

Accidents de muntanya associats a fluxos del nord hivernals al Pirineu Mediterrani

R. Pascual i A. Callado

Delegació Territorial a Catalunya, Agència Estatal de Meteorologia. C. Arquitecte Sert, núm. 1, 08005 Barcelona

Rebut: 15-IV-2009 – Acceptat: 4-II-2010 – **Versió Traduïda**

Correspondència a: rpascualb@aemet.es

Resum

El Pirineu Mediterrani, a l'extrem oriental de la serralada, és una àrea molt freqüentada. La seva cota màxima supera els 2900 m s.n.m. i molts pics superen els 2000 m s.n.m., amb un relleu arrodonit i una vegetació escassa sobre aquesta última cota. Una característica climàtica hivernal rellevant és l'ocurrència d'entrades sobtades d'aire fred amb vents violents del nord, la caiguda de les temperatures i valors d'índex de fred molt baixos. Aquestes adveccions s'estableixen després del pas d'un front fred nevós i, en conseqüència, hi ha un abundant transport de neu, tant nova com preexistent, que redueix notablement la visibilitat horitzontal. Les condicions postfrontals representen a cotes altes una seriosa amenaça per a les persones. L'examen realitzat mostra que els muntanyencs immersos en un ambient de visibilitat reduïda, vents forts i temperatures molt baixes poden desorientar-se ràpidament, patir congelacions i hipotèrmia i relliscar pel gel. La caracterització d'un conjunt d'accidents ocorreguts en aquest àmbit geogràfic, identificats a la premsa, ha mostrat en aquest treball que la fenomenologia associada a les adveccions septentrionals hivernals és un element de perill a tenir en consideració en l'avaluació dels riscos naturals en aquesta àrea. A més, el caràcter múltiple de molts dels successos insinua que la vulnerabilitat a aquests perills és elevada. L'anàlisi climatològica presentada suggereix que aquestes condicions no són rares a l'hivern, tot i que els sinistres més greus s'han registrat sota fluxos especialment forts i freds. Les conclusions extretes recomanen que les condicions meteorològiques descrites, anomenades localment torb, han de ser conegudes pels visitants d'aquestes muntanyes a l'hivern i la seva aparició anunciada als butlletins meteorològics, que al seu torn han de ser suficientment difosos a les zones de major afluença de turistes i muntanyencs.

Paraules clau: accidents de muntanya, Pirineu, temporal hivernal, torb

1 Introducció

Els accidents produïts durant la pràctica d'activitats turístico-esportives a la muntanya poden tenir causes diverses, essent els riscos meteorològics un més dels riscos naturals presents. Uns altres són els biològics, geomorfològics, fluvials, nivològics/glacials, etc. (Ayala-Carcedo i Olcina, 2002). En el que va ser probablement el primer estudi mínimament exhaustiu sobre accidentabilitat a la muntanya, presentat per Perelló i Reñé (1953), ja s'hi feien clares referències a la relació entre els sinistres i les condicions meteorològiques.

Alguns dels meteors o condicions atmosfèriques més perillosos i que comporten un major risc en la pràctica del muntanyisme són les tempestes (Doswell, 2001), les nevades fortes i/o abundants, els vents forts d'origen no-convectiu, les temperatures extremes i les boires. Els tipus de temps observats en els dies amb accidents associats a priori amb les condicions meteorològiques són agrupables subjectivament partint de característiques com el valor estimat de diferents variables atmosfèriques, la presència de diferents meteors o l'època de l'any. Es pot parlar, per exemple, de temporals hivernals,

Taula 1. Casos seleccionats amb fluxos del nord al Pirineu Mediterrani i les seves principals característiques. Exc.: Excursionistes. Esq.: Esquiadors.

Casos (núm. identificatius)	Data	Lloc de referència	Comarca	Municipi	Altitud (m)	Núm. de morts
0	S. XIX (1850)	Noucreus (cim)	Ripollès	Queralbs	2800	9
1	17/02/1930	La Tosa d'Alp (cim)	Cerdanya	Alp	2000-2200	1 (Esq.)
3	27-30/12/1968	Gorges del Freser	Ripollès	Queralbs	1700-2000	3 (Exc.)
4	8/03/1970	Gorges del Freser	Ripollès	Queralbs	1700-2500	1 (Exc.)
5	26/11/1978	Costabona (cim)	Ripollès	Setcases	2200	3 (Exc.)
6	31/12/1979	Torreneules (cim) (veure Figura 3a)	Ripollès	Queralbs	2200-2600	3 (Exc.)
8	23/12/1986	Tirapits (coll)	Ripollès	Queralbs	2700	2 (Exc.)
9	16-17/04/1992	Canigó (cim)	Conflent	-	1500-2700	1 (Exc.)
10	30/12/2000	Balandrau (cim)	Ripollès	Queralbs	2300	9 (Exc./Esq.)

Taula 2. Casos complementaris amb fluxos que no són del nord i/o no es localitzen al Pirineu Mediterrani i les seves principals característiques. Exc.: Excursionistes. Esq.: Esquiadors.

Casos (núm. identificatius)	Fecha	Lloc de referència	Comarca	Municipi	Altitud (m)	Núm. de morts
2	6/03/1944	Matagalls (Montseny) (cim)	Vallès Or.	El Brull	1400	2 (Esq.)
7	4/11/1984	Puigmal (cim)	Ripollès	Queralbs	2700	2 (Exc.)
11	15/02/2005	Montardo (cim)	Vall d'Aran	Naut Aran	2100-2800	1 (Exc.)

episodis tempestuosos o situacions amb visibilitat molt reduïda.

En general, la combinació de nevada, vent fort i temperatures baixes està freqüentment associada a sinistres fatals a Espanya, especialment a alta muntanya, tot i que durant autèntiques onades de fred, que han afectat gran part de la Península Ibèrica, hi ha hagut accidents fins i tot a cotes inferiors als 1000 m, especialment a la seva meitat nord (Pascual, 2008). En alguns episodis, com el cas seleccionat 10 (12/00) (d'ara en endavant es farà referència als casos pel seu número identificatiu i entre parèntesi s'especificarà el mes i l'any) (Taula 1) (Pascual, 2001; Vilà, 2001; García i Vilar, 2006; Pons, 2008), s'han registrat simultàniament accidents amb víctimes mortals en punts allunyats d'una mateixa serralada - Ripollès (Girona), Pallars Sobirà (Lleida) i Sobrarbe (Osca) al Pirineu -i fins i tot a diferents serralades, com en l'episodi d'abril de 1994 en què hi va haver un accident mortal a la vall d'Ordesa i un altre als Pics d'Europa.

Aquest tipus de temps s'ha establert habitualment sota adveccions sinòptiques septentrionals o continentals europees o durant el pas de tàlvegs atlàntics tot i que hi ha excepcions com el cas complementari 7 (11/84) (Taula 2), quan, amb una advecció sinòptica del SO, van caure fortes nevades i les temperatures van ser baixes. En aquest esdeveniment va morir un excursionista, probablement per hipotèrmia, després de perdre's pel massís del Puigmal (Pirineu Mediterrani) a causa de la mala visibilitat. Tanmateix, s'ha de considerar que aquesta advecció, establerta per una depressió atlàntica, va ser acompanyada pel pas d'oest a est d'un front fred.

També, en ocasions, s'han viscut condicions ambientals hivernals a alta muntanya en ple estiu que han comportat un gran risc, no tant per la perillositat dels fenòmens en si, sinó per l'elevada exposició i vulnerabilitat del col·lectiu de persones presents en aquella estació a la muntanya. El dia 20 d'agost de 2005 un esdeveniment d'aquest tipus va provocar la mort d'una persona al massís de l'Aneto (Pirineu central) i va posar en greu perill d'hipotèrmia altres excursionistes al mateix sector.

En aquest treball es presenten una sèrie d'accidents mortals succeïts al Pirineu Mediterrani, a l'est de la Cerdanya, associats a temporals hivernals. Complementàriament, es fa menció de dos casos de característiques meteorològiques i epidemiològiques molt semblants però fora d'aquesta zona (casos 2 (03/44) i 11 (02/05) (Zaragoza, 2008) de la Taula 2). Les configuracions sinòptiques presents durant aquests episodis s'han ajustat, tret d'una (cas complementari 7 (11/84) de la Taula 2), al mateix patró: adveccions de component N. Les condicions meteorològiques han estat una combinació de nevada, vent fort, baixes temperatures i neu en suspensió, amb una reducció notable de la visibilitat. Aquesta darrera circumstància es coneix localment al Pirineu Mediterrani amb el nom de "torb".

Hem de dir que, tot i que hi ha pocs treballs que mostrin anàlisis sobre temporals de vent al Pirineu (la majoria del quals s'han referenciat aquí), sí que existeixen diversos estudis que analitzen episodis importants de nevades i la seva possible relació amb freqüents allaus o allaus de grans dimensions (per exemple: García i Salvador, 1994; Esteban et al., 2007; García et al., 2007; García et al., 2008). També

