

## CARACTERIZACIÓN DE EPISODIOS DE NEVADAS INTENSAS EN EL PIRINEO ORIENTAL CATALÁN

Francesc VILAR BONET y Ferran SALVADOR FRANCH

*Servei Científicotècnic de Gestió i Evolució del Paisatge. Universitat de Barcelona.*

### RESUMEN

Las precipitaciones medias anuales de nieve en el sector oriental del Pirineo catalán son relativamente bajas en frecuencia y cuantía (La Molina: 38 días de precipitación de nieve de espesor apreciable y 259 cm, respectivamente) en relación, por una parte, con su media pluviométrica anual (La Molina: 1.182,7 l/m<sup>2</sup>) y, por otra, con las precipitaciones nivosas de otros sectores del Pirineo catalán.

A pesar de estas características nivoclimáticas los episodios de nevadas intensas, fruto de determinadas condiciones sinópticas, pueden ser muy destacables como así lo demuestran las cantidades máximas esperadas para diversos periodos de retorno, particularidad que condiciona el elevado coeficiente de irregularidad nivopluiométrico. Su distribución mensual presenta un máximo en el mes de diciembre para episodios de precipitación de 24 y 48 horas y un máximo en enero para episodios de 3 y 4 días de precipitación.

La dinámica atmosférica parece mostrar un comportamiento distinto, en las trayectorias de las depresiones que generan episodios de nevadas intensas, entre la década de los años 80 (depresiones de origen más oceánico) y la de los 90 (de origen más continental).

**Palabras clave:** Pirineo oriental catalán, Características nivoclimáticas, Episodios nivosos, Recurrencia, Intensidad, Dinámica atmosférica.

### ABSTRACT

*The average annual snowfall in the eastern sector of the Catalan Pyrenees is relative low in frequency and amount (La Molina: 38 days of snowfall, 259 cm thickness) relative to the mean annual rainfall (La Molina: 1,182.7 l/m<sup>2</sup>) and to other snowfall averages of the eastern Pyrenees.*

*Despite these climatic characteristics the periods of intensive snowfall, resulting from certain synoptic conditions, can be very import as the expected maximum values of different return periods show. This brings about the high coefficient of snowfall irregularity. Its monthly distribution point to a maximum during December for precipitation episodes of 24 and 48 h and a second maximum during January for 3 and 4 days precipitation episodes.*

*The atmospheric dynamics show probably a different behaviour, regarding the path of the depressions which generate intensive snowfalls events during the 80's (depressions predominantly of oceanic origin) and 90's (depressions predominantly of continental origin).*

**Key words:** Eastern Catalan Pyrenees, average annual snowfall, snowfall episodes, return periods, snowfall intensity, atmospheric dynamic.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende analizar la intensidad y la frecuencia de los episodios de nevadas intensas así como su origen, dado el interés que las consecuencias de dichos episodios adquiere en diversos ámbitos (deportes, economía de montaña, vialidad, riesgos naturales, ...). Para ello se analizan los datos correspondientes a una serie total de 38 años hidrológicos, correspondientes a los periodos 1956/57-1980/81 y 1983/84-1995/96, procedentes del observatorio de montaña de La Molina, situado a una altitud de 1.702 m, perteneciente a la red de observatorios de primer orden del I.N.M. La interrupción de la serie se debe a la falta de observaciones y no ha sido posible su extrapolación por la ausencia de observatorios próximos de similares características nivológicas.

Dicho observatorio se localiza en un rellano situado a media vertiente de la ladera norte de la alineación montañosa Puigmal-Tosa d'Alp-Cadí, que delimita por el sur la depresión intrapirenaica de origen tectónico de la Cerdanya, en el Pirineo oriental catalán (fig. 1).

