

METEOROLOGÍA DE MONTAÑA

Ramón Pascual Berghaenel

**Meteorólogo del Grupo de Predicción y Vigilancia del CMT en Catalunya
Instituto Nacional de Meteorología**

Profesor de la Escola Catalana de Alta Muntanya

e-mail: ramonp.bar@inm.es

Introducción

Las montañas, grandes o pequeñas, y el terreno genéricamente llamado complejo, modifican en gran medida el clima y el tiempo meteorológico tanto a escala planetaria como a escala regional y local. Los efectos de la topografía sobre el movimiento del aire se registran sobre una gran variedad de escalas espacio-temporales generándose entonces una jerarquía de sistemas de circulación a partir de factores térmicos y dinámicos.

Los factores dinámicos actúan a escala planetaria, sinóptica y local. Las estructuras generadas van desde las grandes vaguadas casi estacionarias asociadas a las principales cordilleras y altiplanos (como las Montañas Rocosas americanas o la meseta del Tibet) hasta las ondas de sotavento y sus espectaculares altocúmulos lenticulares. También el efecto Föhn se puede incluir en los aparecidos como consecuencia de la interacción termodinámica del flujo con la orografía.

Los vientos inducidos térmicamente están asociados al ciclo diurno solar y al calentamiento diferencial del aire sobre las diferentes laderas de las montañas, el fondo de los valles y la atmósfera libre. Los vientos de ladera y las brisas de valle y montaña son las principales circulaciones desarrolladas y participan en gran medida de la formación de nubes y precipitaciones locales.

Las características climáticas de las montañas son bastante diferentes, a causa de la altitud y el relieve, de las de las áreas bajas y llanas que las rodean.

Figura 1

Altitud(m)	Pressió atmosfèrica (mb)
0	1013,2
500	954,6
1000	89% 898,7
1500	845,5
2000	78% 794,9
2500	746,8
3000	69% 701,0
3500	657,5
4000	61% 616,3
4500	577,2

La disminución de la presión atmosférica (Figura1), la temperatura y la humedad con la altitud conjuntamente con el aumento de la radiación solar recibida y de la velocidad media del viento determinan un paisaje, mineral y vegetal, y una fauna específica, adaptados a las condiciones de relativa dureza de las montañas. También el ser humano ha desarrollado estrategias adaptativas para vivir en estos entornos.

De todos los elementos que intervienen en esta caracterización el más significativo es la precipitación, tanto en fase sólida como líquida. La relativa abundancia de este elemento climático en las áreas montañosas es un hecho clave en el asentamiento humano y el posterior desarrollo social, no solamente en el seno de las montañas, sino también en las regiones a menudo mucho más secas de su entorno.

Se debe señalar sin embargo que demasiado a menudo estas precipitaciones, eventualmente acompañadas de tormenta, tienen intensidad torrencial y generan inundaciones repentinas y desastres geológicos asociados (desprendimientos de rocas, corrimientos de tierras, coladas de barro, etc) de triste recuerdo en muchos lugares del mundo y también en España (Biescas, 1997; Montserrat, 2000; etc)

El gran desarrollo turístico, tanto durante el invierno como durante el verano, de los principales macizos y cordilleras de nuestro país genera un elevado riesgo frente a los relativamente frecuentes fenómenos meteorológicos de carácter adverso que allí se registran.