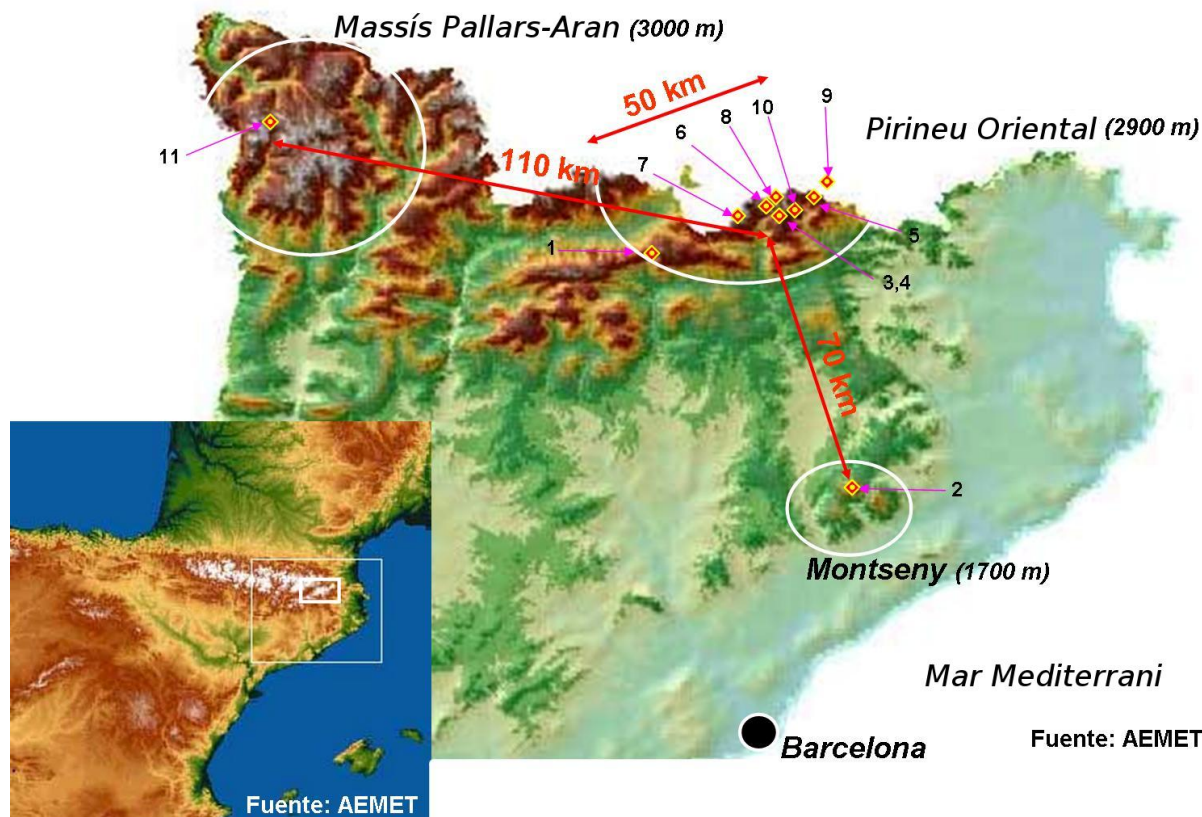


Figura 1. Àmbit d'estudi. La numeració dels casos correspon a la de les Taules 1 i 2. S'hi indiquen els tres sectors en què es registren els accidents, les distàncies entre ells i una dimensió característica del Pirineu Mediterrani.

s'han publicat treballs sobre accidentabilitat relacionada amb allaus (per exemple: Rodés, 1999; IGC, 2006), però cap sobre accidentabilitat relacionada amb condicions meteorològiques tret de Pascual (2008).

A l'article es descriu superficialment l'àmbit geogràfic de l'estudi, el mètode de cerca i selecció dels casos i les característiques bàsiques dels accidents i de l'entorn meteorològic associat. Posteriorment, es descriuen els entorns sinòptics i mesoescalars en què es registren els successos i el seu context climatològic, és a dir, el tipus de situacions sinòptiques que estan presents a l'època hivernal amb més freqüència i la freqüència amb què apareixen els temporals. Finalment, s'esbossen unes breus conclusions, amb l'objecte d'introduir suggeriments la finalitat dels quals sigui mitigar el risc associat als temporals hivernals.

2 Àmbit geogràfic

L'àrea d'estudi (Figura 1) és el sector pirinenc gironí comprès entre la fossa tectònica de la Cerdanya i el Mediterrani, encara que l'accident més oriental s'ha registrat al massís francès del Canigó (2784 m), allunyat uns 50 km de la costa.

Aquest sector del Pirineu axial rep el nom genèric de Pirineu Mediterrani o Oriental. Sota aquest terme s'inclouen, de vegades, els monts limítrofs entre Andorra i la Cerdanya, àrea en què no s'ha registrat cap accident de les característiques esmentades. També s'ha considerat un sinistre a la Tosa d'Alp (2536 m), en el límit entre el Prepirineu barceloní i el Pirineu Oriental. Els casos complementaris 11 (02/05) i 2 (03/44) (Taula 2) s'han situat respectivament al massís de Montardo (2833 m), a la vall d'Aran, i al Montseny (1706 m), al sector nord de la serralada Prelitoral. El primer se situa a uns 110 km a l'oest del centre del Pirineu Oriental i el segon a uns 70 km al sud.

Entre el lloc de l'accident de la Tosa d'Alp i el del Canigó hi ha una distància d'uns 50 km i 8 dels 10 casos seleccionats (excloent els casos complementaris 11 (02/05) i 2 (03/44) s'agrupen en un territori de 160 km². Els llocs dels dos accidents ocorreguts al Pirineu axial més allunyats entre si (Puigmal i Canigó) es troben a una distància de 25 km (Figura 2). D'aquests casos, 8 se situen a la comarca del Ripollès, un a la Cerdanya (Tosa d'Alp) i l'altre al Conflent (Canigó; departament francès dels Pirineus Orientals).

El municipi de Queralbs (Girona) és probablement un dels municipis espanyols amb més accidents mortals de muntanya per causes meteorològiques (Pascual, 2008). Es pot considerar el Santuari de Núria (1950 m), a Queralbs,

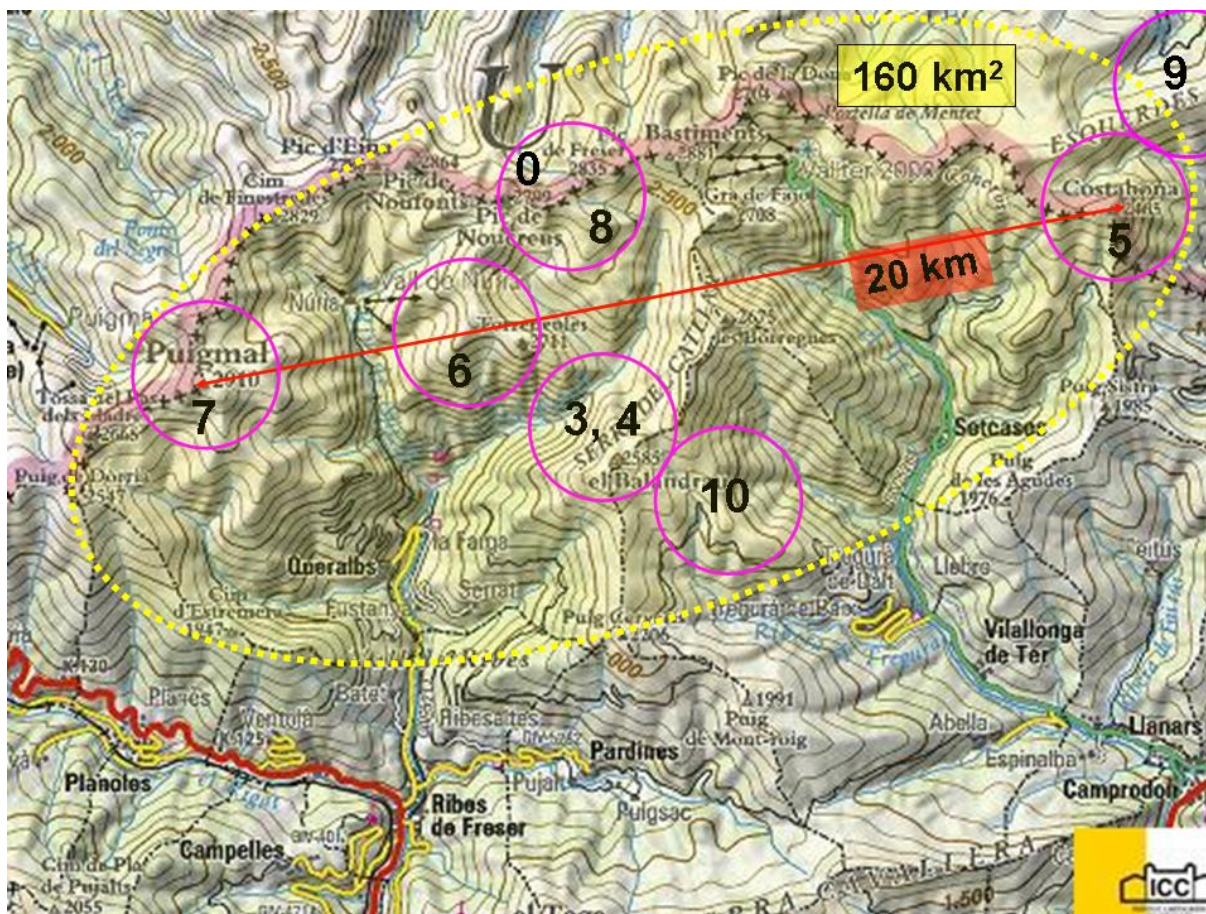


Figura 2. Sector axial del Pirineu Oriental en què es mostra la localització aproximada de 9 accidents mortals i dimensions orientatives del sector.

com el centre d'una àrea muntanyosa anomenada, en conseqüència, Muntanyes de Núria. Set dels accidents ressenyats s'han produït a 10 km o menys del santuari.

Tot i que l'elevada freqüència d'aparició d'unes determinades condicions atmosfèriques es troba sens dubte darrere de l'elevat índex de sinistralitat de la comarca, altres factors naturals i socials també afavoreixen que sigui així. En primer lloc, la morfologia d'aquestes muntanyes està caracteritzada, per sobre dels 2000 m i tret d'alguns sectors concrets, per formes arrodonides i alts cordals herbosos. La cota màxima és el Puigmal (2910 m), però hi ha molts cims de més de 2800 m d'altitud. Per sota dels 2000 m existeixen alguns sectors abruptes, escarpaments i gorges, com les dels rius Núria o Freser, on precisament hi ha hagut alguns accidents mortals.

D'una altra banda, l'arribada el 1919 del tren fins al poble de Ribes de Freser i la del tren cremallera al Santuari de Núria el 1931, han permès l'entrada massiva de turistes i excursionistes a aquestes muntanyes. Per tant, des de fa més de mig segle, la freqüentació de les Muntanyes de Núria és probablement bastant més elevada que la d'altres massissos pirinencs catalans.

