

CARACTERIZACIÓN Y PERÍODO DE RETORNO DE ALUDES EXTREMOS EN LOS PARQUES NACIONALES DE ORDESA Y AIGÜESTORTES MEDIANTE LA DENDROCRONOLOGÍA

**EMILIA GUTIÉRREZ MERINO¹, PERE MARTÍNEZ FIGUERAS²,
PERE OLLER FIGUERAS², ELENA MUNTÁN BORDAS¹**

RESUMEN

La presión social en los Pirineos se ha incrementado notablemente en los últimos años. En zonas montañosas alpinas, los aludes de nieve representan un peligro potencial para personas y bienes. Para una mejor prevención es necesario conocer las zonas susceptibles y la dinámica de aludes. Esto requiere una inspección del territorio y el estudio de los eventos del pasado. Durante la temporada invernal 1995-96, se produjeron aludes de nieve en gran parte de la cordillera pirenaica. La excepcionalidad de esta temporada está ampliamente documentada. Sin embargo, a pesar de que se conocen eventos puntuales mayores, hasta la fecha no se ha constatado una temporada semejante en el pasado. El proyecto realizado se enmarca en una serie de trabajos encaminados al estudio de los aludes de nieve del pasado en los Pirineos utilizando diferentes aproximaciones. Los objetivos del proyecto han sido la mejora de la cartografía de las zonas de aludes de nieve en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) y en el PN d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNASM), y el estudio del régimen de aludes mediante el análisis dendrocronológico en una zona de aludes en cada parque.

En el PNASM, ya existía un mapa de zonas de aludes a escala 1:25000 (ICC, 2001) y en consecuencia, el trabajo durante el proyecto se ha centrado en la cartografía de los eventos de 1995-96. En el PNOMP, existía una cartografía de pequeña escala y por lo tanto, aquí, se ha confeccionado la cartografía de mayor detalle, a 1:25000. Durante el proyecto, además, se ha recogido información sobre aludes del pasado mediante consulta a la guardería del parque y a los habitantes del país. Esta información se ha incorporado al mapa y también se ha guardado de forma ordenada en las tablas asociadas. La devastación de bosque por los aludes de 1995-96 –observable aún después de más de 10 años– fue muy extensa en ambos parques y se ha cartografiado, alcanzando las 55 ha en el PNASM y las 17 ha en el PNOMP.

El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles en zonas de aludes permite la datación precisa de eventos del pasado con resolución anual. La finalidad es aproximar la frecuencia de aludes y estimar las dimensiones que tuvieron. A lo largo del desarrollo del proyecto, se han recogido muestras de diferentes leñosas en varias zonas de aludes. En el PNASM, se ha desarrollado un estudio dendrocronológico en una zona de aludes que desciende del Pui de Linya (Espot). En este canal, un gran alud destruyó una franja de bosque en 1995-96. Sin embargo, los análisis dendrocronológicos han revelado que en 1971-72 un alud de mayores dimensiones llegó hasta más abajo. Se ha podido así rectificar la cartografía y ampliar la zona de llegada potencial en 200 metros. En el PNOMP, se ha estudiado el Barranco de Carriata (Torla). Se seleccionó esta zona porque se encuentra junto al Barranco de la Canal, que fue escenario de un alud de di-

¹Dendroecología, Departamento de Ecología, Facultad de Barcelona, Universidad de Barcelona.

²Àrea d'Enginyeria Geològica i Risc, Institut Geològic de Catalunya.

menciones extraordinarias en 1995-96. Este tuvo una anchura en la zona de trayecto 200 metros superior a la habitual (de unos 50 m) y en la zona de llegada remontó la vertiente contraria. El de Carriata tiene unas características geomorfológicas semejantes y también atraviesa la carretera de acceso al Valle de Ordesa. Se han detectado evidencias de un acontecimiento en el pasado que podrían haber tenido una magnitud semejante al último gran alud de la Canal.

Palabras clave: anillos de crecimiento, dendrogeomorfología, riesgos naturales, aludes de nieve.

SUMMARY

The social pressure in the Pyrenees has increased notably in the last years. In mountainous alpine zones, snow avalanches represent a potential danger for persons and goods. For a better prevention, it is necessary to know the risk zones and the dynamics of avalanches. This needs an inspection of the territory and the study of the past events. During the 1995-96 winter season, avalanches occurred all along the Pyrenean range. Snow avalanche activity was really outstanding during this season which has widely been documented. Nevertheless, in spite of the fact that punctual major events are known, up to the date a similar season has not been stated in the past. The carried out project places in a series of works focused on the study of past snow avalanches in the Pyrenees using different approaches. The aims of the project have been the improvement of the cartography of the avalanche paths in the National Park of Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) and in the PN d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNASM), and the study of the avalanche regime by means of dendrochronological analysis in an avalanche path in every park.

In the PNASM, there existed already a map of avalanche paths at a scale 1:25000 (ICC, 2001) and, in consequence, the work during the project has centred on the cartography of the 1995-96 events. In the PNOMP, there existed a cartography of small scale and therefore, here, a cartography of major detail has been made scale 1:25000. During the project, in addition, information about past avalanches by means of enquiries to the parks officers and to the inhabitants of the country was gathered. All this information has been added to the map and to an associate database. The forest area devastated by the 1995-96 avalanches has been mapped. This area was about 55 ha in the PNASM, and the 17 ha in the PNOMP, which is still observable after more than 10 years in both parks.

Tree-rings study from trees growing in avalanche paths allows the precise dating of past events annually resolved. The purpose is to ascertain the frequency of avalanches and to estimate the dimensions. Throughout the project development, samples have been gathered from different woody species in several snow avalanche zones. In the PNASM, a dendrochronological study has been developed in an avalanche path that descends from the Pui de Linya (Espot). In this path, a huge avalanche destroyed a band of forest in 1995-96. However, our dendrochronological analyses have revealed that in 1971-72 an avalanche of major dimensions arrived even further below. This way, it has been possible to rectify the cartography and extend the potential runout zone in 200 meters. In the PNOMP, the Barranco de Carriata (Torla) has been studied. This path was selected because it is next to the Barranco de la Canal, which was affected by an avalanche of extraordinary dimensions in 1995-96. This one was 200 meters wider in the avalanche track than the regular snow path (of approximately 50 m), and in the runout zone the snow went up the opposite slope. That of Carriata has similar geomorphological characteristics and also it crosses the road of access to Ordesa's Valley. Evidences of a past event that might have had a magnitude similar to the last great avalanche of the Canal have been detected.

Key words: tree-rings, dendrogeomorphology, natural hazards, snow avalanches.