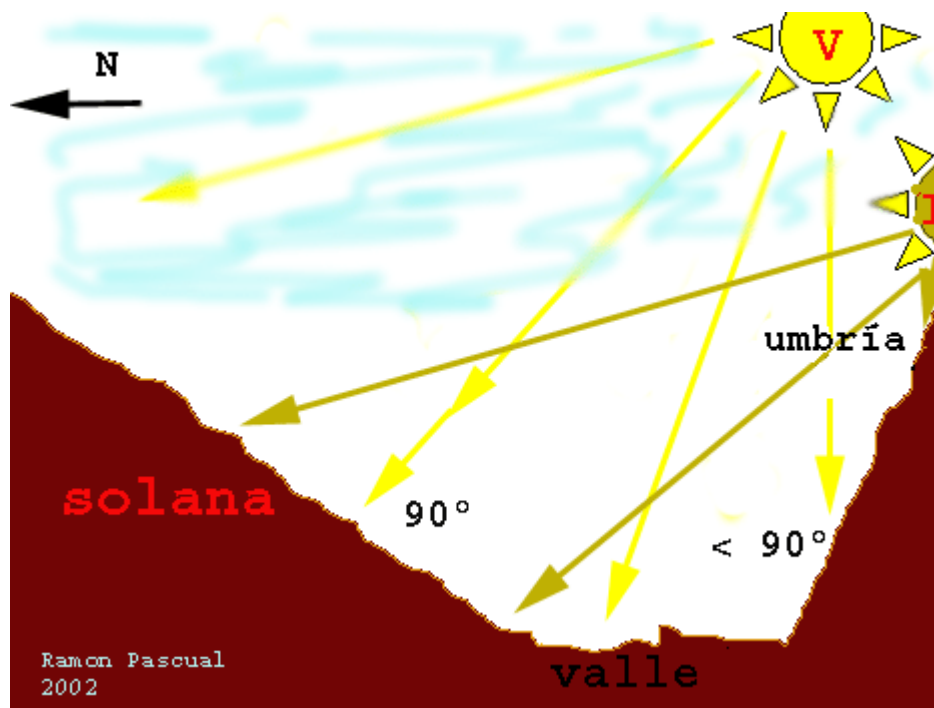
Durante este año hay dos propuestas internacionales que justifican la profundización en el conocimiento de la meteorología de montaña. En primer lugar la Organización Meteorológica Mundial propuso para el pasado Día Meteorológico Mundial, celebrado el 23 de marzo, el lema "Reducción de la vulnerabilidad al tiempo y clima extremos", situación de vulnerabilidad en la que frecuentemente se encuentran la población, temporal o permanente, presente en las áreas de montaña y también las viviendas, red viaria, equipamientos turísticos y deportivos, etc, existentes en estas comarcas y en continuo aumento. En segundo lugar, la celebración impulsada por la ONU, del Año Internacional de las Montañas, con el objetivo de conocer mejor el entorno natural y humano de estas regiones tan singulares y sensibles de nuestro planeta.

Características climáticas básicas

En España el clima de montaña es fundamentalmente una variante de los climas atlántico y mediterráneo que dominan el territorio. Las modificaciones más significativas respecto a estos climas son:

- 1.- El aire de las zonas altas está más seco y limpio que el de las zonas bajas que las rodean, siendo en consecuencia muy transparente y fácil de atravesar por la radiación solar. Además las superficies nevadas incrementan por reflexión la radiación de onda corta recibida por las personas que se encuentran encima de ellas provocando efectos perniciosos si no se toman las medidas protectoras adecuadas.
- 2.- La temperatura media anual es más baja en la montaña y sus variaciones estacionales son bastante grandes. La disminución de la temperatura con la altitud es de aproximadamente $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. La disminución de la temperatura con la altitud define el llamado límite de las nieves perpetuas, por encima del cual el manto de nieve se conserva todo el año. En nuestras latitudes se encuentra aproximadamente hacia los 3000 m.
- 3.- La precipitación es relativamente abundante en las zonas de relieve irregular pero no se distribuye de manera homogénea en todo un macizo o cordillera. Pueden existir vertientes donde llueva mucho y otras notablemente más secas. Estas zonas secas se dice que se encuentran en un área de sombra pluviométrica debido a que es el bloqueo de los flujos húmedos predominantes producido por la propia cordillera el que genera este mínimo relativo de precipitación anual. Con la temperatura y la humedad se observa un hecho similar. Mientras las vertientes orientadas al norte (umbrías) son frescas y húmedas, las orientadas al sur (solanas) son mucho más soleadas, cálidas y secas (Figura2).

Figura 2



- 4.- El viento en la atmósfera libre aumenta de velocidad con la altitud y en consecuencia las cotas altas están a menudo barridas por vientos fuertes y persistentes. Además la orografía modifica en gran medida la dirección y la fuerza del viento, no solamente de manera local sino incluso a escala regional. La tramuntana del nordeste de Cataluña o el cierzo del valle del Ebro son ejemplos de este hecho (Figura3). La combinación de temperaturas bajas y viento aumenta notoriamente la sensación de frío (efecto windchill) (Figura4).