3 Casos seleccionats

S'ha portat a terme una cerca d'accidents suposadament associats a condicions meteorològiques adverses seguint diferents vies:

- S'han buscat notícies en diverses hemeroteques digitals d'àmbit català o espanyol. La més completa en el moment de realitzar aquest estudi era la de *El País*, disponible des de 1976 (actualment l'hemeroteca digital de *La Vanguardia* permet consultar exemplars des de 1881). El *Servei de Gestió Documental, Arxius i Publicacions de l'Ajuntament de Girona* facilita a la seva pàgina web l'accés i l'eina de cerca en premsa digitalitzada des de 1808, però només s'ha consultat sistemàticament des de 1965 i en alguns casos concrets anteriors (1930 i 1944). Gràcies a aquest servei s'han recopilat notícies del *Diario de Gerona*, *Los Sitios* i *Los Sitios de Gerona* des de 1969 fins el 1983 i del *Diari de Girona* posteriorment. També s'han extret notícies de *La Vanguardia*, per a dates posteriors al 2001.
- Una altra font fonamental d'informació és l'article de Perelló i Reñé (1953), que recull 46 accidents ocor-

Taula 3. Valors tèrmics estimats a l'altitud dels accidents a partir dels nivells isobàrics de 850 i 700 hPa, i valors de vent a diferents nivells isobàrics, de l'atmosfera lliure a partir de les reanàlisis de cada 6 hores del ECMWF i del NCEP/NCAR per als casos seleccionats i complementaris. Els cinc casos més freds tenen la sensació tèrmica en negreta, mentre que els cinc casos amb major intensitat del vent tenen aquesta variable a 850 hPa en negreta.

Casos	Temperatura (°C)	Índex de fred o Windchill (°C)	Intensitat (km h ⁻¹) i direcció del vent		
			300 hPa	700 hPa	850 hPa
1(02/30)	-10/-12	-23/-27	Sense dades	Sense dades	(NE, SFC)
2(03/44)	-5/-10	Sense dades	Sense dades	Sense dades	(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)

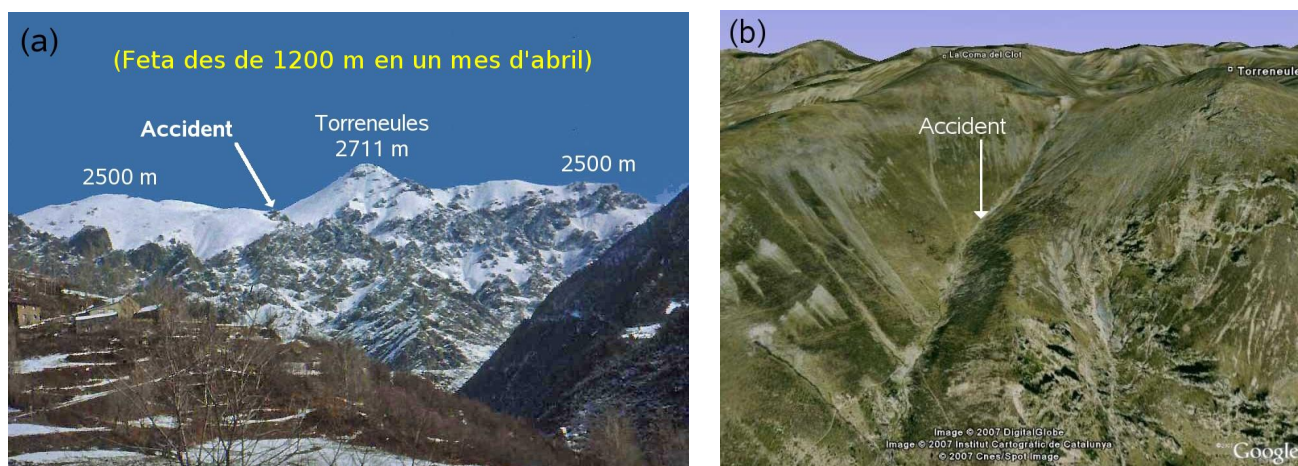


Figura 3. (a) Massís del Torreneules i (b) localització aproximada de l'accident mortal ocorregut a finals de desembre de 1979 (cas 6 (12/79)).

reguts a Espanya en la primera meitat del segle XX, entre els quals dos estan clarament vinculats a meteorologia hivernal adversa: un a la zona d'estudi (Tosa d'Alp) i un altre al Montseny.

- Per tal de confirmar algunes dades s'ha contactat amb l'ajuntament de Querol i, en uns pocs casos i de manera informal, amb persones indirectament relacionades amb els sinistres o amb les operacions de rescat efectuades.

A la Taula 1 es mostren les característiques dels casos seleccionats amb fluxos del nord al Pirineu Mediterrani, advertint que en alguns d'ells hi ha una notable incertesa pel que fa a la data i localització exactes de l'accident.

S'han inclòs tres casos complementaris d'interès (veure Taula 2) que o no tenen un flux del nord o no pertanyen a l'àmbit geogràfic d'estudi, però sí que mostren les mateixes o semblants tipologies dels accidents, i, per tant, permeten am-

pliar i comparar els casos seleccionats. Dos d'ells, els casos 2 (03/44) i 11 (02/05), s'inclouen per a estudiar i comparar les mateixes característiques meteorològiques de fluxos del nord en altres àmbits geogràfics pròxims al Pirineu Oriental, com són respectivament el Montseny i el Pirineu Occidental català. També s'inclou el cas 7 (11/84), poc habitual però no impossible, de la mateixa tipologia d'accidents sense fluxos del nord (flux del SO), però amb una procedència de la massa d'aire semblant als casos objecte d'estudi.

4 Característiques dels accidents i de les condicions meteorològiques

De l'observació de les Taules 1 i 2 s'extreuen dels casos seleccionats (excloent el cas 0 (S. XIX) a les estadístiques) i dels complementaris algunes característiques generals:

- L'augment en la freqüentació de la muntanya associat a vacances o caps de setmana condiciona, lògicament,

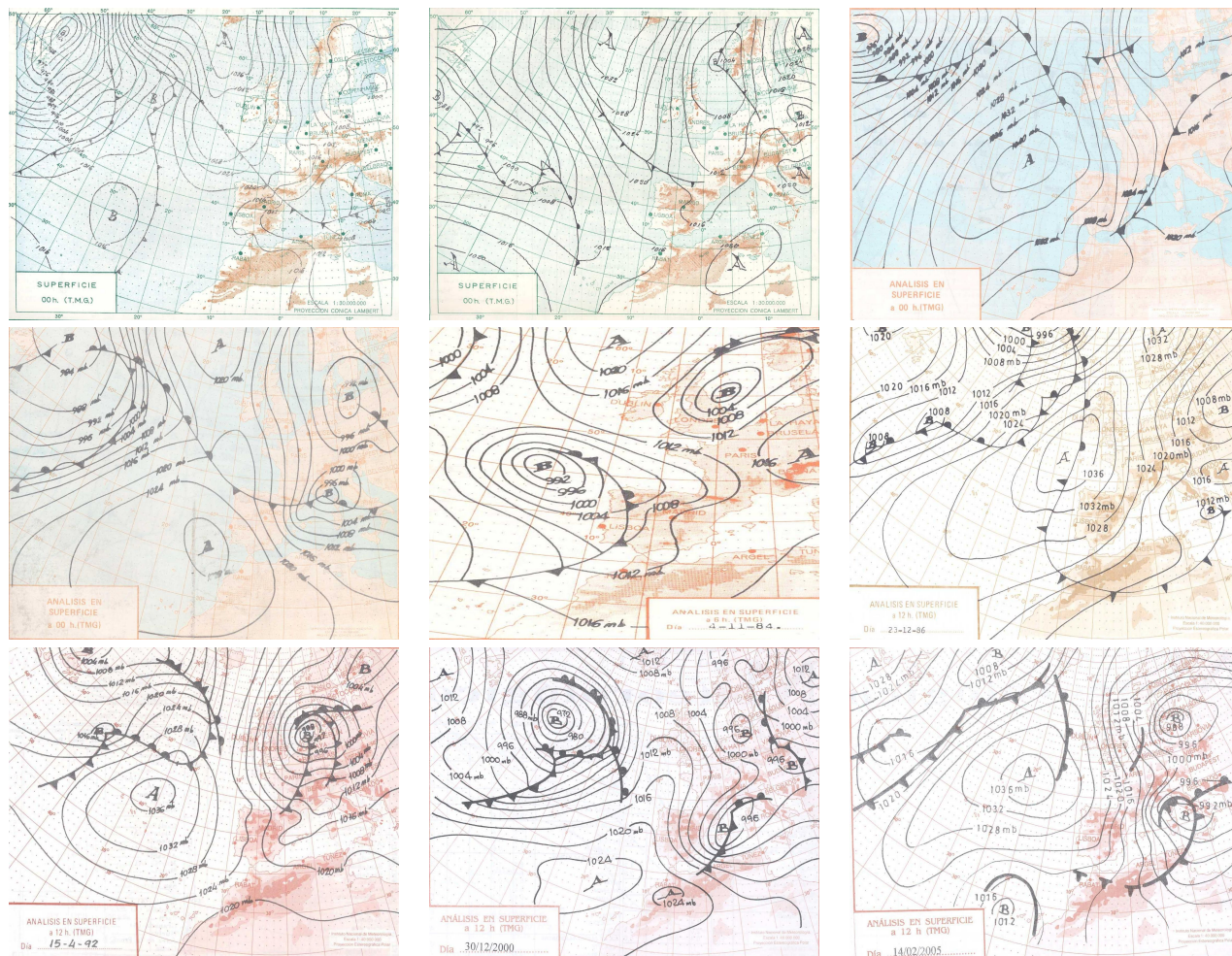


Figura 4. Anàlisi de pressió en superfície i anàlisi frontal. D'esquerra a dreta i de dalt a baix: 27/12/68 00 UTC (cas 3 (12/68)); 8/03/70 00 UTC (cas 4 (03/70)); 26/11/78 00 UTC (cas 5 (11/78)); 31/12/79 00 UTC (cas 6 (12/79)); 4/11/78 06 UTC (cas 7 (11/84)); 22/12/86 12 UTC (cas 8 (12/86)); 15/04/92 12 UTC (cas 9 (04/92)); 30/12/00 12 UTC (cas 10 (12/00)); i 14/02/05 12 UTC (cas 11 (02/05)). Font: AEMET.

la distribució diària, setmanal i mensual dels accidents (el 70% dels casos i el 81% de les víctimes mortals van tenir lloc en dies no feiners). També cal destacar el número relativament elevat d'accidents al voltant de Nadal i Cap d'Any (per exemple, el 40% dels casos amb el 65% de les víctimes), coincidint d'una altra banda amb els dies més curts de l'any.