INTRODUCCIÓN

Los aludes de nieve constituyen procesos singulares que modelan el paisaje al actuar como agentes geomorfológicos y destruir periódicamente la vegetación. Representan, además, un peligro potencial para personas y bienes; peligro que se ha visto incrementado en las últimas décadas debido al cambio y al aumento de las actividades económicas en áreas de montaña (sobre todo debido a la industria del turismo). En época reciente, el invierno de 1995-1996 fue excepcionalmente avasallador en los Pirineos, lo que produjo daños cuantiosos en infraestructuras, aparte de una importante destrucción de masa forestal.

El estudio de la dinámica de aludes con fines a la prevención implica conocer las áreas donde se pueden producir (cartografía de zonas susceptibles), la periodicidad con que se repiten (estimación de la frecuencia de eventos), las dimensiones que pueden alcanzar (magnitud de los eventos) y las condiciones nivometeorológicas que los desencadenan (estudio de las situaciones sinópticas atmosféricas y condiciones del manto nival). Esto implica investigar los acontecimientos del pasado utilizando diferentes fuentes de información: características topográficas del terreno, registros documentales, encuestas a la población, análisis de los registros nivometeorológicos, seguimiento invernal y análisis dendrocronológico.

El estudio de la dinámica de aludes mediante la dendrocronología permite datar con precisión y con una resolución anual situaciones del pasado y también cartografiar su extensión. Mediante el análisis dendrocronológico de muestras de madera obtenidas de árboles que crecen en zonas de aludes se pueden conseguir cronologías de eventos bastante más completas que con otros medios dentro del intervalo de edad que tengan los árboles.

El empleo de la dendrocronología para la datación de aludes se inició en Estados Unidos en la década de los años 60 del siglo XX. Una serie de trabajos pioneros y de referencia en dendrogeomorfología son los de POTTER (1969), CARRARA (1979) y BUTLER (1979) en la temática de los aludes de nieve. En la actualidad, se sigue

utilizando esta metodología de una forma similar en varios países, entre los que figura España con los estudios que nuestro equipo lleva a cabo en los Pirineos desde el año 2002 (MUNTÁN *et al.*, 2004). El objetivo de esta línea de investigación en los Pirineos es depurar una metodología de trabajo -exportable a otras cadenas montañosas- para la obtención de resultados de alta calidad en la datación de aludes de nieve mediante la dendrocronología. Por otro lado, se persigue obtener una cronología de eventos de ámbito regional, que abarque gran parte de la cordillera a partir de resultados en una serie de localidades situadas en diferentes puntos del territorio. Hasta el momento se ha trabajado en el Pirineo de Cataluña (proyecto ALUDEX 2002-2006, referencia REN2002-02768/RIES), y actualmente en el Pirineo aragonés (proyecto AVDENPYR 2007-2010, CGL2007-62614). Los resultados del proyecto que se presentan a continuación perseguían, dentro de esta línea de investigación, obtener datos y cronologías de aludes de nieve de mayor calidad y antigüedad, respectivamente, en zonas menos sometidas a las actividades antrópicas. El ámbito de los parques nacionales podía ofrecer una ventaja sobre otras áreas: la reducción del impacto de la explotación forestal. Esto facilitaría la preservación de material para el estudio, tanto en lo que se refiere al material resultante de aludes recientes -al no retirarse los árboles rotos o muertos- como a la posible existencia de bosques con árboles más viejos.

El objetivo general del proyecto ha sido la caracterización temporal y espacial del régimen de aludes de nieve en dos zonas, una en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) y otra en el PN d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNASM). Para ello, los objetivos concretos del proyecto han sido:

- Mejorar y precisar las cartografías de aludes realizadas en ambos PN a partir de los métodos tradicionales de cartografía.
- Cartografiar el área de bosque afectada por aludes recientes en los citados PN.
- Determinar el régimen de ocurrencia de aludes en dos zonas escogidas (una en cada PN)

a partir de la datación dendrocronológica de las señales presentes en los anillos de crecimiento de las muestras de los árboles.

MATERIAL Y METODOS

Cartografía de aludes de nieve

Las cartografías de aludes de nieve a escala 1:25000 de ambos parques se han elaborado siguiendo la metodología de la CLPA (PIETRI 1993). Ésta consta de 3 fases: fotointerpretación, interpretación de campo y encuesta. Las zonas de aludes de nieve se definen como áreas dentro de las que se producen desencadenamientos de aludes de dimensiones y frecuencia variables. Se cartografían, en primer lugar, a partir del análisis geomorfológico y de los efectos que los aludes han producido en la vegetación, especialmente en el bosque (FURDADA 1996). A continuación, se llevan a cabo encuestas a la población de la región para recabar información sobre aludes pretéritos. Esta información se contrasta con la de las fases anteriores.

La existencia de cartografías de aludes previas en ambos parques, realizadas con distinto grado de precisión y escala (en el PNASM, a escala 1:25000, y en el PNOMP, a una escala aproximada de 1:100000), ha hecho que el trabajo del proyecto haya sido diferente para cada parque. El territorio que abarca el PNASM se encuentra cartografiado en las hojas 4 (Alta Noguera Ribagorçana – Vall de Sant Nicolau) y 5 (Vall d'Àneu – Sant Maurici) de la serie Mapa de Zones d'Allaus y publicada por el Institut Cartogràfic de Catalunya (2001). En esta publicación, intervino el mismo equipo del IGC de este proyecto y se empleó la metodología del CLPA mencionada. Al existir ya una cartografía suficiente para este parque, durante el proyecto se han cartografiado tan sólo las zonas afectadas por aludes en la temporada invernal 1995-96, que fue extraordinaria. En cambio, en el PNOMP existía una cartografía de pequeña escala (JULIÁN *et al.* 2000) y era necesario elaborar una cartografía de más detalle.

A continuación, se describen las etapas seguidas en la metodología CLPA.

a) Fotointerpretación.

Consiste en la identificación de las zonas de probable circulación de aludes a partir de fotografías aéreas y ortofotos para disponer de una visión global de la zona potencialmente afectada. Se usan fotos en ausencia de nieve, que permiten apreciar la morfología del terreno, las zonas potenciales de salida y los efectos de los aludes en el bosque. Para ello se utiliza el estereoscopio, que aporta una visión tridimensional a partir de fotogramas aéreos. En paralelo, en la pantalla del ordenador, mediante un SIG, se visualizan las ortofotos, el mapa de pendientes obtenido mediante el MDT y la topografía digital 1:5000. Ello constituye una herramienta fundamental de análisis y agiliza el proceso de representación cartográfica puesto que se digitaliza directamente en pantalla.

