



ALUDES DE NIEVE. RIESGO ACTUAL Y RIESGO FUTURO

Snow avalanches. Present risk and future risk

G. Furdada Bellavista

Grupo de investigación de Riesgos Naturales RISK NAT

*Dpto. Geodinàmica i Geofísica; Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona
c/Martí i Franquès, s/n 08028 Barcelona - Fax: (34) 93 402 13 40 - gloria.furdada@ub.edu*

Resumen: Los aludes son fenómenos recurrentes que se producen con una gran variedad de situaciones nivo-meteorológicas. Las actuaciones para minimizar el riesgo son básicamente dos: la predicción temporal (boletín del peligro de aludes), que hay que mantener, y la predicción en el espacio (cartografías). El riesgo de ser afectado por un alud se percibe con total indefensión por la población cuando un alud de gran magnitud impacta sobre un edificio o una infraestructura. Por tanto, es necesaria una legislación del uso de suelo que obligue a considerar los riesgos naturales en la calificación de suelos no urbanizables, basada en mapas de inventario y peligrosidad. Así se puede proteger a la población no especialista frente a las amenazas naturales extremas.

Respecto al cambio climático, el IPCC, en su Tercer Informe de Evaluación expone una serie de probables escenarios de cambio climático a escala global. En todos ellos se concluye que muy probablemente las temperaturas mínimas serán más altas (irán en aumento), habrá menos días fríos, días de heladas y olas de frío en casi todas las zonas continentales. Esto va a conllevar la elevación de la isoterma de 0°C hacia mayores altitudes y, por lo tanto, la elevación del límite del manto nivoso continuo durante el invierno hacia mayores altitudes. Respecto a la precipitación y también a escala global, no se puede concluir que vaya a haber un incremento positivo de los eventos de temporal extremos, por lo que no se puede concluir que vaya a haber una variación del número de aludes extremos.

Respecto al riesgo futuro, en el mejor de los casos se van a seguir produciendo aludes de la misma o mayor magnitud y en los mismos lugares. El deterioro del bosque de protección es muy probable, por lo que será necesaria una buena gestión forestal. La minimización del riesgo deberá basarse en una buena legislación y una buena gestión territorial.

Palabras clave: aludes de nieve, riesgo, cambio climático.

Abstract: Avalanches are recurrent phenomena. They generate in a variety of nivo-meteorological conditions. There are two main procedures to reduce the avalanche risk, considering apart structural works that should be designed after accurate mapping and complementary studies. The first is temporal prediction, so elaboration and diffusion of avalanche hazard bulletins. These bulletins are very useful for managers of the mountain areas, like ski resort safety responsables, roads and other infrastructure managers, civil security and emergency managers and mountain users like alpinists and cross country skiers. The second is spatial prediction, based on mapping. People often feel defenceless with respect to avalanches, for instance when a large one impacts against a building or another infrastructure. As a result, legislation about land use planning, similar to the one existing in other European countries, forbidding building inside avalanche areas, is needed in Spain in order to protect the non-informed population. The application of this legislation should be based on good hazard maps.



About the climate change, in IPCC 3rd Evaluation Report, several probable climate change scenarios at global scale are presented. In all of them it is concluded that, likely, minimum temperatures will increase, there will be less cold days, freezing days and cold waves in most continental zones. This will produce the 0°C isotherm elevation towards higher altitudes, so the elevation of the continuous snow cover limit during winters. About global scale precipitation, it can not be concluded whether there will be a positive increase of extreme storm events, so it can not be concluded that there will be a variation of extreme avalanches.

About future risk, in the case of the best possible scenario, with a slight increase of temperatures (2-4°C) and no increase of storms, most probably large magnitude avalanches, reaching valley bottoms and possibly affecting buildings and infrastructures, will continue generating as nowadays. Forest with protection function will probably continue to deteriorate, increasing starting zones of avalanches and producing an increase of the magnitude of some extreme avalanches. Hence the need of good forest management practices. The reduction of future avalanche risk should be based, then, on a good legislation (and good hazard maps), a good forest management and a good land use planning.

Keywords: snow avalanches, risk assessment, climate change.

1. Los aludes

Un alud es una porción del manto nivoso que se desprende y se desplaza por una vertiente por ruptura de un equilibrio entre las fuerzas resistentes al movimiento (cohesión del manto nivoso, fricción y anclajes) y las fuerzas motrices (componente tangencial del peso del manto nivoso más la de cualquier sobrecarga que éste pueda experimentar, como el paso de un esquiador, de un animal, caídas de piedras...).

Desde el momento en que la nieve se deposita en el suelo, y a veces antes por el efecto del viento, se empieza a transformar. Esta transformación es función de las condiciones meteorológicas y del gradiente geotérmico, que condicionan el gradiente de temperatura en el manto nivoso. Según sea este gradiente de temperatura los granos de nieve tienden a transformarse en granos más pequeños, unidos entre sí por puentes de hielo, en granos grandes, de unos pocos milímetros, sin cohesión entre ellos, o en esferas de hielo unidas entre sí por capilaridad por una película de agua de fusión. Los distintos estratos de nieve, con distintas características que van evolucionando a lo largo del invierno, van a tener como consecuencia, en caso de inestabilidad, distintos tipos de aludes.