- Els accidents, entre els mesos hivernals del Pirineu, de novembre a abril, registren un màxim el mes de desembre i un mínim el gener sense cap cas, en part condicionats probablement pel que hem exposat en el punt anterior.
- Tret del cas del Montseny (cas 2 (03/44)), els accidents han tingut lloc per sobre dels 1500 m - 1700 m. A més, el 80% (85% de les víctimes) han tingut lloc sobre els 2000 m, és a dir, a alta muntanya.
- A diferència dels accidents causats per errors tècnics en la progressió comesos en condicions meteorològiques favorables, la majoria dels accidents seleccionats tenen

més d'una víctima mortal. De fet, a més, en 3 dels 5 casos en què hi ha només una mort, l'excursionista anava sol, cosa que suggereix que, en el cas d'haver estat presents més persones, potser l'accident hauria estat encara més greu.

De la informació disponible a la premsa, algunes observacions meteorològiques disperses, relats de persones implicades i estimacions a partir de reanàlisis de models numèrics ECMWF (ERA-40) (<http://www.ecmwf.int/services/archive>) i NCEP/NCAR (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsslpeur.html>) es poden establir, tot i que amb incertesa, les possibles causes de les morts i de les causes naturals que condicionen les ocurrences dels accidents. Per a les darreres proposem:

- Presència de neu poc cohesionada, en uns casos per nevada en el moment de l'accident, i en altres, per nevades recents en un procés molt lent de transformació i compactació a causa de les baixes temperatures.

- Condicions de visibilitat reduïda per nevada i/o neu en suspensió aixecada del terra pel vent a causa de la seva poca cohesió.
- Vents forts o molt forts, amb ràfegues, en alguns casos, superiors als 120 km h⁻¹. Sacasas (1999) suggereix que en alguns cims del Pirineu Oriental, com el Bastiments (2881 m), és possible que s'hagin superat els 200 km h⁻¹ en vendavals extraordinaris. García i Vilar (2006) indiquen que en el cas 10 (12/00) es va registrar una ràfega màxima de 138 km h⁻¹ a l'estació meteorològica automàtica d'Ulldeter (2380 m), del Servei Meteorològic de Catalunya, situada a 6 km del lloc de l'accident.
- Temperatures negatives durant bona part del dia i valors de l'índex de fred molt baixos.

Els canvis, sovint molt sobtats, en les condicions atmosfèriques impliquen variacions en les del terreny, tant pel que fa a la superfície (nevada o no), com a l'estabilitat del mantell nival. És el que Fuster i Elizalde (1995) anomenen canvis qualitius del *substratum* de la pràctica esportiva com a conseqüència de l'acció dels agents modificadors interns o ecològics, en aquest cas el factor meteorològic. A causa d'aquests canvis (sobretot sobre terrenys nevats) la percepció de l'entorn per part dels excursionistes els pot portar a errors fatals en la presa de decisions (grau de pendent, desorientació, manca de referències visuals, etc.).

Dos termes anglosaxons descriuen les condicions ambientals presents quan es combinen els elements anteriors: *blizzard* i *whiteout*. *Blizzard* és, segons el TERMCAT (2009), un estat del temps caracteritzat per temperatures extremadament baixes, vent fort i una reducció gairebé total de la visibilitat a causa de la neu aixecada del terra. És un fenomen especialment propi de les zones polars i del nord-oest d'Amèrica del Nord. Segons el TERMCAT (2009) uns llistats establerts per definir-lo són: temperatura inferior a -12°C i velocitat del vent superior a 50 km h⁻¹. Uns altres criteris proposen vents superiors a 40 km h⁻¹, nevada o neu aixecada del terra, visibilitat inferior a 1 km i índex de fred inferior a -25°C i durada d'almenys 4 hores (Environment Canada, 2009). Les condicions ambientals tipus torb del Pirineu, especialment a alta muntanya del sector més oriental, són en els casos més severos un fenomen equivalent al *blizzard*.

El fenomen *whiteout* equival a paisatge o resplendor blanca. Es tracta d'un fenomen òptic atmosfèric, que apareix especialment a les regions polars, en què a l'observador li sembla trobar-se envoltat per una blancor uniforme a causa de la manca de contrast entre el cel i la superfície; no es poden distingir ombres, ni l'horitzó ni els núvols, i es perden el sentit de la profunditat i l'orientació (Eumetcat, 2009). Aquest paisatge blanc és el que es troba un excursionista a alta muntanya sota les condicions meteorològiques del *blizzard*. Té lloc amb més facilitat sobre muntanyes amb pocs elements de relleu significatius, com les del Pirineu Oriental, arrodonides i bastant uniformes.

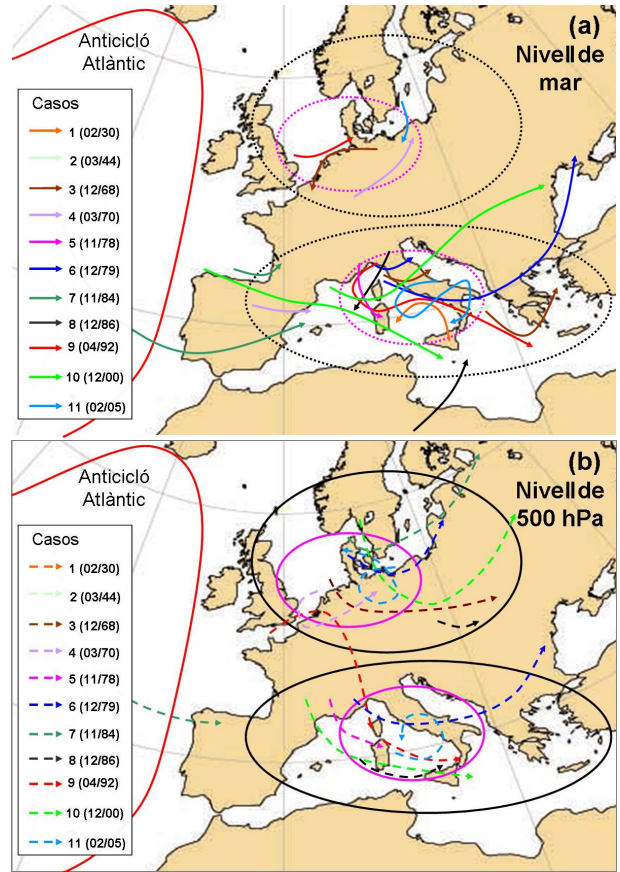


Figura 5. Trajectòries dels centres de les baixes per als episodis seleccionats i complementaris del S. XX. A (a) amb traç continu es mostren les trajectòries dels centres de les baixes a nivell del mar (pressió reduïda a nivell del mar) i a (b) amb traç discontinu a nivell de 500 hPa (geopotencial). Les el·lipses negres (grans) engloben els principals camins de desplaçament de les depressions. Les el·lipses roses (petites) engloben àrees on les depressions es mantenen estacionàries o tenen moviment retrògrad. Font de la cartografia: ECMWF-NOAA.

Per tal de generar una situació de risc, la perillositat manifesta del torb ha d'interactuar amb elements vulnerables. La vulnerabilitat, en aquest cas, depèn de les característiques del propi practicant de l'alta muntanya que influeix en gran mesura en la gravetat de l'accident, com la seva preparació física, psíquica i tècnica, o l'equip i el material de què disposa (George, 1993). En canvi, l'anàlisi dels casos mostrats aquí i d'altres registrats en diferents zones i èpoques de l'any suggereix que, en determinats tipus de temps molt adversos i suposant el mateix grau d'exposició, la dependència directa de la vulnerabilitat dels muntanyencs amb les seves aptituds disminueix sensiblement. Per exemple, un cas extrem que pot ser clarificador en aquest sentit seria l'accident ocorregut al Balandrau (cas 10 (12/00)) que va provocar la mort de 9 de les 10 persones d'un grup esportivament heterogeni.

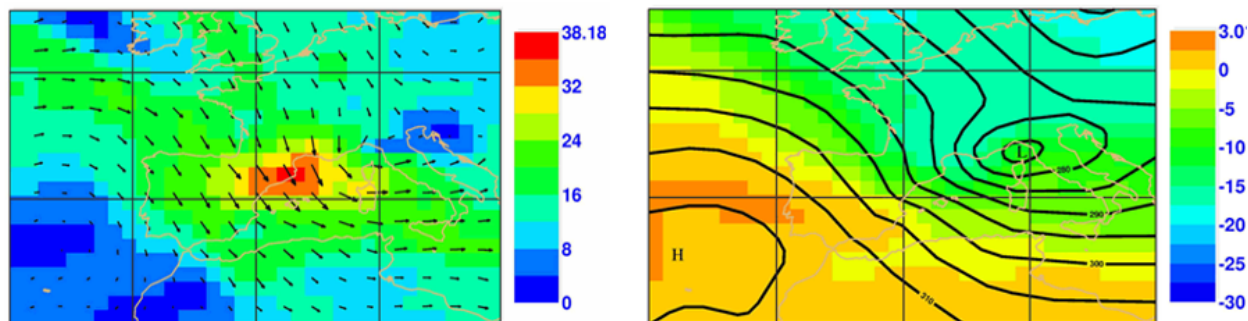


Figura 6. (a) Camp de velocitat del vent a 700 hPa corresponent al cas 6 (12/79) a les 12 UTC. Reanàlisi de l'ECMWF. Velocitat en m s^{-1} . (b) Camp de temperatura (acolorit) i altura geopotencial a 700 hPa (isohipses) corresponent al cas 6 (12/79) a les 12 UTC. Reanàlisi de l'ECMWF. Temperatura en $^{\circ}\text{C}$. Altura geopotencial en gpm.

Les causes directes de mort en els sinistres seleccionats han estat probablement les següents:

- Hipotèrmia.
- Contusions per caiguda a diferent nivell amb o sense subseqüent hipotèrmia.
- Ofegament per caiguda a un torrent amb subseqüent hipotèrmia (Matagalls, cas 2 (03/44)).
- Contusions, hipotèrmia i/o asfíxia per quedar sepultat sota un allau (Tosa d'Alp, cas 1 (02/30)).