En el mapa del PNASM del ICC se utilizaron las fotografías aéreas de los vuelos:

- Vuelo 1:33000 de 1956 (IGN)
- Vuelo 1:18000 de 1974 (IGN)
- Vuelo 1:22000 de 1988 (ICC)
- Vuelo 1:60000 de 1993 (ICC)
- Vuelo 1:32000 de 1997 (ICC)

En el mapa del PNOMP elaborado durante el proyecto se han utilizado los vuelos:

- Foto aérea de 1984, 1:25000 (CNIG)
- Ortofoto de 1997 del PNOMP
- Ortofoto de 2003, 1:40000 (IGN)

b) Interpretación de campo.

Consiste en la identificación y confirmación de las zonas de aludes cartografiadas a partir de fotografías aéreas. Se realiza en verano cuando el manto nivoso ha desaparecido, el acceso es más fácil y se observa mejor la morfología y la rugosidad de la ladera. Ello permite, asimismo, la observación en detalle de la vegetación, especialmente los daños ocasionados en el bosque y, por tanto, una mayor precisión para establecer los límites de las avalanchas.



Figura 1. Zona de aludes determinada a partir de fotointerpretación e interpretación de campo. Las zonas de aludes se representan en color naranja y se identifican con un código de seis caracteres: tres que identifican el valle (ej. GAR: valle del Garona), y tres que constituyen el número dentro del valle (ej. 143).

Figure 1. Avalanche path determined from photointerpretation and field inspection. Avalanche paths are represented in orange colour, and are identified with a six-digit code: three identifying the valley (e.g. GAR, Garona valley), and three identifying the number inside the valley (e.g. 143).

c) Encuestas.

Se realizan a los habitantes locales, preferiblemente a personas de edad avanzada para obtener información de mayor alcance temporal. Se trata de una información descriptiva, no siempre representable cartográficamente. La mayoría de las descripciones hacen referencia a la zona de llegada del alud, que es dónde la avalancha incide más en la vida cotidiana de estos territorios. En las cartografías, los límites representados son una interpretación de dichas descripciones y en general, son poco precisos. La información que se recopila para cada evento descrito es variable y subjetiva, por lo que se debe insistir en los límites de llegada, el tipo de alud, la fecha de caída o el intervalo temporal, los daños causados y también la frecuencia estimada. En esta fase de encuesta, también se incluye información de fuentes impresas (históricas o prensa) y de observaciones recientes de aludes.

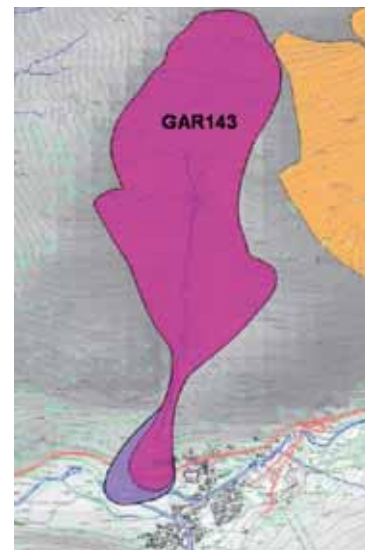


Figura 2. Superposición de la zona de aludes determinada a partir de fotointerpretación e interpretación de campo y la zona de aludes a partir de encuesta. Las zonas de aludes determinadas en la fase de encuesta se representan en color lila. Si las cartografías coinciden, se colorean en granate.

Figure 2. Overlapping of the avalanche path determined from photointerpretation and field survey interpretation, and the avalanche paths from inquiry. The avalanche paths determined by enquiry are represented in purple. If the cartographies coincide, they are coloured in garnet.

Análisis dendrocronológicos

El estudio dendrocronológico ha comprendido tres tareas. La más intensiva se ha llevado a cabo en dos zonas de aludes, una en cada PN, y ha consistido en la selección de las zonas, el trabajo de campo de toma de datos y muestras de árboles, y el análisis de las señales en los anillos de crecimiento. Una segunda tarea ha consistido en la toma de muestras de árboles en varios sectores del PNOMP durante la inspección de campo para la elaboración de la cartografía. Se extrajeron muestras de árboles con evidencias externas de perturbación, muy probablemente de aludes de nieve, a criterio de experto. La finalidad era una datación orientativa de posibles acontecimientos en cada zona de aludes en concreto, aunque la superficialidad del muestreo no puede sustituir un estudio más intensivo para obtener dataciones más precisas. Y tercera, también se tomaron muestras de plantas de porte arbustivo en ambos parques con el fin de estudiar su idonei-

dad para la datación de aludes. A continuación, se describe el proceso para la primera tarea, las otras dos han seguido un método similar.

a) Selección zonas de estudio.

Esta se ha realizado previa consulta de información sobre acontecimientos de aludes documentados en varias fuentes, incluyendo personas cercanas a los PN. A partir de varias zonas de aludes interesantes, la selección definitiva se ha hecho tras la inspección de campo, atendiendo a la edad de los árboles (mejor cuanto más viejos), la sospecha del descenso de alguna avalancha de dimensiones excepcionales en el pasado y la accesibilidad de la zona.

b) Trabajo de campo.

El trabajo de campo comprendió tres tipos de muestreo: muestreo sistemático de árboles a lo largo de transectos, muestreo selectivo de árboles con apariencia externa de haber sido afectados por aludes y muestreo selectivo de unos 20 árboles viejos y no afectados para construir la cronología de referencia. De todos los árboles, se tomaron datos y medidas de posición, estructura y vitalidad. De la mayoría de árboles, se obtuvieron muestras dendrocronológicas. En el caso de árboles vivos, testigos de madera con barrena de Pressler y, en el caso de árboles muertos, ramas de árboles y arbustos, secciones con sierra manual o motosierra. Las dos especies más abundantes fueron *Pinus uncinata* Ramond ex DC in Lam et DC y *P. sylvestris* L., aunque también se tomaron muestras de otras especies minoritarias.

c) Análisis de laboratorio.

La preparación y el análisis de todas las muestras de madera se hizo siguiendo los procedimientos habituales en dendrocronología: secado, montaje y pulido de muestras; datación visual y sincronización (STOKES & SMILEY, 1968). Para una correcta datación de las muestras de árboles de los aludes, se construyó una cronología de referencia de cada zona con los árboles no afectados. La cronología de referencia se obtiene a partir de un mínimo de dos muestras de entre 15 y 25 árboles de la misma especie (se buscan los ejemplares

más viejos) que crezcan en las cercanías de la zona de aludes, pero que estén fuera del área afectada por los aludes. Se datan visualmente y se sincronizan entre ellos bajo una lupa estereoscópica. Para comprobar que la datación sea correcta se miden sus anillos de crecimiento en una mesa de medidas (en nuestro estudio, una mesa semiautomática ANIOL y el programa CATRAS) y se hace una comprobación estadística con el programa COFECHA (HOLMES, 1983; GRISINO-MAYER, 2001). Las muestras de las zonas de aludes se datan posteriormente por comparación con la cronología de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Elaboración del mapa de aludes de nieve del PNOMP

En el Valle de Ordesa, durante el desarrollo del proyecto, se han cartografiado 77 zonas de aludes que afectan al bosque y ocupan una extensión de 617 ha. En 10 de ellas (las más importantes en cuanto al riesgo potencial) se ampliaron las dimensiones de las zonas de llegada gracias al gran número de indicios externos en la vegetación observados durante la cartografía de campo, dado que parte de la actividad de aludes visible en los bosques de caducifolios no fue fácil de detectar a través de la foto aérea. Estas 10 zonas se vieron ampliadas en un 5,84% de media respecto a la cartografía por fotointerpretación (Figura 3). Este dato es especialmente significativo teniendo en cuenta que se trata de una ampliación de la zona de llegada y, por lo tanto, del alcance de estas avalanchas.

