradecimiento a los dos revisores anónimos que han hecho sus aportaciones a este artículo. Gracias a sus comentarios, correcciones y sugerencias creemos que el artículo ha mejorado substancialmente, tanto en contenidos como en forma.

Referencias

- Arasti, E., 2001: Estudio de la galerna típica del Cantábrico, INM. Ministerio de Medio Ambiente, nota Técnica del CMT en Cantabria y Asturias.
- Alaya-Carcedo, F. J. y Olcina, J., 2002: Riesgos naturales, Ariel, Barcelona.
- Bougeault, P., Jansà, A., Attie, J., Bean, I., Benech, B., Benoit, R., Bessemoulin, P., Caccia, J., Campins, J., Carissimo, B., Chameaux, J., Crochet, M., Druilhet, A., Durand, P., Elkhalifi, A., Flamant, P., Genovés, A., Georgelin, M., Hoinka, K., Klaus, V., Koffi, E., Kotroni, V., Mazaudier, C., Pelon, J., Petitdidier, M., Pointin, Y., Puech, D., Richard, E., Satomura, T., Stein, J., y Tannhauser, D., 1993: *The atmospheric momentum budget over a major mountain range: first results of the PYREX field program*, Ann Geophys, **11**, 395–418.
- Campins, J., Calvo, J., y Jansà, A., 1997: The tramontane wind: Dynamic diagnosis and Hirlam Simulations, INM/WMO International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Palma de Mallorca, 14-19/IV/1997.
- Camps, J., Aran, M., Genovés, A., y Jansà, A., 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 (Consulta 2009).
- Environment Canadà, 2009: *Blizzards*, <http://www.pnr-rpn.ec.gc.ca/air/wintersevere/blizzards.en.html> (Consulta 2009).
- Esteban, P., Jones, P. D., Martín-Vide, J., y Mases, M., 2005: *Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees*, Int J Climatol, **25**, 319–329.
- Esteban, P., Martín-Vide, J., y Mases, M., 2006: *Daily atmospheric circulation catalogue for Western Europe using multivariate techniques*, Int J Climatol, **26**, 1501–1515.
- Esteban, P., Martí, G., García, C., Aran, M., Gavalda, J., y Moner, I., 2007: Heavy Snowfalls and avalanche activity over eastern Pyrenees: a study of two extreme cases, Proceedings Alpine Snow Workshop, Forschungsbericht, 44-48, Munich (Alemania), 5-6/X/2006.
- Eumetcal, 2009: *Glossary*, <http://www.eumetcal.org/euromet/english/navig/glossf.htm> (Consulta 2009).
- Fransí, F., 1999: *Client a la força*, Funció Pública, **20**, 19–20.
- Fuster, J. y Elizalde, B., 1995: *Riesgo y actividades físicas en el medio natural: un enfoque multidimensional*, Apunts. Educación Física y Deportes, **41**, 94–107.
- García, C. y Salvador, F., 1994: Snowfall analysis in the Eastern Pyrenees, Annalen der Meteorologie, 23rd International Conference on Alpine Meteorology (Lindau), 30, 303–306.
- García, C. y Vilar, F., 2006: La montaña. Manual de Meteorología, Alpina, Granollers.
- García, C., Martí, M., García-Manuel, A., Muntán, E., Oller, P., y Esteban, P., 2007: Weather and snow pack conditions of major avalanches in the Catalan Pyrenees, Proceedings Alpine Snow Workshop, Forschungsbericht, 49-56, Munich (Alemania), 5-6/X/2006.
- García, C., Martí, G., Oller, P., Gavalda, J., Martínez, P., y Peña, J. C., 2008: Atmospheric patterns leading major avalanche episodes in the eastern Pyrenees and estimating occurrence, International Snow Science Workshop, Whistler (Canadà), 21-27/IX/2008.
- George, D. J., 1993: *Weather and mountain activities*, Weather, **48**, 404–410.
- IGC, 2006: *Estadísticas d'accidents per allaus*, http://www.icc.es/web/gcontent/ca/allaus/igc_allaus_estadistiques.html (Consulta 2009).
- Instituto de Estudios de Medicina de Montaña, 2009: *Hipotermia*, <http://www.iemm.org/castella/hipotermia.htm> (Consulta 2009).
- 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, Palma de Mallorca, 14-19/IV/1997.
- NWS, 2001: *NWS Windchill Chart*, <http://www.weather.gov/om/windchill> (Consulta 2009).
- 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.
- Pascual, R., 2008: Accidentes en montaña y condiciones meteorológicas, Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.

- Pascual, R., 2009: Episodio de vientos muy fuertes en el Pirineo y Prepirineo Oriental en un contexto regional y local, Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.
- Perelló, J. y Reñé, J., 1953: *Los accidentes en nuestras montañas, Montaña*, **23**, 245–252.
- Pons, J., 2008: Tiempo y clima en montaña. Manual práctico de meteorología, Desnivel, Madrid.
- Rasilla, D. F., 2003: *Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la península Ibérica*, Investigaciones Geográficas, **30**, 27–45.
- Rasilla, D. F., García, J. C., y Garmendia, C., 2002: Los temporales de viento: propuesta metodológica para el análisis de un fenómeno infravalorado, En Cuadrat, J. M., Vicente, S. M., Saz, M. A., edits.: La información climática como herramienta de gestión ambiental, Universidad de Zaragoza, 129-136.
- Rodés, P., 1999: Análisis de los accidentes por aludes de nieve en España. Una aproximación a la revisión histórica, Ergon, Madrid.
- Sacasa, J., 1999: Meteorología del Pirineo Català, Publicacions de l'Abadia de Montserrat, Barcelona.
- TERMCAT, 2009: *Cercaterm*, <http://www.termcat.cat/> (Consulta 2009).
- Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, V. D., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Veljaars, A. C. M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J. F., Morcrette, J. J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., y Woollen, J., 2005: *The ERA-40 re-analysis*, Q J R Meteorol Soc, **131**, 2961–3012.
- Vilà, J. M., 2001: El torb, un vent que mata, VII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè, Barcelona, 23-25/XI/2001.
- Zaragoza, A., 2008: Temporal de neu i vent en muntanya (febrer 2005), Treball final inèdit. Màster en Meteorologia, Universitat de Barcelona.