Quan la temperatura corporal és inferior a 35°C apareix el trastorn anomenat hipotèrmia (Instituto de Estudios de Medicina de Montaña, 2009). Algunes de les conseqüències immediates d'un estat d'hipotèrmia són la pèrdua de capacitat per a realitzar moviments i l'aparició de l'apatia.

La semiinconsciència i la inconsciència arriben quan la temperatura del cos baixa fins a uns 32°C - 28°C i el cor es para al voltant dels 28°C - 24°C (Instituto de Estudios de Medicina de Montaña, 2009). Tant en l'accident de 1944 (cas 2 (03/44)) com en el de 1930 (cas 1 (02/30)) la causa directa de la mort no és el fred ambiental però van tenir lloc en un context meteorològic equivalent als altres esdeveniments.

A la Taula 3 es mostren alguns dels valors meteorològics estimats a partir de les reanàlisis de l'ECMWF (ERA-40) (Uppala et al., 2005), a 2.5° de latitud i longitud de resolució espacial horitzontal, i del NCEP/NCAR, disponibles cada 6 hores des de 1957 i 1948, respectivament. Per als dos casos més antics no disposem d'informació sobre el vent a nivells mitjos i alts. L'índex de fred s'ha calculat fent ús de la fórmula proposada el 2001 pel *National Weather Service* dels EUA (NWS, 2001).

Els intervals de temperatura i d'índexs de fred mostrats a la Taula 3 reflecteixen les incerteses a les altituds dels llocs dels accidents. Les temperatures corresponen al valor a l'atmosfera lliure, segons la reanàlisi utilitzada, al lloc de l'accident. I les velocitats i direccions del vent corresponen al vent mig en 6 hores de les reanàlisis en l'interval temporal de màxima intensitat.

La direcció del vent en tots els nivells i casos es troba compresa entre l'O i el NE, tret del cas 7 (11/84) en què

el flux va ser de component S i la temperatura sensiblement més elevada que en els altres episodis. La velocitat ha estat més elevada a 300 hPa que als nivells inferiors, superant en tots els casos els 145 km h^{-1} i arribant als 230 km h^{-1} el Cap d'Any de 1979 (cas 6 (12/79)). En aquest episodi la velocitat del vent mig al coll de Torreneules (Figura 3), molt a prop d'on van morir els tres excursionistes, podia haver estat de l'ordre de 100 km h^{-1} - 130 km h^{-1} en el moment de màxima virulència del temporal, suposant un increment lineal de la mateixa entre 850 i 700 hPa. En el cas 5 (11/78) les ràfegues van poder superar els 150 km h^{-1} al Costabona, on altres tres excursionistes van morir per hipotèrmia.

En la majoria dels casos, el vent ha estat més fort a 700 que a 850 hPa però sovint la diferència és petita, especialment quan predomina el component N. Els 5 episodis més freds (Taula 3, sensacions tèrmiques en negreta) s'han distribuït entre els mesos de febrer (2 casos), desembre (1 cas), novembre (1 cas) i abril (1 cas).

5 Entorn sinòptic i mesoescalar dels episodis amb accidents

A escala sinòptica els episodis s'han caracteritzat pels fluxos de component nord (tret del cas 7 (11/84)), associats normalment a adveccions fredes, i amb un major o menor grau d'humitat segons el seu origen atlàntic o continental, respectivament. En la meitat dels casos la massa d'aire advectada ha estat de tipus continental. En les nou dades en què s'ha pogut consultar una anàlisi frontal, un front fred ha creuat recentment la Península Ibèrica o ho està fent seguint una trajectòria compresa entre oest-est i nord-est - sud-oest (Figura 4). El caràcter post-frontal de diversos dels episodis justifica la suposició (quan no se'n té tota la certesa) que hi ha neu recent al terra.

La Figura 5 presenta les posicions i trajectòries dels centres depressionaris a 500 hPa i superfície per als casos del segle XX. Aquestes configuracions sinòptiques determinen un flux de component N entre les baixes europees o mediterrànies i una àrea d'altres pressions sobre l'Oceà

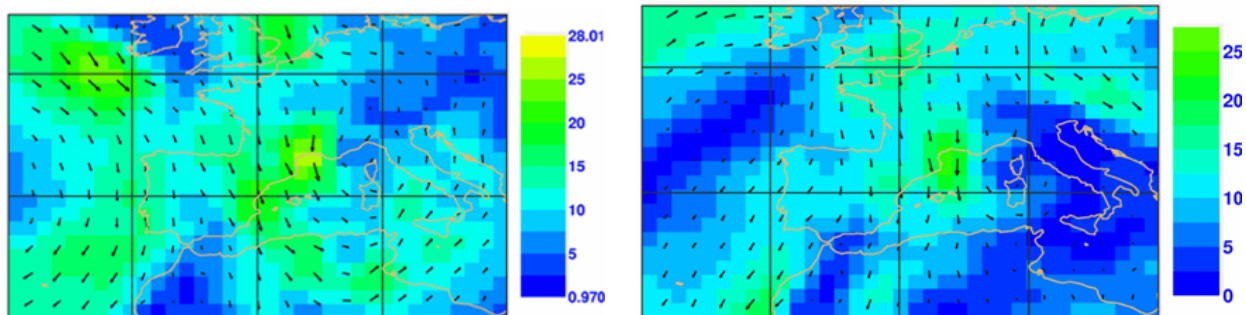


Figura 7. Camp de velocitat a 850 hPa corresponent al cas 5 (11/78) (esquerra) i al cas 8 (12/86) (dreta) a les 18 UTC. Reanàlisi de l'ECMWF. Velocitat en $m s^{-1}$.

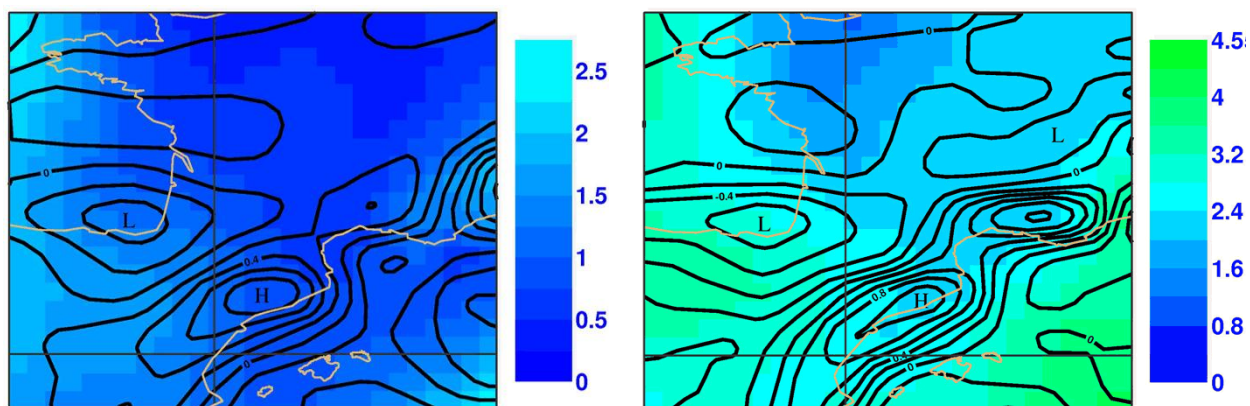


Figura 8. Camp de velocitat vertical (isotaques) i humitat específica (acolorit) a 700 hPa (esquerra) i 850 hPa (dreta) corresponents al cas 5 (11/78) a les 18 UTC. Reanàlisi de l'ECMWF. Els valors positius de la velocitat indiquen moviment descendent. Velocitat en $m s^{-1}$. Humitat específica en $g kg^{-1}$.

Atlàntic, més o menys allargada com a dorsal cap a Islàndia. Els elements més significatius són:

- Presència recurrent d'un anticicló atlàntic més o menys allargat latitudinalment. Aquesta àrea d'altres pressions es correspon en bona mesura amb el tipus sinòptic 5, dorsal atlàntica, proposat per Rasilla (2003). El tipus 3 proposat pel mateix autor, corresponent al conegut anticicló de les Açores, està caracteritzat per la penetració d'una dorsal anticiclònica cap a Europa Occidental que no s'observa als mapes de superfície de la Figura 4. El mateix treball mostra que tèrmicament el tipus 5 tindria un caràcter marcadament fred, mentre que el 3 seria de tipus intermedi; i que a més la intensitat del flux, en un 99% dels casos procedent del 1^r o 4^t quadrant en el tipus 5, seria molt més gran que per al tipus 3. En la més recent classificació sinòptica presentada per Esteban et al. (2006), per al període 1960-2001, basada en una anàlisi per components principals i una posterior clusterització, es mostren també dos patrons que descriuen aquesta configuració estirada latitudinalment de l'anticicló de les Açores que estableix un flux del nord o nord-oest sobre Europa Occidental. Són els seus pa-

trons CL6 (Baixa mediterrània/advecció septentrional) i CL16 (Baixa centreuropea/advecció septentrional), amb un mínim de freqüència a l'estiu el primer i un màxim a la primavera el segon. La principal diferència entre ells radica en la localització de la baixa en superfície.

- Presència de nuclis depressionaris tant en 500 hPa com en superfície concentrats en dues zones: el nord de la conca del Mediterrani Occidental i el nord de d'Europa Central. Les baixes mediterrànies són el resultat dels processos d'interacció del flux sinòptic amb els Alps i la seva freqüent generació converteix l'àrea compresa entre el Golf de Lleó, el de Gènova i el mar Catalano-balear en una de les més ciclogènètiques del món (Jansà, 1997).
- Queden definits dos camins principals de desplaçament, oest-est, de les depressions en aquests episodis: el situat entre les Illes Britàniques i Rússia i el situat entre la Península Ibèrica i els països balcànics. Aquests camins no són anòmals ja que, per al cas de temporals de vent que afecten la Península Ibèrica, Rasilla et al. (2002) ja presenten com una trajectòria secundària dels mínims baromètrics en superfície una intermèdia entre les dues

anteriors: des de l'Atlàntic fins a Europa Central creuant el mar Cantàbric.