Figura 3

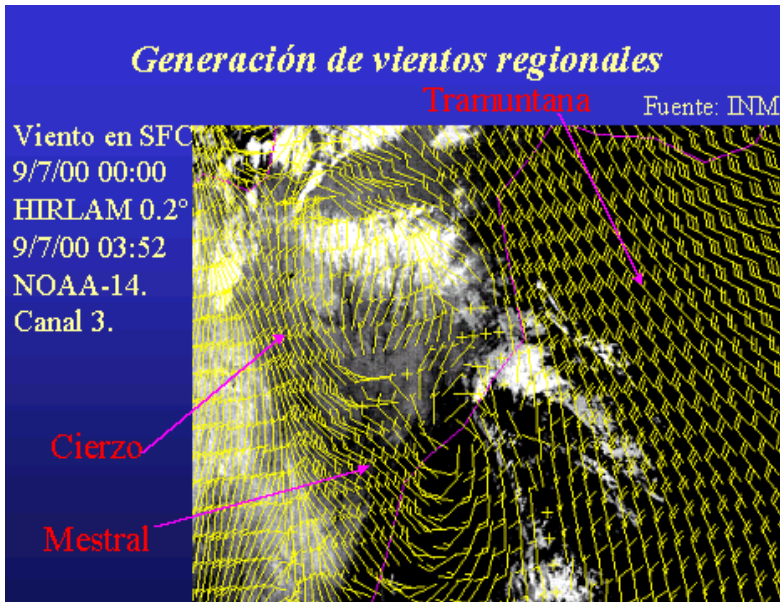


Figura 4

		TEMPERATURAS OBSERVADAS EN GRADOS CENTÍGRADOS		
		10	0	-10
VIENTO EN KM/H		TEMPERATURAS "SENTIDAS" EN GRADOS CENTÍGRADOS		
0		10	0	-10
20		3	-9	-22
40		-1	-16	-31
60		-3	-19	-34
80		-4	-20	-36

Fenómenos específicos de las zonas de montaña

En la montaña se generan o intensifican algunos fenómenos meteorológicos que no están presentes o son mucho más débiles en el llano. Los más significativos para el montañismo son los siguientes:

Brisas de valle y de montaña:

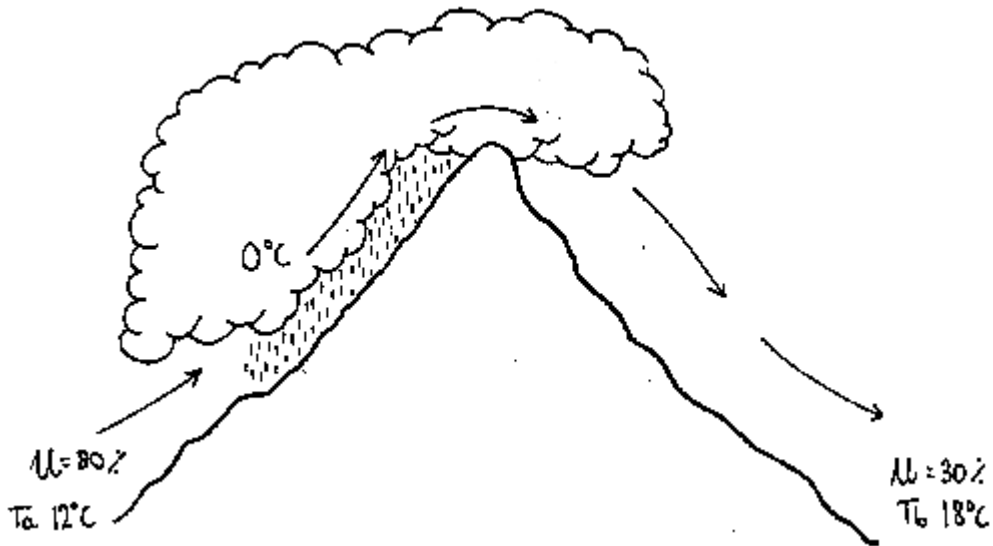
Es el sistema de vientos de ciclo diario que se desarrolla en cada valle. Esta circulación se origina por el calentamiento o enfriamiento diferencial que se produce durante los días y las noches, especialmente de la primavera y el verano, del aire que está en contacto con la superficie de la montaña y del aire "libre" que está sobre el eje del valle. La circulación diurna (brisa de valle) consiste en el ascenso de aire caliente por las laderas de las montañas y una corriente desde el llano hasta la cabecera del valle. La circulación nocturna es justamente a la inversa.