Así, en una primera clasificación sencilla se pueden distinguir los tres tipos siguientes:

- Aludes de nieve reciente: en general de nieve seca, se suelen producir durante o poco después de las nevadas; a menudo desarrollan un aerosol; su velocidad puede alcanzar los 300

km/h y sus trayectorias suelen ser rectilíneas, adaptándose poco a la topografía (Fig. 1.a).

- Aludes de placa: suele tratarse de placas de nieve sobreacumuladas por el viento. Presentan una cicatriz de coronación que frecuentemente refleja la morfología lenticular de la placa de nieve, que suele ser rígida y frágil; las placas se rompen en fragmentos irregulares, dando lugar a bloques que se desplazan por la vertiente (Fig. 1.b).
- Aludes de fusión: como indica su nombre, se producen en momentos de altas temperaturas, involucrando nieve húmeda. Son los que tienen más capacidad erosiva, se adaptan a la topografía del terreno y sus velocidades pocas veces superan los 20 km/h (Fig. 1.c).

De esta clasificación se desprende que los aludes se pueden producir en una gran variedad de situaciones meteorológicas. Pero los aludes extraordinarios, de gran magnitud, que pueden llegar a amenazar edificios e infraestructuras situadas en fondos de valle suelen producirse en situaciones de tormentas intensas y prolongadas, por lo menos de 3 días, acompañadas de viento, con descensos importantes de las temperaturas que implican que la nieve se deposita hasta cotas bajas, que habitualmente no se hallan innivadas a lo largo del invierno si no es esporádicamente. Es decir, se producen en situaciones extraordinarias. Este hecho va a condicionar los escenarios de riesgo, tanto actuales como futuros.



Figura 1. a) Alud de nieve reciente; b) alud de placa; c) alud de nieve húmeda.
 Figure 1. a) Recent, dry snow avalanche; b) slab avalanche; c) dense, humid snow avalanche.

2. Riesgo actual

2.1. La percepción social del riesgo de aludes

El riesgo de ser afectado por un alud se puede percibir desde dos puntos de vista distintos. En primer lugar se puede considerar como una toma de decisión personal, especialmente en el caso de practicantes del alpinismo, esquí de montaña o fuera de pista. Cada persona evalúa el riesgo en función de la información nivo-meteorológica disponible y decide si sale a la montaña o no. Por otro lado, el riesgo de aludes puede ser percibido con total indefensión. Esto ocurre cuando se produce un alud de gran magnitud que afecta un edificio o una infraestructura. Este evento natural es percibido individualmente y genera una opinión colectiva: las consecuencias son “intolerables”; se trata de una “catástrofe”. Las características de este tipo de fenómenos son su ocurrencia muy poco frecuente, a la vez que se trata de un riesgo muy localizado (contrariamente, por ejemplo, al riesgo sísmico), y susceptible de provocar accidentes en masa como los de 1993 (52 muertos Uzrengili, Turquía), 1995 (40 muertos 2 poblaciones en Islandia) o 1999 (más de 60 muertos en los Alpes) (Brugnot, 2001).

De esto se deriva que la sociedad demanda, básicamente y simplificando, dos tipos de actuación: Por un lado, que se suministre a los usuarios

de la alta montaña una buena información que les permita evaluar la situación de peligro con el máximo de fiabilidad y les permita tomar la decisión personal más correcta en el momento de decidir salir a la montaña a realizar una actividad de ocio o no. Por otro lado, que se identifiquen las zonas susceptibles de ser afectadas por aludes de grandes magnitudes y se racionalice su uso, en ciertos casos prohibiendo la edificación; así, las personas que no son técnicas pueden ser protegidas de este fenómeno en lugar de sufrirlo con total indefensión.

2.2. La frecuencia de los aludes y sus tipos de predicción

Los aludes son un fenómeno recurrente. Esto significa que hay aludes que se producen con una frecuencia anual, normalmente con dimensiones relativamente pequeñas; también se producen en los mismos lugares aludes con magnitud mayor, con frecuencias de varios años o decenas de años, y con magnitudes extraordinarias, en las mismas vertientes, con frecuencias del orden del centenar o pocos centenares de años. Este comportamiento implica que la predicción del peligro de aludes se aborda desde dos ángulos distintos, es decir, se aborda una predicción temporal (cuando se van a producir los aludes) y una predicción en el espacio (donde o, mejor, hasta donde van a producirse y

que zonas van a alcanzar los aludes) (Bosch et al., 1989).