Respecto a la codificación, se asignaron valores pares para la ladera derecha del valle y valores impares para la ladera izquierda, en el sentido orográfico. Se adoptó este criterio en previsión de una futura ampliación del número de zonas de aludes si se trabaja en las zonas no forestadas, en general situadas a una mayor altitud.

Simultáneamente a las visitas de inspección de campo, se entrevistó a algunos miembros del personal relacionado con el PN, así como a gente mayor de Torla y Escuaín. Las edades de estas



Figura 3. Ampliación de las dimensiones de las zonas de aludes a partir de la interpretación de campo. En color naranja aparecen las zonas de aludes determinadas por fotointerpretación en el Valle de Ordesa. En color rojo se representa el incremento de la superficie tras el examen de campo.

Figure 3. Extension of the dimensions of the avalanche paths after the field survey interpretation. In orange colour, avalanche paths determined by photointerpretation in Ordesa's Valley. In red colour, the area increase after the field examination.

personas están comprendidas entre los 40 y los 80 años. Se ha respetado su anonimato por lo que no se incluyen sus datos personales. Los resultados se muestran en las tablas 1 a 5. Se describen tanto aludes ocurridos en el PN como fuera del mismo, ya que de las encuestas se obtuvo información de ambas zonas. Los primeros están codificados, pero no los segundos, puesto que no fueron cartografiados. Como se puede observar en las tablas, existen diferentes descripciones para una misma zona de alud. Cada una de ellas corresponde a una persona encuestada distinta, porque puede pasar que una misma avalancha haya sido descrita por diferentes personas y para preservar la originalidad de las descripciones, cada entrada se mantiene como un registro único.

Fuera de las áreas de bosque se procedió a una cartografía automática a partir del modelo digital de elevaciones, el mapa topográfico digital y el mapa de usos del suelo facilitado por el PN. Para ello se generó un mapa de pendientes mediante la identificación del terreno que oscilaron entre los 25 y 50°, intervalo de pendientes favorable al desencadenamiento de aludes de nieve (McCLUNG & SCHAEERER 2006). Se aplicaron dos máscaras para eliminar aquellas zonas favorables, que por anclaje de la vegetación, o por ausencia de manto nivoso bien desarrollado, no pueden dar lugar a aludes: las zonas boscosas y las cotas inferiores a 1500 m (OLLER *et al.* 2006). De esta forma, se obtuvo un mapa de zonas potenciales de salida de aludes, que se representaron de color rojo.

Topónimo	Código	Fecha alud	Tipo	Descripción
Barranco de la Canal	ORD006	A mediados del siglo XIX?	-	Sus abuelos explicaban que llegó al camino de Turieto. Había mucha más nieve que la que se acumuló en 1995/96, en que fue el aerosol sobretodo el que provocó los destrozos.
		Por los 1960 y pico	-	Bajó hasta la carretera y arrancó los malecones. Llegó hasta un poco más abajo. Normalmente, cuando baja éste, también baja el del Bozo.
		1995/96	Aerosol	Es el mayor que ha visto, bajó el 1995/96, no recuerda nada semejante. Los mayores no habían visto bajar antes uno como éste. En la carretera había de 5 a 6 m de nieve y el río quedó completamente tapado; de 6 o 7 m de altura de nieve sobre el río.
Barranco Carriata	ORD018	1995/96	-	Bajó en el 96 a tocar de la carretera, justo hasta el puente.
Barranco de la Senda de los cazadores	ORD039	Hace 3 ó 4 años	-	-
		-	-	Aludes naturales
Barranco de las Ollas	ORD052	1995/96	-	Después del 96 no ha vuelto a bajar.
		1998?	-	Baja casi siempre. Recuerda 3 m acumulados en el camino con unos 15 m de anchura. Cree que fue en el 1998. Después de éste no han llegado más al camino. Más hacia Soaso había árboles en el suelo del soplo del alud.
Sobre la cascada del Estrecho	ORD067	-	-	Éste ha bajado varias veces, cruzando el río, junto con el de al lado (los dos juntos).
Barranco Tobacor	ORD070	Anual	-	Cada año baja hasta el río.
		-	-	Muy peligroso, se desvía hacia arriba a la llegada, unos 100 m hacia Soaso, casi siempre baja.
Sierra de Custodia-Soaso	No afecta a bosque	Antes de 1996	Placa húmeda	Hubo un accidente en que un alud natural que salió de la ladera oeste de la Sierra de la Custodia atrapó a un cura, parece ser que catalán, que murió. Eso pasó yendo por el camino de las zetas. Fue en primavera. Había de 4 a 5 m de nieve en el río.
Sierra de Custodia N	No afecta a bosque	Año 1993 ó 94	Placa	Una pareja de franceses esquiendo cortaron una placa. Él murió y la chica no. Fue una placa muy grande.
	No afecta a bosque	-	-	Las zetas caen siempre en primavera.
Escaleras que suben a Soaso por el camino	No afecta a bosque	-	-	Cae un alud natural de placa.
Umbría de Ordesa	Fuera del parque	-	-	Todas han llegado al río.

Tabla 1. Resultado de la encuesta en el valle de Ordesa.

Table 1. Result of the survey in Ordesa valley.

Topónimo	Código	Fecha alud	Tipo	Descripción
Canal de las Inglatas	PIN013	Invierno 2005/06, febrero?	Aerosol	-
Barranco de Montaspro	PIN001	1998?	-	Fue muy grande.

Tabla 2. Resultado de la encuesta en el valle de Pineta.

Table 2. Result of the survey in Pineta valley.