Una consecuencia de la presencia de estos vientos es que, en situaciones meteorológicas sin viento sinóptico significativo y configuraciones isobáricas de pantano barométrico o baja térmica en superficie, las corrientes ascendentes se desarrollan plenamente en las horas centrales del día y convergen en las cimas y cordales facilitando así la aparición de nubosidad cumuliforme que a menudo genera chubascos y tormentas. Otro fenómeno asociado a la brisa de valle (ascendente) es el levantamiento y posterior disipación de las nieblas que durante la noche se han formado en el fondo del valle.

Efecte Föhn:

El aire húmedo que desde un determinado nivel sube por una vertiente de una cordillera (llamada entonces de barlovento) se enfría por expansión adiabática condensándose entonces la humedad que transporta y generando nubes y precipitaciones. Cuando el aire baja por la vertiente opuesta de la montaña o cordillera (sotavento), turbulento y mucho más seco (con humedades relativas a veces inferiores al 20%), ya que ha perdido el contenido de humedad en el proceso de condensación y precipitación anterior, se calienta a un ritmo superior al del enfriamiento previo y llega de esta manera al mismo nivel inicial a una temperatura mucho más alta. Este ascenso brusco de la temperatura puede establecer unas condiciones propicias para los deshielos rápidos e inestabilizar el manto nivoso incrementando de esta manera el riesgo natural de aludes. Un viento fuerte y una temperatura anormalmente alta por la mañana son síntomas inequívocos de efecto Föhn (Figura 5).