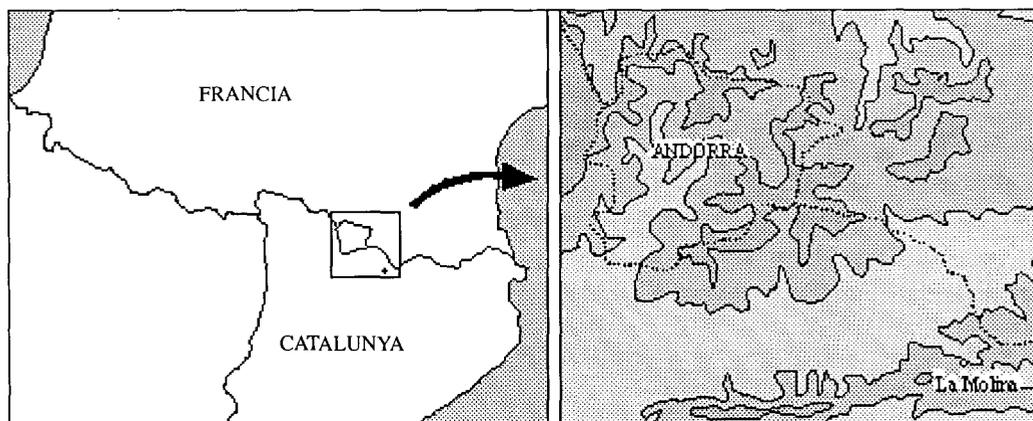


Fig. 1: Mapa de localización del observatorio de análisis.

Los datos utilizados corresponden a los valores diarios de precipitación apreciable de nieve recién caída medidos en cm (espesor de nieve igual o superior a 1 cm).

## 2. CARACTERÍSTICAS NIVOCLIMÁTICAS

El sector oriental del Pirineo catalán se emmarca dentro del ámbito mediterráneo y, por ello, comparte diversas particularidades de este clima. Sin embargo, dicho sector se caracteriza por un régimen pluviométrico singular: la estación estival presenta un volumen de precipitaciones muy destacable (309,9 l/m<sup>2</sup>, que representa el 26,2% del total) y el invierno presenta un marcado mínimo pluviométrico estacional (197,8 l/m<sup>2</sup>, cantidad que representa tan sólo el 16,7% del total anual). La combinación de los factores orográfico y los de origen dinámico explican, en gran parte, esta particularidad.

La precipitación media total anual en la Molina se cifra en 1.182,7 l/m<sup>2</sup> mientras que la correspondiente anual a nieve es de 259 cm, valor relativamente bajo en relación a la precipitación total

si se tiene en cuenta su elevada altitud. Las precipitaciones en forma líquida durante la estación invernal provocadas por determinadas situaciones sinópticas que, en ocasiones, generan episodios pluviométricos destacables y la coincidencia de ésta con la estación de menor cuantía de precipitación a causa principalmente de su ubicación al abrigo de los flujos predominantes del oeste explican este hecho.

A pesar de esto, episodios puntuales de nevadas intensas pueden producir importantes acumulaciones de nieve reciente y es por su variable frecuencia, en gran parte, que la irregularidad anual de las precipitaciones nivosas es una de las características más relevantes del clima de esta región pues el coeficiente de variación anual alcanza, para la estación de estudio, el 35,3%, con valores extremos anuales que han oscilado desde los 56 cm, en años excepcionalmente secos, hasta un máximo de 557 cm.

La estación invernal es la que presenta la media más alta de precipitación de nieve: 138 cm, seguida de la primavera: 94 cm y el otoño: 27 cm, mientras que en verano las nevadas tienen carácter excepcional. Mensualmente los meses de diciembre a abril son los principales en cuanto a precipitación nivosa (fig. 2), destacando su relativa homogeneidad, con valores que oscilan aproximadamente entre los 40 y 50 cm de media. Noviembre y mayo aportan de media entre 15 y 20 cm mientras que octubre no alcanza los 10 cm.

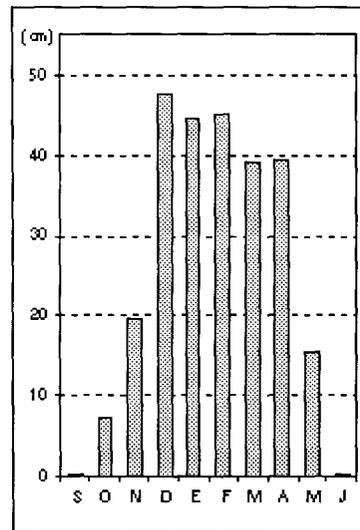


Fig. 2: Precipitación nivosa media mensual.