Topónimo	Código	Fecha alud	Tipo	Descripción
Barranco de Santa Elena	-	1995/96	-	
Barranco Turbón	-	Hacia 1900	-	Bajó hasta el otro lado, lo decían sus padres.
	-	1995/96	-	
Barranco del Bozo	-	1995/96	-	Tenía unos 30 m de anchura, tapó el río y remontó la ladera contraria. Durante dos días se formó un lago y finalmente hizo un agujero. Bajó del Bozo, del sur.
		Cuando él tenía 8 ó 9 años	-	Había mucha nieve, arrastró una piedra muy grande, de 20 m de lado.
Barranco de Gabieto	-	-	-	Llegó al camino del otro lado del río.
Refugio de Perote (subiendo al puerto de Bujaruelo)	-	-	-	Una soplada se llevó el techo del refugio.

Tabla 3. Resultado de la encuesta fuera del parque (Bujaruelo).

Table 3. Result of the survey out of the park (Bujaruelo).

Topónimo	Código	Fecha alud	Tipo	Descripción
Barranco Lugar (Torla)	-	-	-	Hace muchos años llegó próximo al pueblo.
		-	-	Había llegado hasta 200 m de las casas. Nunca se han dejado cortar los árboles en esta zona. Hace tres o cuatro años bajó mucho más abajo de la pista.
Barranco Repetruso	-	-	-	Se queda por las partes altas.
		-	-	No ha llegado nunca a la carretera.
		-	-	No llega a los árboles.

Tabla 4. Resultado de la encuesta fuera del parque (Brotó).

Table 4. Result of the survey out of the park (Brotó).

Topónimo	Código	Fecha alud	Tipo	Descripción
Barranco de la Fuente (de la Fuen, en el mapa 25M del parque)	-	-	-	Bajaban a menudo cuando nevaba. Llegaban a la actual carretera, donde dejaban un espesor de 5 m aproximadamente. Tenían que hacer un agujero para pasar.
Barranco la Lites (Fuenfría en el mapa)	-	-	-	La misma dinámica que la Fuente.
Barranco l'Aire	-	-	-	La misma dinámica que la Fuente.

Tabla 5. Resultado de la encuesta fuera del parque (Escuaín).

Table 5. Result of the survey out of the park (Escuaín).

Área forestal afectada por aludes en las últimas décadas en ambos parques

En el PNASM, la superficie ocupada por bosque es superior que en el PNOMP. Por esta razón, una

mayor extensión de bosque se puede ver afectada por aludes en el primero. Es en los valles principales donde se concentran las mayores extensiones de superficie deforestada por las avalanchas en el PNASM. Dentro de este PN, en los valles de

Sant Nicolau, Tor, Escrita y Peguera, se han cartografiado las zonas de aludes de mayores dimensiones, las cuales afectan a las áreas de bosque más extensas. En el PNOMP, es sólo en los valles principales donde el bosque se puede ver afectado por aludes, mientras que en el interior, y especialmente por encima de los 2000 m, esto no sucede porque el bosque es inexistente (a pesar de que el pino negro, *P. uncinata*, que es el árbol que alcanza las mayores altitudes en el Pirineo, podría llegar hasta los 2300 m). Aún así, de los cuatro valles principales del PN (Ordesa, Pineta, Escuaín y Añisclo), sólo en los dos primeros hay afectación en el bosque. En Escuaín y Añisclo no se han detectado evidencias, probablemente por la baja cota de las áreas boscosas y la ausencia de zonas potenciales de desencadenamiento en cabecera.

Durante el invierno 1995-96, se produjeron numerosos aludes en todo el Pirineo, algunos de dimensiones excepcionales. En el proyecto, se han cartografiado las dimensiones de los aludes que se sabe descendieron esa temporada y se ha podido cuantificar el área deforestada. Se ha calculado que ésta fue de 55 ha en la zona de parque en Aigüestortes sin incluir la zona periférica. En el PNOMP, se ha calculado que el área deforestada fue de 17 ha durante el invierno de 1995-96. No obstante, en este parque se ha observado una deforestación posterior de 9 ha, atribuible a otros episodios de aludes que pudieron tener lugar entre 1995-96 y 2002-03.

Estudio dendrogeomorfológico de una zona de aludes en PNASM

La zona de aludes objeto de estudio en el PNASM desciende del pico Pui de Linya hacia el este en la zona periférica del parque cerca de la población de Espot en el sector de Sant Maurici. El estudio de esta zona se inició en el proyecto anterior ALUDEX. Los resultados hicieron sospechar que la zona de llegada podía ser superior a la esperada de acuerdo con la cartografía realizada anteriormente usando la metodología convencional (ver Figura 4). En esta zona, durante la temporada invernal 1995-96, se había producido un alud de nieve que ya había superado las dimensiones esperables. Los efectos de este alud aún son visibles en el bosque en la actualidad. El

análisis dendrocronológico de muestras obtenidas en el interior del bosque de la zona de llegada evidenciaron la ocurrencia de un alud en el invierno de 1971-72, de dimensiones superiores incluso al que se produjo en 1995-96 (MUNTÁN *et al.* 2008). Los resultados de la datación dendrocronológica se muestran en la Figura 5.

Un trabajo que incluye los resultados de este proyecto relaciona la dinámica de aludes de esta zona con otras del Pirineo de Cataluña (MUNTÁN *et al.* 2009). La datación de varios aludes en los últimos 30-40 años en este sector del Pirineo, algunos sólo detectados mediante el estudio dendrogeomorfológico, ha permitido investigar las condiciones atmosféricas y del manto nival desencadenantes de aludes en los datos nivometeorológicos. Se han podido establecer tres inviernos de avalanchas generalizadas en gran parte de este territorio (1971-72, 1995-96 y 2002-03).

Estudio dendrogeomorfológico de una zona de aludes en PNOMP

La zona de aludes seleccionada en el PNOMP desciende del Circo de Carriata por el Barranco de Salarons en el Valle de Ordesa en orientación sur. Hacia el oeste y con una geomorfología muy similar, se encuentra el Barranco de la Canal, que durante el invierno 1995-96 fue escenario de un alud de dimensiones descomunales que devastó el bosque, invadió la carretera de acceso al valle, sepultó el río y remontó la ladera contraria. La anchura de bosque destruido a 1450 m de altitud fue de 256 m, cuando los aludes más frecuentes sólo tienen 40 m de sección en esta zona del trayecto. Las personas de más edad no recordaban un acontecimiento semejante en La Canal, aunque atestiguan que sus padres hablaban de un alud mayor (ver Tabla 1, apartado anterior). Carriata registró un alud en 1995-1996, pero no fue excepcional. El estudio de esta zona de aludes fue motivada por la diferencia de comportamiento de La Canal y de Carriata durante 1995-1996, que hacía sospechar que lo mismo que ocurrió en La Canal puede ocurrir en Carriata.