Figura 5

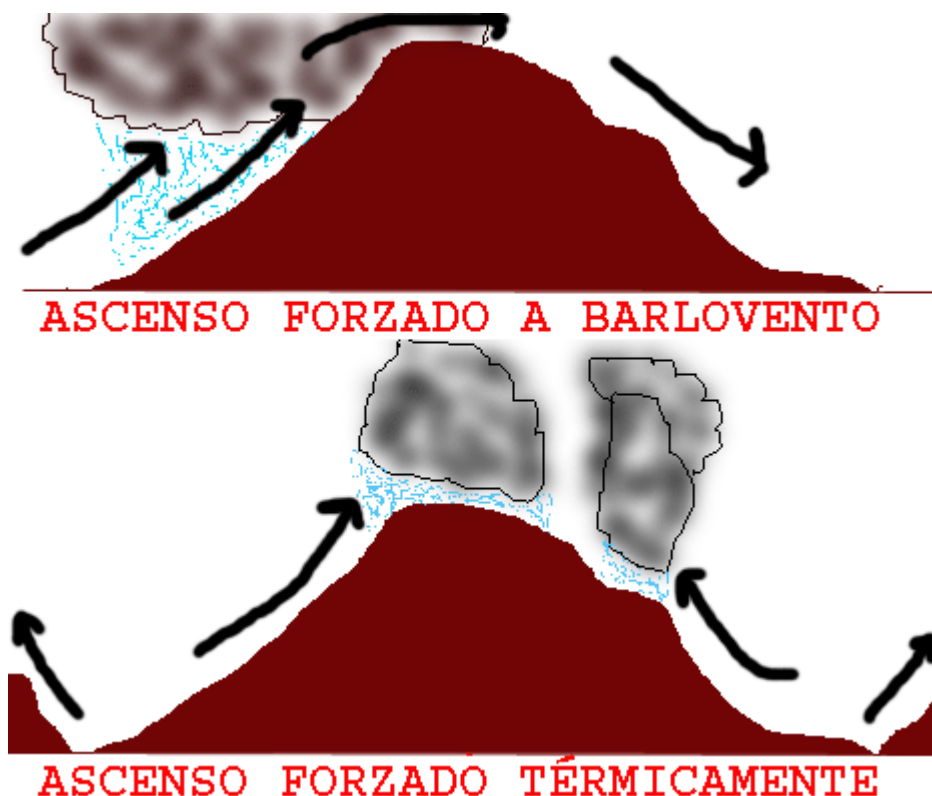


Por ejemplo, en el Pirineo se produce este efecto en la vertiente norte cuando vientos del sudoeste descargan precipitaciones en la vertiente sur, o de manera similar en la cordillera Cantábrica quedando afectada en este caso la zona litoral. El viento Föhn recibe nombres específicos en las diferentes cordilleras del planeta e incluso localmente en los diferentes valles de una misma cordillera. Por ejemplo, en las Montañas Rocosas de Norteamérica recibe el nombre indio de Chinook ("come nieves").

Precipitaciones orográficas:

Se llaman así las que se forman o intensifican directa o indirectamente debido a la presencia de las montañas. Esta variación respecto al llano circundante es debida, bien al ascenso forzado del aire provocado por el obstáculo montañoso (efecto mecánico) o bien a las ramas ascendentes de las circulaciones de origen térmico generadas en la propia zona montañosa (brisas) (Figura6).

Figura 6



1.- Las precipitaciones generadas por ascenso forzado del aire serán abundantes en aquellas vertientes orientadas de manera casi perpendicular a los flujos húmedos presentes en una determinada situación meteorológica, a escala sinóptica o a mesoscala. Por ejemplo, en la vertiente francesa pirenaica y en algunas comarcas como el Valle de Arán los vientos del norte o noroeste generan nubosidad estratiforme y precipitaciones entre débiles y moderadas y a menudo muy persistentes. Estas precipitaciones pueden ser en forma de lluvia o nieve dependiendo de la época del año y las temperaturas en estos casos son frescas en verano y frías en invierno. Con valores elevados de inestabilidad potencial el ascenso forzado mecánicamente puede derivar en un ascenso libre y desarrollarse entonces nubosidad convectiva y precipitaciones mucho más intensas y copiosas. Este fenómeno es ampliamente conocido en muchas de las sierras cercanas al litoral mediterráneo.

2.- Las precipitaciones forzadas térmicamente son de tipo chubasco y a menudo van acompañadas de tormenta y tienen tendencia a iniciarse en lugares especialmente favorables, llamados por ello nidos de tormentas. Las tormentas nacen y se desarrollan al mediodía y primeras horas de la tarde sobre las cimas más elevadas pudiéndose propagar hacia zonas más bajas hacia las últimas horas de la tarde e incluso la noche o bien desaparecer.

El viento en las zonas de montaña:

La circulación del aire está muy perturbada en las zonas de relieve irregular. Cuando la velocidad del viento es superior a 40 km/h el flujo en las zonas de montaña se vuelve turbulento. Algunos de los efectos relacionados con el viento son:

- Ondas de sotavento: Son ondulaciones verticales, a menudo con altocúmulos lenticulares asociados, aparecidas en una corriente aérea que sopla sobre una cordillera de manera aproximadamente perpendicular a ella. Estas ondulaciones se pueden extender hasta cientos de kilómetros del elemento orográfico que las ha generado. A menudo aparecen por debajo de las ondas anteriores unas circulaciones verticales cerradas a sotavento de la montaña (rotores) también con sus propias formaciones nubosas y otras nubes como las bandera o gorra (Figura7) (Figura8) (Figura9) (Figura10).