La frecuencia media anual de días de nieve o aguanieve se cifra en 58, de los cuales 27 días corresponden a invierno, 23 a primavera y 8 a otoño. Dichos valores se reducen a 18, 14 y 6 días respectivamente (38 días anuales) cuando se hace referencia a días con precipitación igual o superior a 1 cm (valor mínimo significativo de observación para indicar precipitación nivosa de espesor apreciable). Mensualmente las medias oscilan entre 8 y 10 días de diciembre a abril, 5 en noviem-

bre e inferiores a 4 el resto del año (fig. 3). Para los días con precipitación igual o superior a 1 cm la frecuencia disminuye hasta medias en torno a 6 días de diciembre a abril, 4 en noviembre y inferiores a 2 los meses restantes.

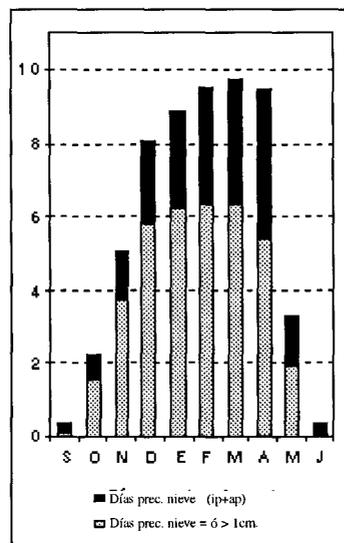


Fig. 3: Frecuencia media mensual de días de precipitación de nieve.

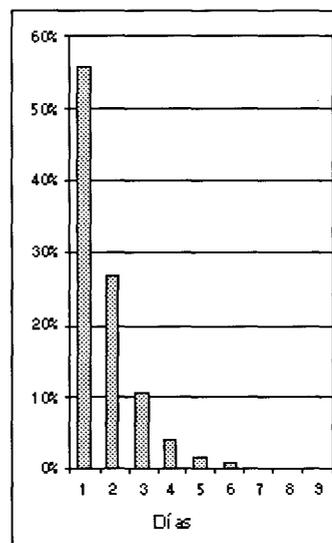


Fig. 4: Distribución de la frecuencia de episodios nivosos según su duración.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS EPISODIOS NIVOSOS

El número medio de episodios nivosos que se producen anualmente en este sector se cifra en torno a 22. Su frecuencia y duración presentan una relación claramente inversa (fig. 4), disminuyendo acentuadamente su número cuando se incrementa su variable temporal. De esta forma, los episodios nivosos de 1 día son los más frecuentes: 12 casos anuales de media, que suponen más del 50% del total de los episodios, seguidos de los de 2 días, con una media anual de 6 casos (27% del total). Los de 3 días presentan una media ligeramente superior a 2 casos por año y les corresponden el 10% del total aproximadamente, mientras que los de 4 días se presentan con una frecuencia media de una vez por año y representan el 4% del total.

Los episodios superiores a 4 días pueden caracterizarse de muy poco frecuentes (un caso cada 3 ó 4 años los de 5 y 6 días) y los superiores a 6 días, de excepcionales, pues se ha observado, durante el periodo analizado, tan sólo un caso de cada, desde el de 7 días hasta el de máxima duración que corresponde a 9 días.

La frecuencia de los episodios nivosos disminuye también acusadamente a medida que la variable intensidad se incrementa. Más de la mitad de éstos presentan valores de precipitación que oscilan entre 1 y 10 cm (unos 15 casos por año). Los episodios que totalizan entre 11 y 20 cm tan sólo se

presentan con una media algo superior a 3 casos por año mientras que los correspondientes a los intervalos de 21 a 30 y de 31 a 40 cm de intensidad muestran una frecuencia anual de entre 1 y 2 casos, frecuencia con la que también se contabilizan las precipitaciones de nieve superiores a 40 cm por episodio.

La caracterización de los episodios según su intensidad y duración (fig. 5) muestra apreciables diferencias entre ellos: los de 1 día presentan una media de precipitación de nieve de 6 cm y una frecuencia del intervalo de 1 a 10 cm superior al 90%; los de 2 días también presentan el intervalo de 1 a 10 cm como el más relevante pero de valor más moderado (50% de los casos) a favor del de 11 a 20 cm, que adquiere mayor importancia relativa (alrededor del 25% de los episodios) y una media por episodio de 14 cm. En los episodios de 3 días la media de precipitación se incrementa hasta los 23 cm y no aparece un intervalo de intensidad dominante claro (los tres primeros: 1-10, 11-20 y 21-30 cm oscilan entre el 23 y 29% de frecuencia). Características similares pueden apreciarse en los episodios de 4 días: con una media de 36 cm las frecuencias, de intervalos de intensidad se reparten de forma relativamente homogénea entre las intervalos de clase que se determinan entre los 11 y los 60 cm. Los episodios de 5 y 6 días presentan una media de 33 y 50 cm respectivamente y el intervalo de 31 a 40 cm como el de mayor predominio (próximo al 50% y al 40% de los casos respectivamente).