El estudio dendrogeomorfológico ha revelado un acontecimiento de grandes dimensiones en 1854-55. Sin embargo, la escasez de árboles de mayor

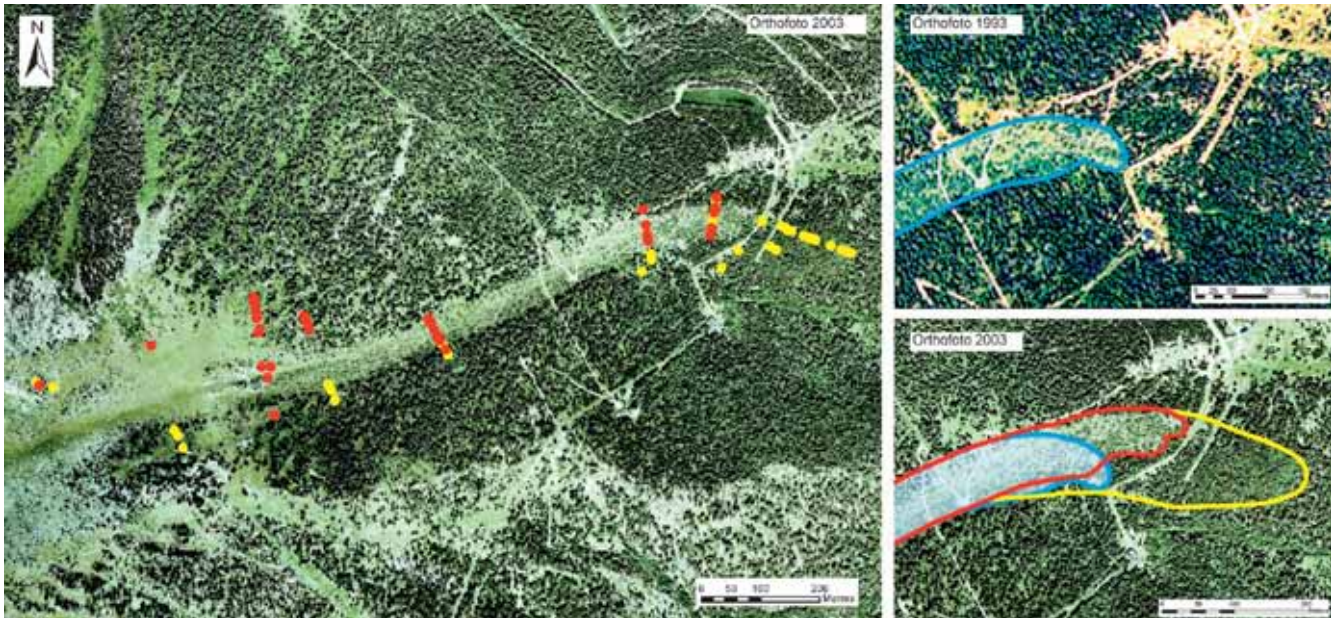


Figura 4. Mejora de la cartografía de aludes mediante la dendrogeomorfología. Los puntos rojos representan árboles con señales dendrocronológicas relativas a alteraciones del crecimiento producidas en el invierno 1995-96 en que se produjo un alud devastador. Los puntos amarillos, corresponden a señales de la temporada 1971-72. A la derecha arriba, cartografía previa a 1996. Abajo, en rojo, cartografía del alud 1995-96 por fotointerpretación e interpretación de campo; en amarillo, cartografía de un alud en 1971-72 obtenida exclusivamente del estudio dendrogeomorfológico. La cartografía dendrogeomorfológica ha supuesto la ampliación de la extensión de la zona susceptible de aludes en más de 150 m. (MUNTÁN *et al.* 2009).

Figure 4. Improvement of the avalanche cartography by means of dendrogeomorphology. The red points represent trees with dendrochronological signals relative to growth alterations produced in the winter 1995-96 in which a devastating avalanche took place. The yellow points correspond to signals of the 1971-72 season. At the right upper corner, cartography before 1996. Below, in red, cartography of the avalanche event in 1995-96 based on photointerpretation and field inspection; in yellow, cartography of an avalanche event in 1971-72 obtained exclusively from the dendrogeomorphological study. The dendrogeomorphological cartography has meant the extension of the runout zone in more than 150 m. (MUNTÁN *et al.* 2009).

Zona de aludes Pui de Linya (PNASM)

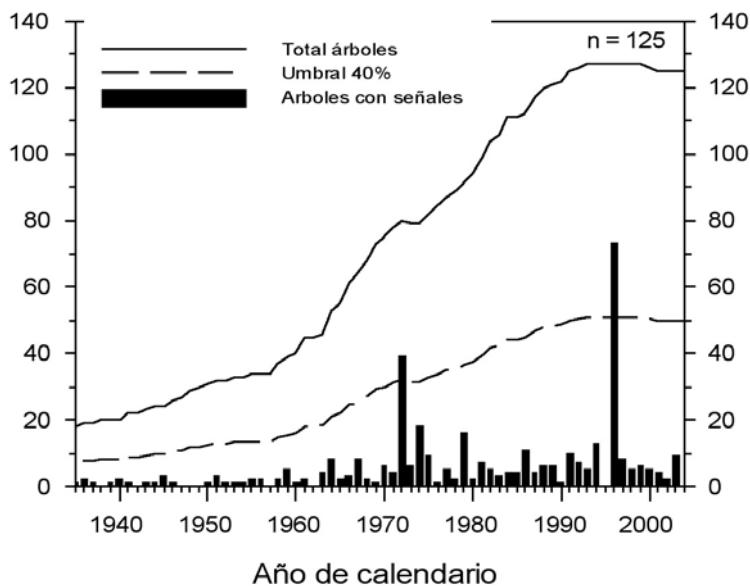


Figura 5. Datación de aludes de nieve a partir de señales dendrocronológicas. En el histograma, las barras verticales indican el número absoluto de árboles con señales de perturbación del crecimiento en años concretos. La línea continua es el número total de árboles analizados por año. La línea discontinua representa un umbral, el 40% de los árboles analizados, para determinar años de aludes según BUTLER & MALANSON (1985). Se ha podido datar así un alud en 1971-72 del que no se tenía referencia y se ha confirmado el alud en 1995-96.

Figure 5. Avalanches dating from dendrochronological tree-ring signals. In the histogram, the vertical bars indicate the absolute number of trees with tree-ring signals of growth disturbance in exact years. The solid line is the total number of trees analyzed per year. The dashed line represents a threshold, 40% of the analyzed trees, to determine years of avalanches according to BUTLER and MALANSON (1985). This way, we have been able to date an avalanche in 1971-72 which was not documented, and the avalanche documented in 1995-96 has been confirmed.

edad en la mitad inferior del trayecto del alud ha impedido, hasta el momento, obtener información suficiente para cartografiar la extensión que pudo tener (y que podría tener en el futuro) este alud (Figura 6). Sería necesario un estudio más exhaustivo, tal como se hizo en la zona de aludes en Pui de Linya. En el desarrollo del proyecto AVDENPYR en curso, está previsto continuarlo, no sólo para la cartografía de las dimensiones máximas, sino también para el estudio nivometeorológico de los episodios de alcance en toda la cordillera pirenaica, utilizando las dataciones que se están llevando a cabo en varias zonas de aludes en el Pirineo central.