Figura 7

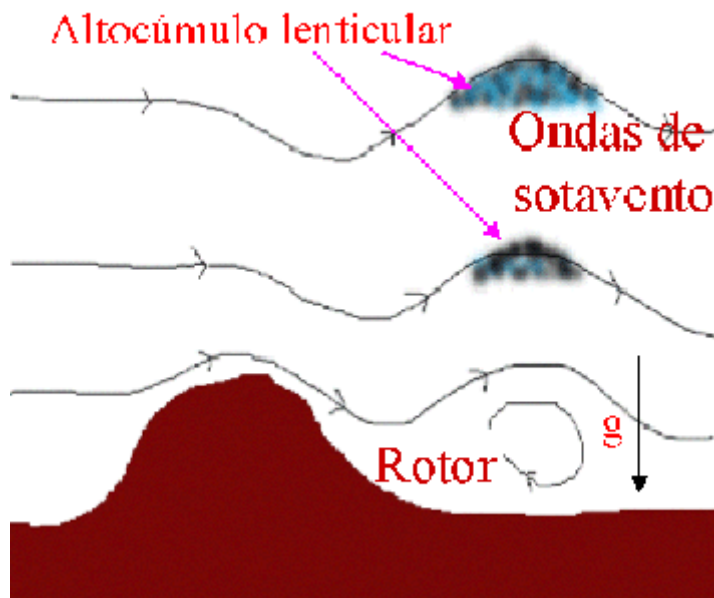


Figura 8

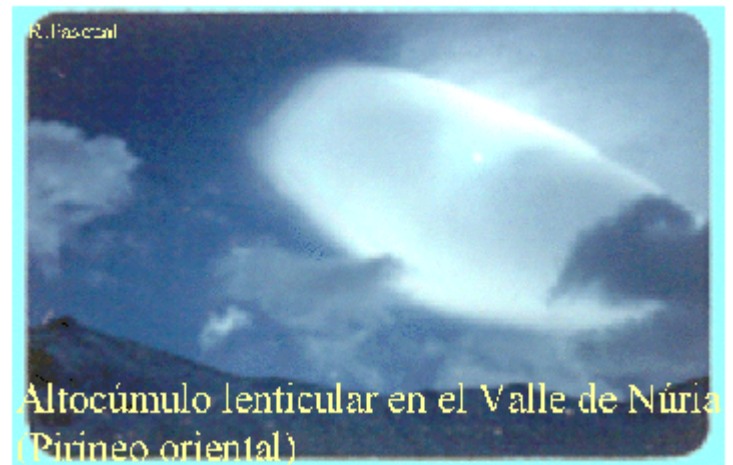


Figura 9



Figura 10



- Aceleraciones locales: En las montañas la orografía modifica la dirección y la velocidad del viento, incrementándose ésta especialmente en los collados y brechas. Una consecuencia de la gran variabilidad espacial y temporal del viento en las áreas de relieve complejo es la distribución heterogénea del espesor de nieve acumulado durante una nevada y su redistribución cuando ésta ha terminado (formación de sobreacumulaciones, placas de viento y cornisas).

Especialmente sensibles a las modificaciones a escala local del campo de viento por su interacción con la orografía son los practicantes de deportes aéreos (ala delta, parapente) que deben conocer cuales son las características generales de esta interacción y también la climatología local de corrientes verticales y horizontales. También los alpinistas y esquiadores de travesía deben tener en cuenta la heterogeneidad del manto de nieve como consecuencia de la acción del viento.

Situaciones de riesgo asociadas a causas meteorológicas

Las grandes cadenas montañosas de la Península Ibérica: Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico, Sistema Central y Sistema Penibético, son los lugares donde con mayor frecuencia se pueden registrar fenómenos meteorológicos adversos (y los hidrológicos o geológicos asociados), pero de hecho éstos pueden afectar a cualquiera de la multitud de pequeños macizos o sierras presentes en el territorio peninsular e insular.

Tormentas

Las nubes de gran desarrollo vertical pueden tener un grado de electrificación suficiente como para producir tormentas. En el seno de una tormenta se producen descargas eléctricas en el interior de la nube, entre nubes o entre una nube y el suelo, y también chubascos fuertes o muy fuertes, en forma líquida, nieve o granizo, vientos también a menudo muy fuertes y bajadas bruscas de la temperatura.

Las tormentas que afectan a las áreas montañosas pueden ser de varios tipos y sus efectos en superficie muy diferentes, cualitativa y cuantitativamente. Las tormentas más frecuentes son las llamadas ordinaria y las tormentas frontales.