#### 4. RECURRENCIA E INTENSIDAD DE LOS EPISODIOS NIVOSOS

A pesar de los valores relativamente bajos de las precipitaciones medias de nieve anuales del sec-

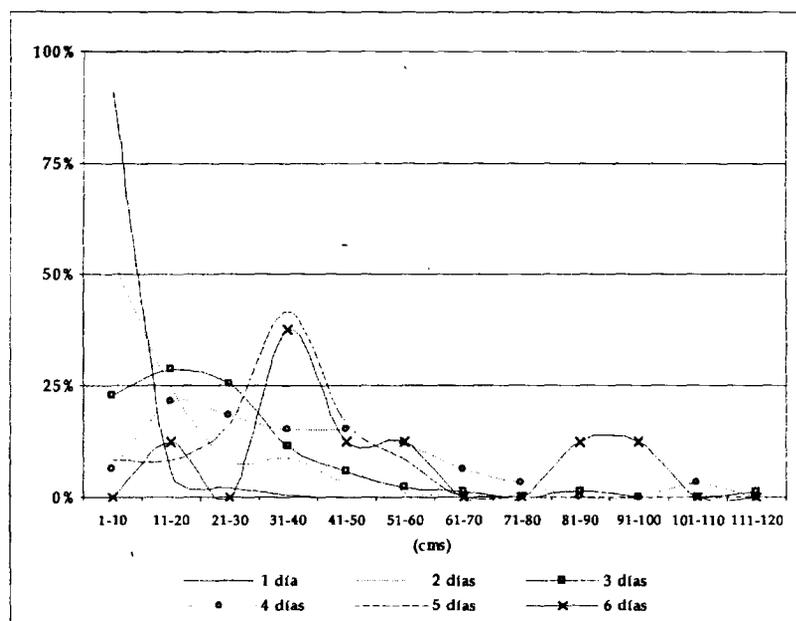


Fig. 5: Distribución de episodios nivosos según su duración e intensidad.

tor oriental del Pirineo catalán en relación con su sector occidental, su marcada irregularidad determina, bajo diversas configuraciones sinópticas, la existencia de episodios nivosos intensos.

La calificación de precipitación intensa diaria se ha establecido siguiendo el criterio ya adoptado por otros autores: precipitación igual o superior a 30 mm en 24 h (CLAVERO *et al.*, 1980; MARTÍN VIDE, 1987). Este criterio se ha adaptado a la precipitación nivosa teniendo en cuenta la equivalencia aproximada de: 1 mm de precipitación líquida = 1 cm de precipitación nivosa, aceptada internacionalmente (McCLUNG y SCHAEERER, 1996). Para establecer los valores de precipitación intensa nivosa en periodos de precipitación de 48, 72 y 96 horas se ha optado por un criterio relativo, dada la complejidad de un umbral válido para los diversos ámbitos de interés (riesgos naturales, viabilidad, economía, etc.). Se ha considerado precipitación intensa de nieve en 48, 72 y 96 horas aquella que supone aproximadamente un 15% (40 cm), 20% (50 cm) y 25% (60 cm) de la precipitación media anual respectivamente.

La distribución mensual de los episodios nivosos intensos muestra una dinámica diferente según la longitud del periodo de precipitación considerado. La media anual de días con una precipitación igual o superior a 30 cm en 24 horas es de entre 1 y 2 días; en este sentido, diciembre concentra, de forma clara, el mayor número de días de nevadas intensas (casi el 30% del total anual), seguido de febrero (17%) y enero (15%), mientras que en los meses primaverales la concentración oscila entre el 8 y 10%. Esta distribución varía considerablemente (fig. 6) cuando se hace referencia a nevadas intensas en 48 horas (precipitación igual o superior a 40 cm). La media con que se presentan es de prácticamente 1 caso anual y diciembre continua siendo el mes de mayor frecuencia (25% del total anual) pero seguido de enero (22%), abril (16%) y marzo (13%). En febrero el número de nevadas intensas disminuye acusadamente cuando el periodo es superior a 24 horas, concentrando tan sólo el 6% del total anual en periodos de 48 horas. Las nevadas iguales o supe-