- S'identifiquen a l'interior dels camins anteriors uns sectors en què els centres depressionaris es mantenen bastant estacionaris i fins i tot manifesten un cert moviment retrògrad (d'est a oest).
- El cas 7 (11/84) mostra el desplaçament fins a l'est d'una depressió atlàntica entrant a la Península Ibèrica per Galícia (500 hPa) i Portugal (superfície).
- El cas de 1986 (cas 8 (12/86) mostra una ciclogènesi argelina en superfície, a sotavent de l'Atlas amb flux de component S.
- En el cas 9 (04/92) el centre de la baixa en superfície fa un ràpid desplaçament nord-sud, anòmal, passant de la trajectòria europea a la mediterrània. Tot i que no és un desplaçament habitual, Rasilla et al. (2002) consideren aquesta trajectòria com una de les tres associades a temporals de vent a Catalunya i altres àrees del nord peninsular.
- En el gravíssim cas 10 (12/00) una depressió en profundització es desplaça molt ràpidament des del Cantàbric fins al mar Balear (Pascual, 2001).

Sota un flux sinòptic de N el camp de pressió a mesoescala alfa sobre el nord-est de la Península Ibèrica i l'istme pirinenc mostra una deformació característica, configurant-se el dipol pirinenc (mesoescalar) (Jansà, 1997): un mínim de pressió sobre la vall de l'Ebre o Catalunya i un màxim sobre la plana aquitana o sobre la mateixa serralada en forma de dorsal amb eix orientat d'oest a est. Associats al dipol apareixen el sistema de vents regionals tramuntanamentral, un bloqueig temporal d'aire fred a la vessant nord i el conseqüent desenvolupament d'un fort gradient de temperatura i humitat (i densitat) transversal al Pirineu (Bougeault et al., 1993; Campins et al., 1997; Pascual, 2001).

Per tal d'explicar el fet que, segons alguns registres d'estacions automàtiques, per exemple en el cas del 30 de desembre de 2000 (Pascual, 2001; García i Vilar, 2006) i els propis relats dels accidentats o rescatadors (Fransí, 1999; Vilà, 2001), la velocitat del vent sovint augmenta brusquement, i com que el gradient de densitat transversal al Pirineu és elevat, es podria aplicar el model conceptual de corrent de densitat (Arasti, 2001; Pascual, 2001) a aquesta fenomenologia. No hem d'oblidar, a més, que la complexa orografia local genera acceleracions del vent a microescala γ i β , en zones que són potencials punts negres des del punt de vista de la sinistralitat.

L'efecte del Pirineu sobre el flux del N és més evident a 850 hPa que a 700 hPa, nivell isobàric aproximat dels cims més elevats del Pirineu Oriental, de manera que l'acceleració del vent al seu extrem oriental és més clara per sota dels 1200 m - 1500 m, especialment quan la tramuntana ha entrat en règim estacionari (Campins et al., 1997).

A fi d'exemplificar alguns dels efectes a escala sub-sinòptica de la interacció entre els fluxos septentrionals i l'orografia pirinenca es mostren a continuació alguns camps meteorològics procedents de l'ERA-40 del model ECMWF,

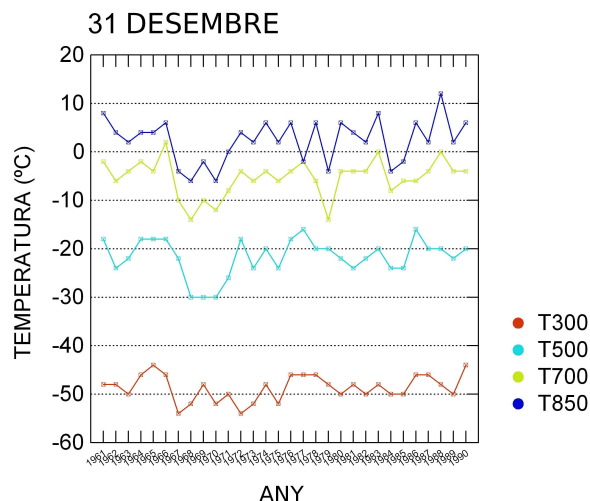


Figura 9. Sèries temporals de temperatures (°C) a les 12 UTC per al dia 31 de desembre, de 1961 a 1990. Nivells: 300 hPa (inferior; vermell), 500 hPa (blau cel), 700 hPa (verd) i 850 hPa (superior; blau fosc). Reanàlisi de l'ECMWF.

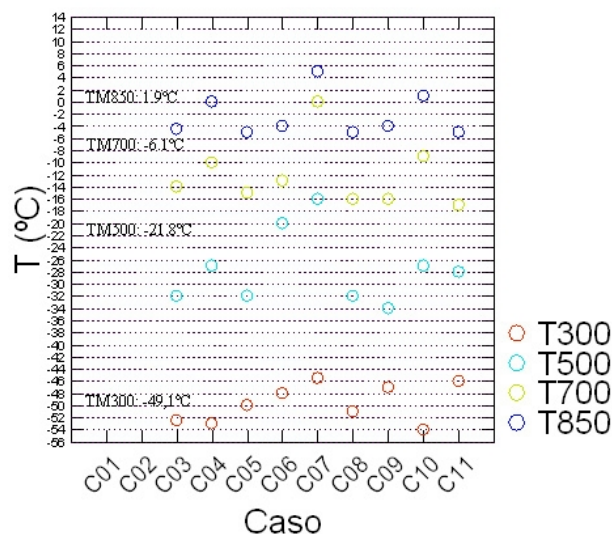


Figura 10. Temperatures representatives dels episodis escollits en: 300 hPa (inferior; vermell), 500 hPa (blau cel), 700 hPa (verd) i 850 hPa (superior, blau fosc). TM: Valor mig de les sèries de 30 anys per a les dates de referència i els quatre nivells.

a 2.5° de resolució espacial. Hem de tenir en compte que en aquesta resolució, equivalent a uns 125 km, l'orografia pirinenca està sensiblement suavitzada respecte de la real i per tant no es pot esperar que aquestes reanàlisis reproduïxin tota la fenomenologia mesoescalar associada a l'esmentada interacció.

En el cas 6 (12/79), el camp de vent a 700 hPa presenta un màxim localitzat notablement accentuat (Figura 6a). Aquest màxim, també visible a 850 hPa, acompanya un altre

del NNO de 65 m s^{-1} (230 km h^{-1}) a 300 hPa. En aquest episodi, el gradient de geopotencial sobre el nord-est de la Península Ibèrica és més gran que en els altres casos, tant a causa de la presència d'una profunda borrasca centrada en el golf de Gènova com a la proximitat al sud-oest peninsular del centre de l'anticicló atlàntic (Figura 6b), de manera semblant a com va passar en el cas 10 (12/00), en què es van registrar velocitats de 60 m s^{-1} (220 km h^{-1}) a 300 hPa.

Esteban et al. (2005) identifiquen en la seva classificació objectiva de patrons sinòptics favorables a les nevades fortes a Andorra dos clústers (5 i 7) als quals es podrien associar els casos esmentats en el paràgraf anterior, caracteritzats per la presència d'un dipol sinòptic de pressió format entre una profunda baixa sobre el sud d'Europa i l'anticicló centrat a l'oest o sud-oest de Portugal, un fort gradient bàric sobre el Pirineu i el conseqüent flux fort del NO a tots els nivells.

D'altra banda, casos com el 5 (11/78) o 8 (12/86), amb tres i dues persones mortes respectivament al Costabona i a Tirapits, mostren valors màxims de la velocitat del vent lleugerament superiors a 850 que a 700 hPa (Taula 2) i perfectament localitzats a l'extrem oriental del Pirineu (Figura 7), lligats a l'efecte orogràfic, cosa que no impedeix que el vent a nivells més alts fos també fort, superior als 80 km h^{-1} . De fet, el Pirineu i el dipol de pressió associat són responsables de la majoria dels episodis amb vent fort a Catalunya no relacionats amb ciclons propers (Campins et al., 2007).

L'anàlisi simultània dels camps de velocitat vertical i humitat específica a 700 i 850 hPa a l'entorn del Pirineu Oriental (Figura 8) mostra una subsidència d'aire sec màxima sobre o a sotavent de la serralada amb flux de component N. En canvi, en l'episodi amb advecció del SO, cas 7 (11/84), apareix un feble moviment ascendent, associat, almenys en part, al forçament orogràfic a la vessant sud del Pirineu. La subsidència sota una situació del nord té probablement dues components fonamentals, sinòptica i mesoescalar:

- L'aproximació d'una dorsal anticiclònica atlàntica, amb la conseqüent subsidència a gran escala.
- La probable ona de muntanya generada en situacions de creixent estabilitat a l'estratificació. Aquesta ona s'ha mostrat en altres episodis amb flux de component N, amb efecte föhn i/o temporals de vent a sotavent (Pascual, 2001; Pascual, 2005). A la Figura 8 es mostren, com a exemples, els mapes corresponents al cas 5 (11/78), en què s'observa com un màxim subsident a 700 i 850 hPa, a sotavent del Pirineu, coincideix amb un mínim relatiu d'humitat específica, especialment visible a 850 hPa.

6 Context climatològic

Per valorar la possible excepcionalitat dels episodis seleccionats s'han comparat, a partir de les dades procedents de l'ERA-40, les seves configuracions sinòptiques i

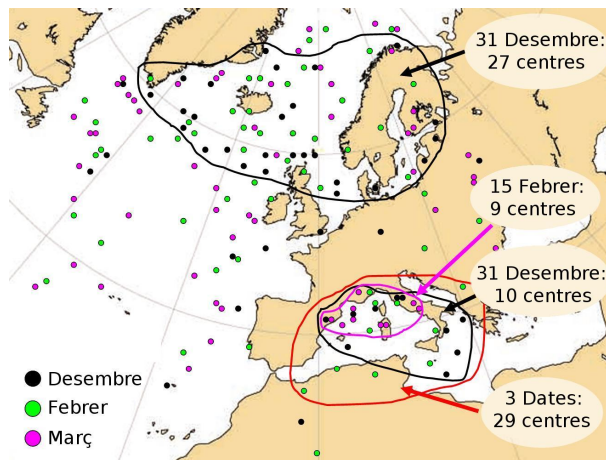


Figura 11. Localització dels centres de baixa pressió en superfície per a les tres dates de referència. Negre: desembre. Verd: febrer. Rosa: març. Les línies contínues tancades engloben àrees de màxima densitat espacial d'aquests centres. S'hi indiquen alguns valors referents al número de centres en les àrees esmentades per a les diferents dates. Font de la cartografia: ECMWF-NOAA.

ambient tèrmic amb les condicions atmosfèriques habituals en aquesta època de l'any. Per a això, s'han escollit tres dates representatives de l'inici (31 de desembre), meitat (15 de febrer) i final de l'hivern (31 de març), segons la seva definició astronòmica. Per la seva part, l'hivern meteorològic, a efectes estadístics, inclou els mesos de desembre, gener i febrer però Rasilla (2003), a partir d'una anàlisi per components principals de la freqüència absoluta d'aparició de 10 tipus de circulació classificats prèviament, va definir quatre "estacions naturals" de les quals la primera era un període hivernal comprès entre el 12 de novembre i el 31 de març. Per això, els dos casos de novembre poden ser els pitjor representats en l'elecció realitzada, no exempta d'una certa arbitrarietat.