Datación orientativa de aludes en el PNOMP

Se tomaron unas pocas muestras de árboles con aspecto de haber sido afectados por aludes (de 1 a 7 individuos) en varias zonas de aludes que se indican en la Tabla 6. En algunos casos, los individuos muestreados se encontraban más allá de los límites aparentes de la zona de alud, superando las dimensiones cartografiadas, lo cual podría indicar que los aludes pueden ser de mayores dimensiones que las que se observan a simple vista en una inspección de campo. Es decir, un estudio dendrogeomorfológico de detalle podría ampliar la cartografía si se diseñase con este fin, tal y como



Figura 6. Ampliación de la zona susceptible de ser afectada por aludes mediante dendrogeomorfología en el Barranco de Carriata (PNOMP). En color rosado se representan las zonas de aludes cartografiadas por el método convencional explicados en el texto. El Barranco La Canal, que tiene una anchura de unos 40 m, registró un alud devastador en 1995-96 que alcanzó unos 255 m de amplitud en total. En el Barranco de Carriata, en color naranja, se muestra el área ampliada a la zona de aludes según la información dendrogeomorfológica.

Figure 6. Extension of the zone prone to avalanches using dendrogeomorphological data in the Barranco de Carriata (PNOMP). In pink colour the zones of avalanches are represented using conventional methods of cartography explained in the text. The Barranco de la Canal, which has a path width of approximately 40 m, registered a devastating avalanche in 1995-96 that reached approximately 255 m of extent in whole. In the Barranco de Carriata, in orange colour, the extended area of the avalanche path according to dendrochronological information is shown.

Topónimo	Código alud	Sector	Mínima edad árboles muestreados	Especie	Datación aludes probables
Bosque de las Hayas	EIN003	Escuaín	1987	<i>Pinus uncinata</i>	1995-1996, 2005-2006
Barranco de Montaspro	PIN001	Pineta	1972	<i>Pinus sylvestris</i> <i>P. uncinata</i> <i>Corylus avellana</i>	1993-1994, 1995-1996, 2002-2003
Barranco de la Canal	ORD006	Ordesa	1837	<i>P. sylvestris</i>	1880, 1910-1911, 1995-1996
Barranco Tobacor	ORD070	Ordesa	1986	<i>P. uncinata</i> <i>P. sylvestris</i>	1995-1996, 2002-2003
Barranco l'Abellana	ORD028	Ordesa	1858	<i>P. sylvestris</i> <i>Abies alba</i>	1870, 1917, 1957 (datación aproximada)
Senda de los Cazadores	ORD039	Ordesa	1963	<i>P. uncinata</i>	1995-1996, 1997-1998

Tabla 6. Dataciones dendrocronológicas orientativas de aludes en varias zonas en el Valle de Ordesa. Las temporadas 1995-96 y 2002-03 se repiten en varias zonas de aludes.

Table 6. Dendrochronological dates of avalanches in several paths in Ordesa's Valley. The seasons 1995-96 and 2002-03 occurred in several avalanche paths.

se ha ilustrado en los apartados anteriores. Los análisis dendrocronológicos confirmaron perturbaciones en el invierno 1995-1996 en las Valles Altas de Escuaín en el lugar del Bosque de las Hayas; en Pineta, en el Barranco de Montaspro; en Ordesa, en los barrancos de la Canal, Tobacor, l'Abellana y en el cercano a la Senda de los Cazadores. Se detectaron también otras fechas que podrían indicar aludes, a destacar el invierno 2002-03, con indicios en el Barranco de Montaspro y en el de Tobacor. Este año se sabe que registró actividad de aludes intensa en el Pirineo de Cataluña y podría corresponder con la devastación de bosque posterior a 1995-96 cartografiada en el parque (ver apartado "Área forestal afectada por aludes en las últimas décadas en ambos parques" en esta misma sección).

Estudio de la utilidad de especies arbustivas en la datación de aludes

Una tercera tarea ha consistido en la iniciación del estudio de especies leñosas de porte arbustivo para la datación de aludes de nieve. Se recogieron muestras -en general, secciones de una de las ramificaciones- de diferentes especies en ambos parques: *Corylus avellana* L., *Rosa* sp., *Juniperus communis* L., *Rhododendron ferrugineum* L., *Echinopartum horridum* (Vahl) Rothm.

Sin embargo, los resultados hasta el momento no aconsejan el uso de estas plantas si existen especies arbóreas. Hay diferentes razones para trabajar preferiblemente con árboles. La primera es la datación. La dendrocronología permite la datación anual precisa de perturbaciones del crecimiento mediante la construcción de una cronología de referencia del lugar para esa especie. Nuestra experiencia -aunque es todavía incipiente en el campo de las especies arbustivas- ha advertido, en general: dificultad en detectar anillos característicos (aquellos que se repiten en diferentes individuos para el mismo año, que son fácilmente identificables y sirven de guía) y abundancia de anillos ausentes (aquellos que no se desarrollan en algunas partes de los tallos y que constituyen un rompecabezas para una correcta datación). Otra desventaja es la corta edad de dichas especies, -pese a algunas excepciones notables que superan los 50 años-. Además, la madera de estas plantas suele pudrirse en poco tiempo al recibir un impacto (Figura 7). Otro inconveniente importante es la dificultad en la identificación de los daños causados por aludes de nieve en arbustos a la hora de recoger las muestras. Una de las características de muchos arbustos es una profusa ramificación y la facilidad con que se doblan o quiebran sus ramas, lo que conlleva que haya muchas otras causas distintas de los aludes, que pueden producir señales



Figura 7. Secciones de arbustos mostrando el decaimiento de la madera poco tiempo después de recibir un impacto. A la izquierda, erizón (*Echinopartum horridum*), y a la derecha, avellano (*Corylus avellana*).

Figure 7. Shrubs cross-sections showing wood decay hett soon after being damaged by impacts of snow or rocks. Left photo, the thorny cushion plant (*Echinopartum horridum*). Right photo, hazel (*Corylus avellana*).

dendrocronológicas de perturbación del crecimiento. Además, hay que tener presente que a menudo estos arbustos quedan cubiertos por el manto de nieve y no son afectados por los aludes que se deslizan por encima.