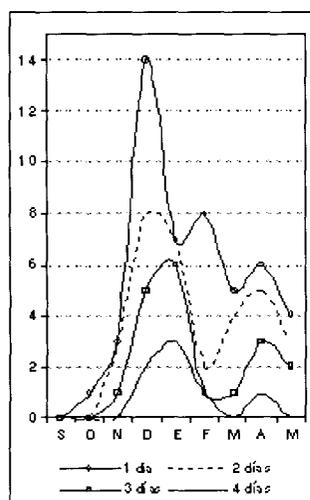


Fig. 6: Distribución mensual de episodios de nevadas intensas según su duración.

rios a 50 cm en tres días se presentan con una media de 1 episodio cada dos años y es enero el mes que registra más casos (32%), seguido de diciembre (26%), abril (16%) y mayo (11%). Los periodos de 4 días que igualan o superan los 60 cm de precipitación de nieve son escasos y su frecuencia es de 1 cada 5 años. Estos episodios intensos se producen principalmente durante enero y diciembre, meses que concentran conjuntamente más del 70% del total anual (43 y 29% respectivamente).

Las precipitaciones máximas medias anuales son de 36, 47, 51 y 53 cm para los respectivos periodos de 1, 2, 3 y 4 días, y las intensidades extremas anuales han alcanzado valores de 70 cm en 24 horas, 105 cm en 48 horas y 117 cm en 72 y 96 horas. Estacionalmente, los valores invernales coinciden con los máximos anuales, mientras que los de primavera son ligeramente inferiores pero también significativos: 57, 84, 87 y 107 cm respectivamente. En otoño las precipitaciones intensas de nieve son escasas, como así se refleja en sus valores máximos medios: entre 11 y 16 cm para los 4 intervalos temporales considerados, y sus valores extremos se caracterizan por ser moderados y relativamente homogéneos: de 40 a 57 cm.

Las intensidades de las nevadas para diversos periodos de recurrencia se han obtenido mediante la ley de máximos de Gumbel, cuya función de densidad de probabilidad muestra sesgo positivo en todos los casos analizados, con ajustes satisfactorios verificados por test.

Los valores de intensidad resultantes para los diversos periodos de retorno (figs. 7 a 10), incluso los más reducidos, muestran valores significativos (ver tabla adjunta) confirmando así la importancia de episodios nivosos destacables aún su escasa frecuencia. Así mismo, existe una relación directa entre el periodo de retorno y la diferencia entre las cantidades esperadas para los diversos intervalos de tiempo definidos (1, 2, 3 y 4 días), es decir, a medida que se incrementa el periodo de retorno se incrementa la diferencia o amplitud entre las cantidades esperadas de los diversos intervalos de tiempo considerados.