" Ciclo de vida de una tormenta ordinaria. Las fases de evolución de una tormenta de este tipo son:

- Formación: Inicialmente las corrientes ascendentes disparadas por el calentamiento solar forman cúmulos de pequeñas dimensiones verticales y horizontales, humilis, que si el crecimiento continúa llegarán a ser congestus. En este segundo estadio la nube ya tiene unas dimensiones verticales considerables, aspecto de coliflor o torres de algodón y su base oscura.
- Madurez: El hecho inconfundible que muestra que el cúmulo congestus se ha convertido en un cumulonimbo es la aparición en su cima de un penacho de cirros, formados por cristales de hielo, situado a 12 km de altitud o más y a una temperatura del orden de $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este penacho tiene a menudo forma de yunque y es transportado muy lejos de la tormenta por el viento de niveles altos. En este momento de la evolución ya se están produciendo chubascos y descargas eléctricas.
- Disipación: Las corrientes descendentes de aire que acompañan los chubascos comienzan a destruir las ascendentes, la tormenta pierde intensidad y finalmente se disipa.

El proceso completo dura menos de una hora y afecta a un área bastante reducida. Las tormentas de este tipo tienen tendencia a producirse a primeras horas de la tarde.

" Tormentas frontales. Son las que acompañan los frentes fríos. Tienen una duración, con interrupciones, que depende del tiempo de paso del frente (máximo un día). Estas tormentas se pueden producir en cualquier momento del día pero preferentemente por la tarde o la noche. La época más propicia para que se produzcan es el final de la primavera o el verano. Debido a que van asociadas a un cambio de masa de aire, el descenso de temperatura puede ser acusado y se pueden producir nevadas en cotas medias-altas incluso en pleno verano.

En determinadas situaciones meteorológicas y en lugares orográficamente favorables respecto a los flujos húmedos e inestables presentes se pueden reproducir de manera casi continua los chubascos intensos durante varias horas (sistemas convectivos casi estacionarios) acumulándose valores de precipitación muy altos que el terreno es incapaz de absorber, generándose entonces escorrentías muy elevadas y crecidas de los ríos con inundaciones asociadas (Flash flood o inundaciones repentinas).

Nevadas intensas

La nevada se produce cuando la temperatura en superficie o como máximo unos 400 m por encima de ésta es de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferior.

Dependiendo de la cordillera se presentan con más frecuencia e intensidad en pleno invierno o bien en primavera, como es el caso de los Pirineos. Las nevadas intensas tienen una serie de riesgos asociados como la pérdida de visibilidad o la desaparición de las trazas en la nieve pero el más importante es el desencadenamiento de aludes por deslizamiento de nieve nueva sobre el manto antiguo o el desprendimiento de éste debido a la sobrecarga añadida por la nevada.

Vientos fuertes

Los vientos fuertes se pueden clasificar básicamente en los asociados a tormentas y otros tipos. Entre los primeros es necesario señalar, por su elevada frecuencia, los vientos racheados, de muy corta duración, que se registran poco antes de la llegada de una tormenta.

Entre los otros tipos se puede destacar las entradas bruscas de vientos fríos muy fuertes generados a partir de la rotura del bloqueo temporal de aire frío a barlovento de una cordillera importante (fenómeno explicado a partir del modelo conceptual de corriente de densidad) o los vientos fuertes descendentes que afectan al fondo de los valles y a las laderas inferiores (downslope windstorms), explicados a partir de diferentes modelos conceptuales como el hidráulico o la rotura de ondas gravitatorias.

Cuando vientos fuertes afectan a un área montañosa en la que el manto nivoso no está aún cohesionado, bien porque es reciente o bien porque las temperaturas han sido excesivamente bajas desde que se produjo la precipitación, la capa superficial de este manto es removida y desplazada de diferentes maneras según la velocidad media y el grado de rafagosidad del viento. El levantamiento turbulento de la nieve hasta alturas superiores a los 100 m y su posterior transporte a muchos kilómetros de distancia produce una enorme reducción en la visibilidad (a pesar de que el cielo puede estar despejado) y una redistribución muy rápida de cantidades enormes de nieve. En el Pirineo Oriental este fenómeno, llamado torb, adquiere una gran magnitud y ha sido causa repetidas veces de accidentes mortales en cotas altas (Figura11) (Figura12).