En primer lloc, s'han obtingut les sèries temporals de temperatura a 300, 500, 700 i 850 hPa sobre el Pirineu, corresponents al període 1961-1990. Com a exemple, s'ha representat a la Figura 9 la gràfica corresponent al 31 de desembre. S'han representat també els centres d'alta i baixa pressió sota diferents tipus de flux, comparant aquestes representacions amb els dels dos casos d'estudi.

A la Figura 10 es comparen les temperatures mitjanes en els 4 nivells isobàrics per a les tres dates escollides amb les representatives dels casos d'estudi. A 850 i 700 hPa, les registrades en aquests últims han estat sempre inferiors a la mitjana per a les dates de referència tret del cas 7 (11/84), amb advecció del SO. A 500 i 300 hPa hi ha 2 i 4 casos respectivament en què les temperatures associades als casos d'estudi han estat superiors a les mitjanes climatològiques, incloent el cas 7 (11/84). Es comprova, per tant, que els casos d'estudi han estat especialment freds a tots els nivells però especialment als baixos.

Taula 4. Temperatures a 4 nivells isobàrics. Valors mitjans per als fluxos del primer i quart quadrant (NE/NO) i per a tots els fluxos. Entre cometes s'indiquen els valors inferiors a la mitja i amb un asterisc els superiors. En negreta apareixen aquells en què la diferència és més gran de 2°C.

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

S'han analitzat subjectivament les situacions sinòptiques presents en les dates de referència i s'ha vist que les adveccions septentrionals i les continentals europees representen una mica més del 30% del total de configuracions, sent aquest predomini menys accentuat el 31 de desembre. Altres situacions amb freqüència d'aparició superior al 10% han estat adveccions zonals, ciclòniques o anticiclòniques, les baixes dinàmiques centrades a la proximitat del Pirineu i els anticiclons centrats prop o sobre la Península Ibèrica. Quant a les direccions dels fluxos, a 500 hPa predominen els procedents del tercer i el quart quadrants mentre que a la superfície ho són els del quart i primer a desembre i els del primer i quart el 15 de febrer i el 31 de març.

Per tant, les situacions sinòptiques presents en les dates amb accidents no són rares des d'un punt de vista climatològic, almenys per a les dates i període temporal escollits, així com tampoc ho són els fluxos del primer i quart quadrant a nivells baixos. En una anàlisi de riscos s'hauria de considerar, en conseqüència, aquesta freqüència d'adveccions septentrionals.

A la Taula 4 es mostren les temperatures analitzades a diferents altituds i per a diferents direccions del flux i es comprova que sempre són més baixes que les mitjanes per a la data en qüestió quan el flux és del primer quadrant, especialment a 700 i 850 hPa. Quan el flux és del quart quadrant la temperatura pot ser més alta o més baixa que la mitjana segons l'origen de la massa d'aire advectada tot i que, en general, aquest flux està associat en tots els nivells a valors tèrmics superiors a la mitjana. El 31 de març és la data en què la temperatura en els diferents nivells és més sensible al tipus de flux, és a dir, les adveccions septentrionals o continentals europees estableixen a principis de primavera un tipus de temps tèrmicament molt allunyat de les condicions mitjanes.

Els centres de les baixes en superfície en les tres dates durant els 30 anys es poden agrupar bàsicament en dues àrees geogràfiques (Figura 11): Atlàntic Nord, on és especialment evident per al 31 de desembre, i Mediterrani Occidental. També es pot destacar que a mitjans de febrer apareix una densitat de nuclis depressionaris entre les Illes Balears, la costa catalana i els golfos de Gènova i Lleó relativament superior que a les altres dates.

Quan s'obtenen les localitzacions de les baixes per a dates amb flux del nord (Figura 12) i es representen simultàniament amb la situació dels centres d'alta pressió en les mateixes dates, s'obtenen les direccions principals sintetitzades de desplaçament de les masses d'aire fred, marítimes o continentals, que afecten el Pirineu Oriental. L'àrea atlàntica situada entre les Açores i la Península Ibèrica és una regió de freqüent localització d'un centre d'alta pressió més o menys elongat latitudinalment. També és possible que un centre anticiclònic associat al nucli atlàntic s'estengui cap a l'est, sobre Europa Central o Occidental o sobre el Mar del Nord i Escandinàvia. S'observa finalment que, en poques ocasions, concretament en 5, el flux de component nord sobre el Pirineu Oriental ha estat conduït per una alta sobre Rússia.

La disposició del dipol bàric sinòptic format pel centre d'altres pressions i la baixa (o baixes) present en l'àmbit atlàntico-europeu determina en última instància la direcció precisa del flux incident sobre el nord-est ibèric tot i que aquest dipol no sempre està ben definit i en ocasions un potent anticicló o una profunda depressió són els únics que estableixen el flux predominant. Les borrasques centrades al voltant d'Islàndia estableixen fluxos del NO, marítimes, i les situades sobre Europa Oriental, del NNE, fluxos molt freds i continentalitzats. Altres direccions principals són les del NE i ENE, desplaçant masses d'aire molt fredes i continentals les primeres i una mica més humides les segones. L'anticicló rus és responsable de les trajectòries del NE mentre que en ocasions la combinació d'una baixa al Mediterrani Occidental i l'alta al centre-est d'Europa determinen un flux més mediterraneïtzat.

En comparar la localització dels centres d'alta i baixa pressió en superfície per als casos d'estudi i per a les sèries de 30 anys (Figura 12) es comprova que, mentre que la presència i posició de l'anticicló atlàntic no han estat tan evidents en el primer cas, sí que hi ha una màxima densitat espacial de depressions coincident en bona mesura amb les àrees climatològicament favorables, especialment en el cas de les baixes mediterrànies. A més de la presència del mínim baromètric en front de les costes portugueses, corresponent al cas 7 (11/84), i per tant, no comparable a efectes sinòptics amb els altres casos (tot i que sí, tal com hem comentat anteriorment, a efectes de la tipologia d'accidents), un altre

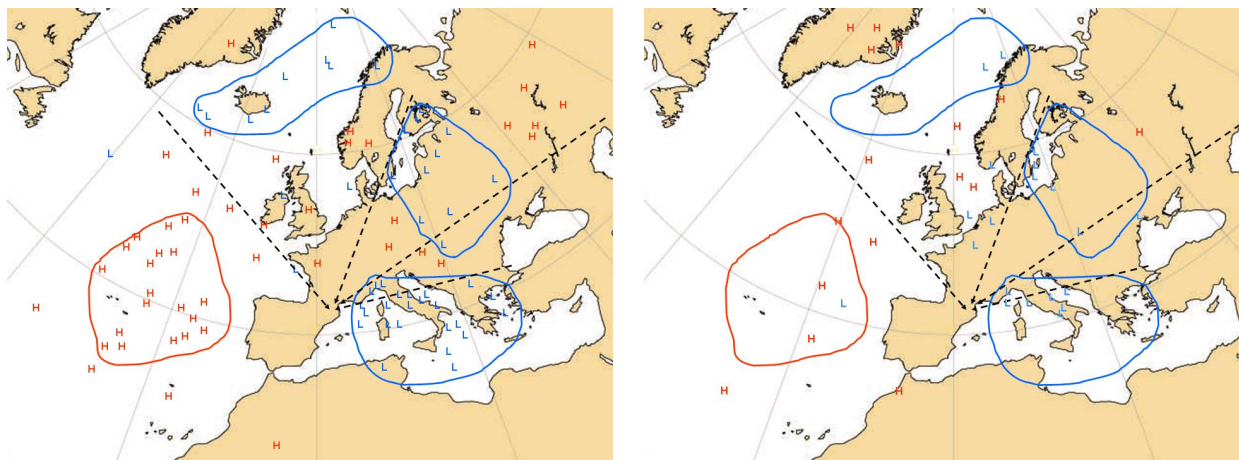


Figura 12. Localització dels centres de baixa (L; blau) i alta pressió (H; vermell) en superfície per a les tres dates de referència (esquerra) amb flux del nord sobre el Pirineu Oriental i per als casos d'estudi (dreta). Les línies contínues tancades engloben àrees climatològiques de màxima densitat espacial d'aquests centres. Les línies de traços i fletxes indiquen les principals direccions del flux del nord associades a les diferents configuracions bàriques en superfície, a escala sinòptica. Hi ha indicats els rumbos associats a aquestes direccions. Font de la cartografia: ECMWF-NOAA.

fet singular és l'existència de quatre centres situats sobre Europa Central i el sud d'Escandinàvia corresponents als casos 3 (12/68), 4 (3/70) i 5 (11/78).

Cal destacar també una clara absència de depressions islandeses i per tant, una menor presència relativa de fluxos marítims del NO respecte dels altres, més continentalitzats a causa de la seva trajectòria europea.

L'últim aspecte que es considera és la localització dels centres depressionaris i anticiclònics a 500 hPa, tant pel que fa a la sèrie de 30 anys, sota un flux septentrional, com als episodis amb sinistres (Figura 13). La distribució espacial per al trentè mostra clarament que no se situen depressions a 500 hPa a l'oest d'una línia estesa entre l'oest d'Islàndia i Irlanda i el Mediterrani Occidental, i que l'anticicló atlàntic domina la configuració sinòptica.