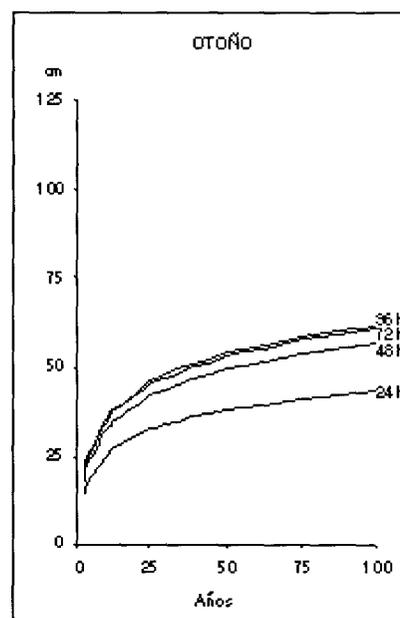
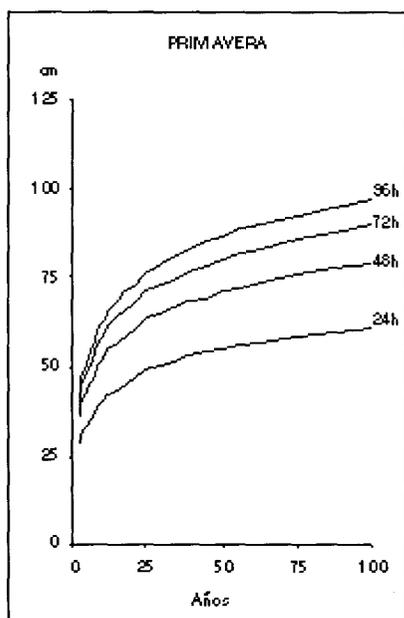
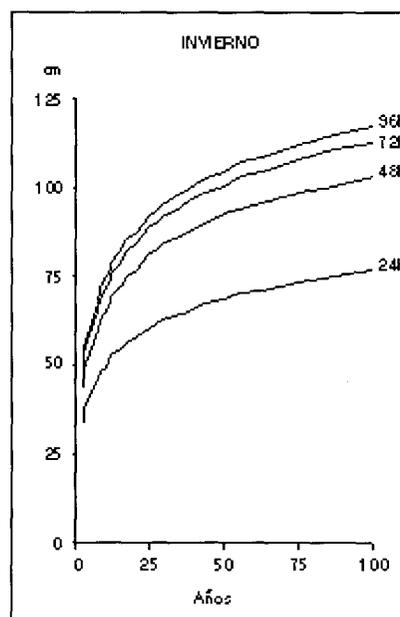
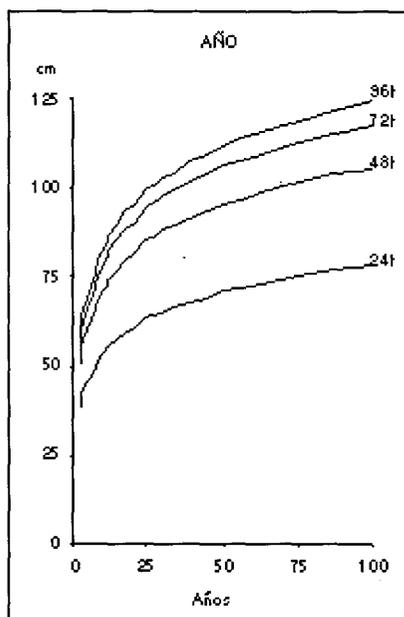
En invierno –coincidiendo con la mayor frecuencia y intensidad de los episodios nivosos– los valores son parecidos a los anuales. En este sentido, los periodos de retorno, según el intervalo temporal de precipitación considerado (24, 48, 72 y 96 horas), son de:

- 10, 4, 3 y 3 años respectivamente, para cantidades iguales o superiores a 50 cm;
- 85, 18, 12 y 10 años respectivamente, para cantidades iguales o superiores a 75 cm, y
- >500, 81, 47 y 38 años respectivamente, para cantidades iguales o superiores a 100 cm.

En primavera, y especialmente en otoño, las intensidades esperadas para los diversos periodos de retorno se reducen apreciablemente: una precipitación igual o superior a 30 cm en 24 h presenta un periodo de retorno de 4 años en primavera y 20 años en otoño, mientras que una igual o superior a 60 cm en 96 h muestra una recurrencia de 9 años en primavera y 90 en otoño.

## 5. ANÁLISIS Y DINÁMICA SINÓPTICA

Los episodios de nevadas intensas se producen bajo un relativo amplio abanico de situaciones sinópticas, sin embargo, características comunes definen a la mayoría de éstas: un 91% de los epi-



Figs. 7 a 10: Cantidades máximas esperadas de nieve (cm) en 24, 48, 72 y 96 horas para diversos periodos de retorno.

Tabla 1: INTENSIDADES MÁXIMAS DE NIEVE (CM) PARA DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO EN FUNCIÓN DEL INTERVALO TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN.

<i>Periodo retorno (años)</i>	24 h	48 h	72 h	96 h
3	39	51	56	59
5	46	60	66	69
10	54	71	79	83
25	64	85	94	100
50	71	96	106	112
100	78	106	118	124

sodios presenta una situación de vaguada o de depresión en la topografía de la superficie de 500 hPa y siempre un bajo índice de circulación de la corriente en chorro polar, localizándose, a menudo, sobre la vertical de la Península Ibérica.

La configuración sinóptica más frecuente en los episodios nivosos intensos corresponde a la depresión dinámica, responsable aproximadamente del 30% de los casos. Durante ésta el predominio de los vientos en superficie es de componente sur y este y la presión es muy variable mientras que en altura (500 hPa) la temperatura sobre la vertical del Pirineo oscila entre  $-24,0$  y  $-28,0^{\circ}\text{C}$ .