Figura 11

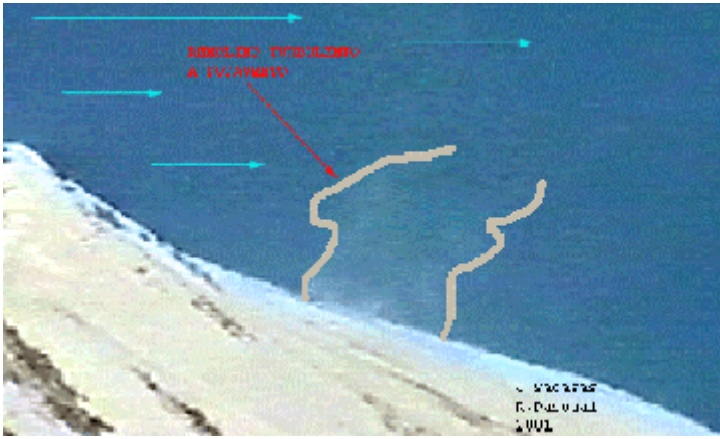
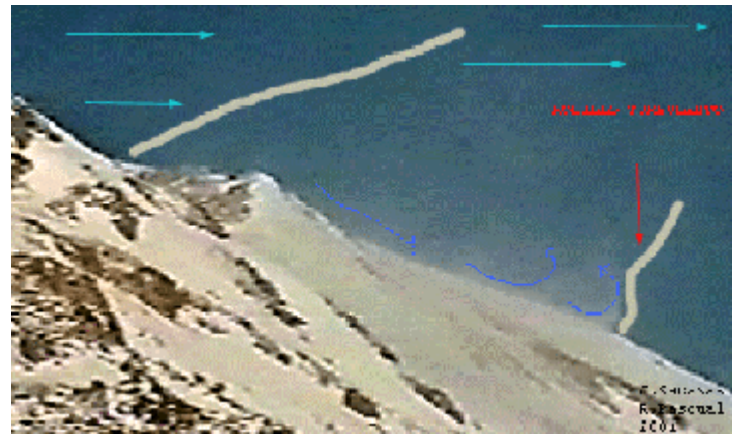


Figura 12



Bajas temperaturas

Éstas se registran en diferentes situaciones meteorológicas, con o sin precipitaciones o viento. Los valores mínimos se registran en las cotas altas de la Península Ibérica en situaciones de advección continental europea, también llamada siberiana, pues es ésta la zona de origen de la masa de aire que entra por el nordeste peninsular. En el fondo de los valles intramontanos los valores mínimos nocturnos suelen producirse cuando el viento a encalmado, unos días más tarde. Si el equipo del montañero es el adecuado las temperaturas bajas en noches serenas y con viento en calma no ha representar un verdadero riesgo pero cuando éstas van acompañadas de viento fuerte la situación cambia radicalmente.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía básica

- Grimalt, M; Martín Vide, J; Mauri, F.** (1996). *Guía de la atmósfera*. Tarragona: Médol.
Martín Vide, J. (1990). *Mapas del tiempo: Fundamentos, interpretación e imágenes de satélite*. Vilassar de mar (Barcelona): Oikos-tau.
Thillet, J.J. (1998). *La meteorología de montaña*. Barcelona: Martínez Roca.

Bibliografía complementaria

- Barry, R.G. ; Chorley, R.J.** (1980). *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona : Omega.
McClung, D; Schaerer, P. (1996). *Avalanchas*. Madrid: Desnivel/Sua Edizioak.
Watts, A. (1980). *Predicción instantánea del tiempo*. Barcelona: Juventud.
Sacapas, J. (1999). *Meteorología del Pirineu català*. Llibre de Motxilla. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Montserrat. (En catalán).
Whiteman, C.D.(2000). *Mountain Meteorology*. Fundamentals and applications. New York: Oxford University Press. (En inglés).

ram@meteored.com