No obstante, las secciones de ramas de arbustos sí que pueden servir para la datación aproximada de eventos recientes por simple conteo de los anillos transcurridos desde la señal dendrocronológica de perturbación hasta el momento de toma de la muestra. A veces, esta sencilla información puede ser útil para confirmar la sospecha de un alud reciente y su extensión aproximada. De todos modos, todavía falta profundizar en el estudio para concretar las limitaciones y evitar errores derivados de una mala práctica.

CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto se han utilizado varias técnicas para realizar la cartografía de aludes de nieve y se ha demostrado cómo se complementan para conseguir una cartografía de precisión. La fotointerpretación permite una primera aproximación por observación de las áreas deforestadas y, si existen vuelos de diferentes años, por comparación de la variación de las dimensiones

de estas áreas entre unos vuelos y otros. Sin embargo, se ha demostrado que el documento generado de esta manera puede ser mejorado sensiblemente con una inspección de los efectos en la vegetación, sobre todo si se trata de masas de caducifolios (en el Valle de Ordesa, se ha incrementado más del 5% la superficie de algunas zonas de aludes). Más allá de la simple observación de los efectos en la vegetación, está la dendrocronología. Esta herramienta, ha demostrado que puede desvelar dimensiones insospechadas de los aludes de nieve cuando los árboles han registrado el descenso de un alud de gran magnitud, tal como ocurrió en el Pui de Linya en el PNASM en 1971-72. La cartografía dendrogeomorfológica puede ampliar los mapas de aludes de forma considerable, poniendo de manifiesto distancias de recorrido de los aludes mayores que pueden superar el centenar de metros.

La disponibilidad de unas cartografías de zonas de aludes de nieve a escala 1:25000 ha de representar un beneficio para los PN de Ordesa y de Aigüestortes puesto que podrán contar con una cartografía más detallada de las zonas que pueden verse afectadas por estos procesos, en especial en lo concerniente a las zonas de llegada que intersectan accesos a los parques. La recopilación de información sobre sucesos de grandes dimensiones caracterizados por periodos de retorno largos –los aludes catastróficos que no son demasiado frecuentes, pero que tienen efectos devastadores– ha de suponer una ayuda a la hora de gestionar el peligro de aludes. En un futuro, la aplicación de la metodología puesta en práctica en este proyecto servirá para establecer mapas de peligrosidad de zonas de aludes de cara a la planificación territorial.

En algunas zonas de aludes en ambos parques, se ha apreciado una dinámica mixta de aludes de nieve, corrientes de derrubios y posibles deslizamientos del terreno. Ambos procesos geomorfológicos pueden producir señales semejantes en los árboles que se pueden datar. No obstante, es posible la discriminación entre las diferentes causas, puesto que dichos procesos no suelen ser sincrónicos en la misma estación del año y esto se puede detectar en los anillos de crecimiento. Sería interesante estudiar su recurrencia y si existe relación entre estos procesos utilizando la dendrocronología.

AGRADECIMIENTOS

El Organismo Autónomo Parques Nacionales del Ministerio de Medio Ambiente ha provisto fondos para la realización de este estudio entre 2005 y 2008 (referencia del proyecto: 11/2003). La infraestructura para la confección de la cartografía la han proporcionado el Institut Cartogràfic de Catalunya y posteriormente, el Institut Geològic de Catalunya. Los análisis dendrocronológicos se han llevado a cabo en las instalaciones del Departamento de Ecología de la Facultad de Biología (Universidad de Barcelona). Muchas personas han

colaborado en las tareas de recogida de datos y muestras dendrocronológicas, en especial: Enric Batllori, Jordi Cirés y Juan Antonio Ballesteros. Desde la dirección de ambos parques –PNASM y PNOMP– se nos han dado facilidades para llevar a cabo este trabajo de investigación. En relación al PNOMP, agradecemos a Elena Villagrasa el interés y el apoyo logístico a lo largo del proyecto; a la Unidad de Investigación del PNOMP, el uso de las instalaciones de la Estación de Campo de Ordesa; a Fernando Carmena, la colaboración en el trabajo de campo; y a la guardería del Parque, su ayuda en las aproximaciones a las zonas de aludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUTLER, D.R. 1979. Snow avalanche path terrain and vegetation, Glacier National Park, Montana. *Arctic and Alpine Research*, 11(1): 17-32.
- BUTLER, D.R. MALANSON, G. P. 1985. A reconstruction of snow-avalanche characteristics in Montana, U.S.A., using vegetative indicators. *Journal of Glaciology*, 31(108): 185-187.
- CARRARA, P.E. 1979. The determination of snow avalanche frequency through tree-ring analysis and historical records at Ophir, Colorado. *Geological Society of America Bulletin*, Part 1, 90: 773-780.
- FURDADA, G. 1996. Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya: predicció espacial i aplicacions a la cartografia. Geofoma ediciones, Logroño. 315 pp.
- GRISSINO-MAYER, H.D. 2001. Assessing crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205-221.
- HOLMES, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43: 69-75.
- JULIÁN, A. PEÑA, J.L. CHUECA, J. SABALZA, J. LAPEÑA, A. & LÓPEZ, I. 2000. *Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo Aragonés: metodología y resultados*. Boletín de la A.G.E. 30: 119-134.
- McCLUNG, D. & SCHAEERER, P. 2006. *The avalanche handbook*. The Mountaineers Books, Seattle, WA. 3rd Edition. 342 pp.
- MUNTÁN, E. ANDREU, L. OLLER, P. GUTIÉRREZ, E. & MARTÍNEZ, P. 2004. Dendrochronological study of the avalanche path Canal del Roc Roig. First results of the ALUDEX project in the Pyrenees. *Annals of Glaciology*, 38: 173-179.
- MUNTÁN, E. GARCÍA, C. OLLER, P. MARTI, G. GARCÍA, A & GUTIÉRREZ, E. 2009. Reconstructing snow avalanches in the Southeastern Pyrenees. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9: 1599-1612.
- MUNTÁN, E. OLLER, P. GUTIÉRREZ, E. & MARTÍNEZ, P. 2008. *Estudi dendrogeomorfològic d'una zona d'allaus de neu*. En: La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, VII Jornades sobre recerca al Parc Nacional, Barruera, 2006.
- OLLER, P. MUNTAN, E. MARTURIA, J. GARCIA, C. GARCIA, A. MARTINEZ, P. 2006. The avalanche data in the Catalan Pyrenees. 20 years of avalanche mapping. *Proceedings of the International Snow Science Workshop*. Telluride, Colorado (USA): 305-313.
- PIETRI, C. 1993. Renovation de la carte de localisation probable des avalanches. *Revue de Géographie Alpine*, 1: 85-97.
- POTTER, N. Jr: 1969. Tree-ring dating of snow avalanche tracks and the geomorphic activity of avalanches, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. *Geological Society of America*, 123: 141-165.
- STOKES, M.A. & SMILEY T.L. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago. 73 pp.