La presencia de una vaguada en todos los niveles troposféricos es la segunda situación, responsable de nevadas intensas, más frecuente (20% aproximadamente). En superficie, la dirección del viento es del suroeste y se observa, asociado a la vaguada, la presencia de un frente frío. En altura, la onda de vaguada (generada principalmente por el descenso latitudinal de las masas de aire polar o ártica marítima) suele ser muy marcada y la temperatura oscila en torno a los  $-20,0^{\circ}\text{C}$  a 500 hPa y entre  $0$  y  $4,0^{\circ}\text{C}$  a 850 hPa.

El resto de situaciones sinópticas observadas -de menor frecuencia pero similares consecuencias- potenciales de producir episodios de nevadas intensas son: vaguada en la topografía de la superficie de 500 hPa y borrasca en superficie con predominio de viento de componente sur/suroeste; vaguada en altura y pantano barométrico en superficie; vaguada en altura y flujo del este en superficie; depresión en altura y flujo del este en superficie; situación de *gota fría* con flujo del este en superficie; advección marcada del noroeste; y advección del sur/suroeste.

Un análisis de la dinámica atmosférica relacionada con los episodios nivosos intensos a través de las trayectorias, por una parte, de las depresiones en la topografía de la superficie de 500 hPa y, por otra, del eje de la vaguada definida por su intersección con la isohipsa 5.460 m (valor inferior al normal y que determina perfectamente la configuración de vaguada en todos los casos), parece mostrar un comportamiento distinto entre la década de los años 80 y la de los 90 (fig. 11). En este sentido, se observa una mayor frecuencia de depresiones de origen oceánico (Atlántico norte) durante los años 80, mientras que en la década de los 90 parece adquirir una papel relativo más

importante las de origen continental (norte y centro de Europa).

Los dos tipos de depresiones (según su región-origen) muestran, a grandes rasgos, claras diferencias entre ellos mientras que las borrascas del mismo grupo presentan características análogas. Las de origen oceánico sufren un acusado descenso latitudinal (entre 1.500 y 2.000 km, de dirección sureste generalmente) el día o días previos al episodio nivoso intenso y suelen emplazarse (región-destino), cuando éste acontece, en torno a Bretaña. La situación sinóptica queda definida por tres centros de acción dominantes: la depresión en cuestión, un anticiclón sobre las Azores y otro sobre Escandinavia (ambos de origen dinámico); en superficie, el viento dominante es de componente suroeste y la depresión suele mostrarse muy activa, pues conserva las características térmicas anteriores a su migración hacia el sur con temperaturas en su vórtice entre  $-32,0$  y  $-40,0^{\circ}\text{C}$  en la topografía de la superficie de 500 hPa. Asimismo, el eje de vaguada en su punto correspondiente a la isohipsa 5.460 m muestra un trayecto de dirección dominante oeste, situándose en las cercanías del paralelo  $35^{\circ}\text{N}$ . Su desplazamiento latitudinal hacia el sur es de entre 500 y 1.000 km aproximadamente, claramente inferior al de la depresión, hecho que provoca, horizontalmente, un incremento del gradiente térmico y de presión.

Las borrascas de origen más continental presentan un descenso latitudinal variable en longitud pero homogéneo en dirección (suroeste) y su región-destino, a diferencia de las de origen más