En unes poques dates s'identifica en les reanàlisis un màxim de geopotencial sobre Escandinàvia i en cap ocasió se situa una alta a 500 hPa sobre la resta del continent europeu, indicant, per tant, que els anticiclons localitzats en superfície sobre aquella àrea (Figura 12) tenen un origen fonamentalment tèrmic i no dinàmic.

La màxima densitat d'altres es troba al nord de les Açores, mentre que per als mínims s'esbossen altres tres àrees (Figura 13), dues de les quals superposades a les corresponents zones de màxima densitat de baixes en superfície (Figura 12): el Mediterrani Occidental i Europa oriental. El màxim visible a 500 hPa sobre Anglaterra no sembla tenir un reflex directe en superfície i pot estar lligat a depressions sobre els golfos de Gènova i Lleó. La intensitat del flux de component N és més gran en les dates en les quals la baixa a 500 hPa se situa en el sector oriental i/o l'anticicló ho fa al nord de les Açores i bastant al sud d'Islàndia (a la Figura 13, línies de traços blau i rosa respectivament). Les L de color blau clar i les H roses són les localitzacions de les baixes i

altes respectivament amb flux del N especialment intens a 500 hPa.

En el cas dels esdeveniments estudiats constatem que, tret de la baixa de 11/84, pertanyent a un altre tipus de configuració, les depressions se situen a les àrees climatològicament favorables, destacant la densitat espacial de centres a l'àrea oriental i a la meridional, instaurant-se doncs amb més facilitat fluxos del NNE o del NE a nivells mitjos, freds i secs, en general. D'una altra banda, tot i que segueix estant present a l'àrea anticiclònica al nord de les Açores, aquesta ha perdut rellevància a favor de la localització i probablement la intensitat de les baixes.

7 Conclusions

Els riscos meteorològics afecten el practicant d'activitats turístic-esportives a la muntanya. Estudis previs mostren que la combinació de nevada, vent fort i temperatures baixes està freqüentment associada a sinistres fatals a Espanya, especialment a alta muntanya (Pascual, 2008). Aquest tipus de temps s'estableix habitualment sota adveccions septentrionals o continentals europees o durant el pas de tàlvegs atlàntics, identificant-se, en la majoria dels casos, el pas d'un front fred en dies previs a la data de l'accident o durant la mateixa. Aquests mateixos treballs mostren que, en ocasions, s'han viscut condicions hivernals a alta muntanya a l'estiu, però encara que aquests episodis comportin un gran risc per les elevades exposició i vulnerabilitat del col·lectiu de persones presents en aquell moment a la muntanya, els accidents seleccionats aquí s'han registrat entre novembre i abril, essent desembre el mes amb un nombre més gran d'accidents, i no havent-ne registrat cap el gener.

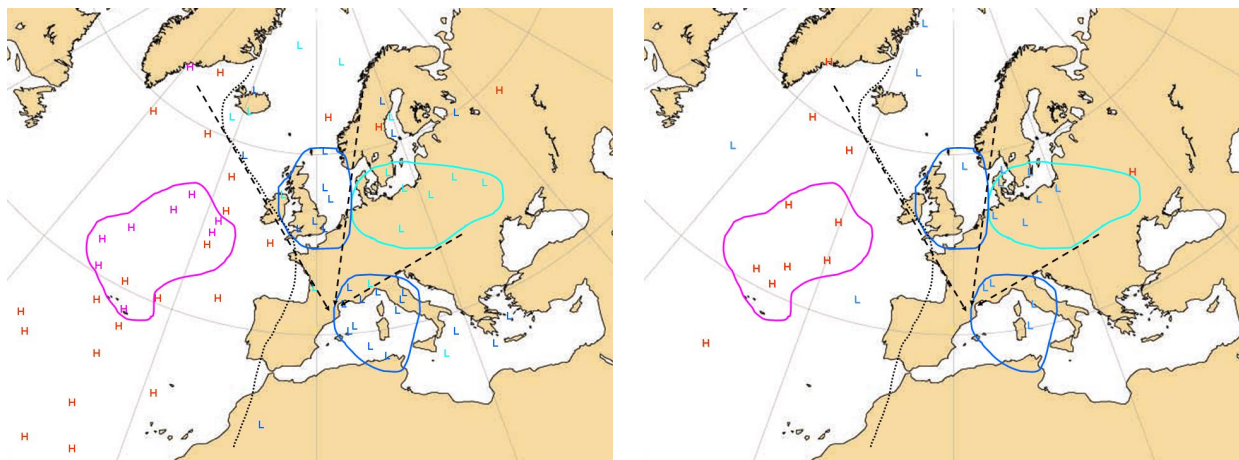


Figura 13. Localització dels centres de baixa (L; blau) i alta pressió (H; vermell o rosa) a 500 hPa per a les tres dates de referència (esquerra) amb flux del nord sobre el Pirineu Oriental i per als casos d'estudi (dreta). Les línies contínues o discontinües tancades engloben àrees climatològiques de màxima densitat espacial d'aquests centres. Les línies de traços i fletxes indiquen les principals direccions del flux del nord associades a les diferents configuracions a 500 hPa a escala sinòptica. La línia de punts separa les àrees en què apareixen nuclis ciclònics d'aquelles en què no apareixen. Font de la cartografia: ECMWF-NOAA.

Les anàlisis prèvies que s'han realitzat, publicades a Pascual (2008) mostren que en alguns casos ha nevat i que en gairebé tots hi ha probablement neu al terra que, a causa de les baixes temperatures, està poc cohesionada. La visibilitat ha estat reduïda per la nevada i/o per la neu en suspensió aixecada del terra pel fort vent. Els vents han estat forts, amb ràfegues en alguns casos superiors als 120 km h^{-1} i les temperatures negatives bona part del dia. La combinació de baixes temperatures i vents forts s'ha traduït en uns valors de l'índex de fred molt baixos i per tant en unes condicions propícies per a l'aparició de congelacions i hipotèrmia.

Els casos que s'han seleccionat en aquest treball formen un subgrup del conjunt d'accidents en muntanya associats a les condicions meteorològiques i en concret dels de tipus hivernal, generat a partir de l'aplicació de diferents criteris (tipus d'accident, tipus de situació sinòptica i àrea geogràfica).

La configuració sinòptica recurrent en aquests episodis consisteix en la presència d'un anticicló al nord de les Açores més o menys allargat latitudinalment i una depressió, tant en superfície com a 500 hPa, sobre diferents àrees compreses entre les Illes Britàniques i el Mediterrani Occidental i entre França i Europa de l'Est.

A mesoescala, el sistema de vents tramuntana-mestral, amb les seves principals característiques ben descrites i explicades a la bibliografia, és el patró dominant en els casos amb flux de component nord, però la seva intensitat i estructura vertical és variable segons la posició precisa dels centres d'acció, anticicló atlàntic i baixa mediterrània, i de la intensitat de la subsidència associada a la dorsal atlàntica penetrant pel sud de França, tal i com es manifesta en aquest estudi.

D'altra banda, és sabut que l'estabilitat de la massa d'aire postfrontal i la interacció del flux del nord de la

serralada pirinenca desenvolupen una fenomenologia característica, ondulatoria (Bougeault et al., 1993), la més clara manifestació de la qual en els casos d'estudi presentats és l'aparició d'una zona subsident i seca a sobre i a sotavent de la serralada. En aquestes circumstàncies, les ràfegues de vent fort poden afectar també els vessants i els fons de les valls, generant altres riscos meteorològics diferents dels mostrats aquí. A (Pascual, 2009) es descriu un episodi d'aquestes característiques al Pirineu Oriental.

Com que l'estudi climatològic ha mostrat, en concordància amb la bibliografia, que aquest patró bàric és comú en l'època freda de l'any i, en conseqüència, també ho són els fluxos de component nord intensos, el risc meteorològic associat és bastant elevat. No és possible reduir la perillositat del fenomen però sí l'exposició i la vulnerabilitat personal al mateix mitjançant tasques de formació i informació i, evidentment, millorant la forma i llocs de difusió dels butlletins meteorològics. L'estudi realitzat també mostra, d'altra banda, que les condicions tèrmiques en els casos analitzats han estat més rigoroses que les que es troben normalment en aquelles dates.

El probable comportament com a corrent de densitat de la massa freda que creua de nord a sud el Pirineu, no discutit en aquest article, es manifesta en forma d'un augment bruscat de la velocitat del vent acompanyat d'un descens igualment ràpid de la temperatura, incrementant-se així la severitat del fenomen, la seva perillositat i el risc associat.

Agraïments. Els autors volen mostrar un especial agraïment als dos revisors anònims que han fet les seves aportacions a aquest article. Gràcies als seus comentaris, correccions i suggeriments creiem que l'article ha millorat substancialment, tant en continguts com en la forma.

Referències

- Arasti, E., 2001: Estudio de la galerna típica del Cantábrico, INM. Ministerio de Medio Ambiente, nota Técnica del CMT en Cantabria y Asturias.
- Ayala-Carcedo, F. J. i 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., Champagneaux, J., Crochet, M., Druilhet, A., Durand, P., Elkhalfi, 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., i 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., i 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.
- Campins, J., Aran, M., Genovés, A., i 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 Canada, 2009: *Blizzards*, <http://www.pnr-rpn.ec.gc.ca/air/wintersevere/blizzards.en.html> (Consulta 2009).
- Esteban, P., Jones, P. D., Martín-Vide, J., i 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., i 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., Gavaldà, J., i 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. i Elizalde, B., 1995: *Riesgo y actividades físicas en el medio natural: un enfoque multidimensional*, *Apunts. Educación Física y Deportes*, **41**, 94–107.
- García, C. i Salvador, F., 1994: Snowfall analysis in the Eastern Pyrenees, *Annalen der Meteorologie*, 23rd International Conference on Alpine Meteorology (Lindau), 30, 303-306.
- García, C. i Vilar, F., 2006: La montaña. Manual de Meteorología, Alpina, Granollers.
- García, C., Martí, M., García-Manuel, A., Muntán, E., Oller, P., i 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., Gavaldà, J., Martínez, P., i 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: *Estadístiques 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. i 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., i 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.
- Sacasas, J., 1999: *Meteorologia del Pirineu 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, I., 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., i 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.