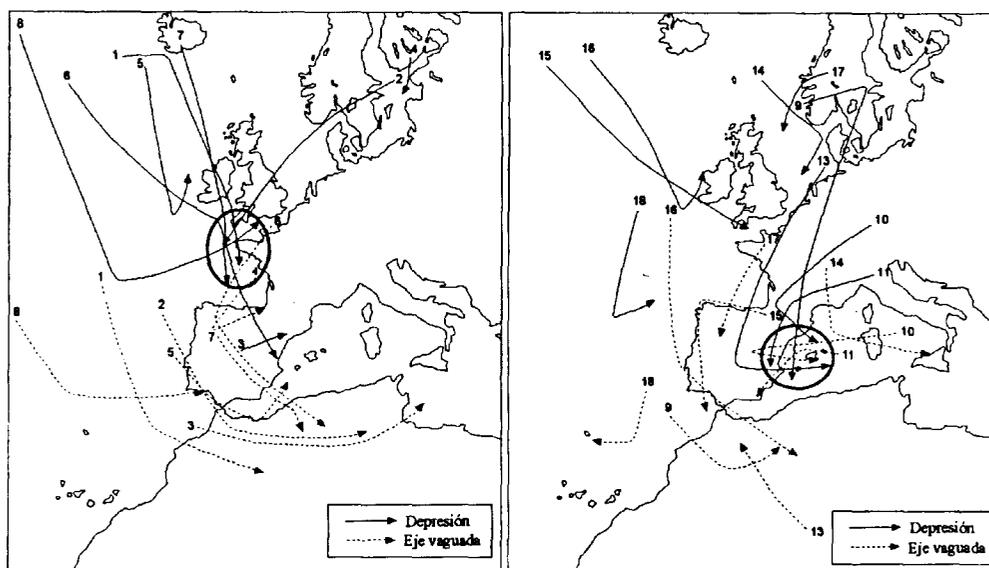


Fig. 11: Trayectoria de las depresiones en la topografía de la superficie de 500 hPa y del eje de vaguada definida por su intersección con la isohipsa 5.460 m (izquierda: años 80; derecha: años 90).

oceánico, se localiza en torno a Baleares. El viento predominante en superficie es, en este caso, de componente este y el panorama sinóptico se caracteriza por la presencia de un centro de altas pre-

siones al noroeste de la Península Ibérica que, aunque de emplazamiento variable, presenta una disposición isobárica de SW a NE, factor que condiciona el flujo de vientos de origen polar continental hacia la región ciclogénica donde se sitúa la depresión. En estos casos, el punto de la isohipsa 5.460 m que marca el eje de la vaguada presenta unas trayectorias muy variables, sin dirección común o predominante.

## 6. CONCLUSIONES

La serie analizada, a pesar de su relativa corta longitud, es una de las más dilatadas y significativas del Pirineo y de su estudio se desprende que, aunque las características climáticas del sector señalan unas precipitaciones medias de nieve relativamente bajas, fruto de la escasa frecuencia de episodios nivosos, algunos sucesos de precipitación nival (de uno o varios días de duración) pueden adquirir fuerte intensidad. Así lo demuestran las cantidades máximas esperadas para diversos periodos de retorno relativamente cortos: 59 cm para una recurrencia de 3 años, 69 cm para 5 años y 83 cm para 10 años, superándose los 100 cm para un periodo de retorno igual o superior a 25 años. Las precipitaciones más intensas se producen durante la estación invernal y, principalmente, durante diciembre y enero, meses en que se observa con más frecuencia un descenso latitudinal de las depresiones de latitudes altas hacia las dos regiones-destino situadas en torno a Bretaña y Baleares.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los datos utilizados para la elaboración de este trabajo fueron recopilados y han sido facilitados por la Estació de Muntanya de la Molina, de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, a quien agradecemos su colaboración.

## 8. REFERENCIAS

CLAVERO, P.L.; MARTÍN VIDE, J. y RASO, J.M. (1980): "Las precipitaciones de Octubre de 1979 en Barcelona". *Notes de Geografia Física*, 2, 11-27.

CLAVERO, P.L. y RASO, J.M. (1979): "Catálogo de tipos sinòpticos para un estudio climático del este de la Península Ibérica y Baleares". En: *Aportacions en homenatge al geògraf Salvador Llobet*. Dep. de Geografia. Universitat de Barcelona, pp. 63-86.

GARCIA SELLÉS, C. y SALVADOR FRANCH, F. (1994): "Snowfall analysis in the Eastern Pyrenees. En: 23<sup>rd</sup> International Conference on Alpine Meteorology (Lindau)". *Annalen der Meteorologie*, 30, 303-306.

MARTIN VIDE, J. (1987): "*Característiques climatològiques de la precipitació a la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*". Barcelona, I.C.C. 245 pp.

McCLUNG, D. y SCHAERER, P. (1996): "*Avalanchas*". Sua Edizioak, 307 pp.

SALVADOR FRANCH, F. (1985): "Aportación al estudio nivoclimático del Pirineo oriental". *Notes de Geografia Física*, 13-14, 67-84.

VILAR BONET, F. y SALVADOR FRANCH, F. (1996): "Variaciones y tendencia secular de la

precipitación de nieve en Andorra (Pirineo oriental)”. En: MARZOL, M.V.; DORTA, P. y VALLADARES, P. (Eds.): *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*. AGE, La Laguna, pp. 87-97.