La **predicción temporal** es similar a la predicción meteorológica. Consiste en identificar los lapsos de tiempo en los que pueden producirse los aludes y del tipo más probable de éstos. No intenta predecir la magnitud. Se basa en el seguimiento invernal del manto nivoso y su evolución para detectar las situaciones de inestabilidad. Es, por tanto, una predicción útil para los esquiadores y alpinistas, así como para los gestores de la alta montaña, como responsables de la seguridad en pistas de esquí, carreteras, equipos de salvamento y protección civil, etc. Esta predicción se difunde por medio de boletines de peligro de aludes. En Europa se utiliza una escala de peligro homogénea, de

cinco grados (Fig. 2) Un ejemplo de estos boletines, así como mucha información adicional sobre aludes, puede consultarse en las páginas web del Institut Cartogràfic de Catalunya (<http://www.icc.es/allaus>) o del Institut Meteorològic de Catalunya (<http://www.imc.es>).

Así, a menudo y por el hecho de que se tienen más presentes, “(...) la prevención se concentra sobretudo en los eventos bastante repetitivos. Pero una estimación global de los riesgos muestra claramente que la seguridad de la comunidad está amenazada en primer lugar por eventos raros, muy raros o extremadamente raros, para los cuales las medidas de prevención son a menudo insuficientes. (...) Para reducir los daños potenciales hay que tomar medidas apropiadas de ordenación del terri-

Índice de peligro	Estabilidad del manto nivoso	Probabilidad de desencadenamiento	Indicaciones para el esquí fuera de las pistas y recomendaciones
1. Débil	En la mayoría de las vertientes el manto nivoso está bien estabilizado	Excepcionalmente, sólo pueden desencadenarse aludes en algunas pendientes muy propicias y, sobre todo, a causa de fuertes sobrecargas. De forma natural sólo pueden desencadenarse coladas o pequeños aludes.	Las excursiones y el descenso con esquís son posibles casi sin restricciones
2. Limitado	En algunas pendientes suficientemente propicias a los aludes, el manto sólo está moderadamente estabilizado. En el resto, está bien estabilizado	Se pueden desencadenar aludes sobretudo por sobrecargas fuertes y en algunas pendientes cuyas características se describen normalmente en el boletín. No se esperan salidas espontáneas de aludes de gran amplitud.	Las excursiones deben realizarse con previa planificación. Se recomienda prudencia a la hora de elegir los itinerarios, evitando, en lo posible, las vertientes inclinadas con la orientación y la altitud que se indican.
3. Notable	En numerosas pendientes suficientemente propicias, el manto sólo está moderada o débilmente estabilizado.	Se pueden desencadenar aludes incluso por sobrecargas débiles y en numerosas pendientes cuyas características se describen habitualmente en el boletín. En ciertas situaciones son posibles algunas salidas espontáneas de aludes de dimensiones medias y a veces grandes.	Deben evitarse las vertientes inclinadas en las orientaciones y altitudes que se indican. Se requiere mucha experiencia y una gran capacidad de apreciación del peligro de aludes.
4. Fuerte	En la mayoría de las pendientes suficientemente propicias a los aludes, el manto nivoso está débilmente estabilizado.	Se pueden desencadenar aludes incluso por sobrecargas débiles en la mayoría de las pendientes suficientemente propicias a los mismos. En ciertas situaciones, son posibles numerosas salidas espontáneas de aludes de dimensiones medias y a veces grandes.	Las excursiones tienen que limitarse a las zonas con pendiente moderada. Es posible que la parte baja de las pendientes esté igualmente expuesta al peligro de aludes.
5. Muy fuerte	Inestabilidad generalizada del manto nivoso	Se esperan numerosos y grandes aludes originados espontáneamente incluyendo zonas con pendientes poco propicias.	Se tiene que renunciar a las excursiones.

Figura 2. Escala de peligrosidad de aludes europea.
Figure 2. European avalanche hazard scale.

torio y, específicamente, planes de zonificación” (Comité Français DIPCN/IDNDR, 1999).

En este sentido, es necesaria y se realiza la **predicción en el espacio**. Es decir, se identifica donde se producirán los aludes, especialmente aquellos de grandes magnitudes, y hasta donde pueden alcanzar, con que frecuencias y con que energía. Esto se lleva a cabo mediante distintos tipos de mapas de aludes, que se describen en el siguiente apartado.

2.3. La gestión del territorio: tipos de cartografías

La gestión del territorio, en lo que respecta a los riesgos naturales, tiene por objeto mitigar las consecuencias de dichos riesgos. En este sentido, un amplio conocimiento del fenómeno y su localización es lo que va a permitir aplicar correctamente actuaciones de defensa estructurales y no estructurales. Esta gestión del territorio se va a apoyar, por motivos obvios, en las cartografías y, en el presente caso, en las cartografías de aludes.

Existen dos tipos básicos de mapas de aludes, que comentamos a continuación.

2.3.1. Mapas de Inventario

Los mapas de inventario tienen por objeto compilar los fenómenos ocurridos y preservar la memoria histórica. En ellos se cartografían las envolventes de los aludes ocurridos en cada una de las canales o zonas de aludes de los que existe un registro inequívoco. Sus características básicas son que la información que recopilan es cierta, que son documentos informativos (no aportan datos sobre la frecuencia ni la intensidad del fenómeno cartografiado), y son documentos “abiertos” a los que se puede ir añadiendo información. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un alud puede sobrepasar los límites cartografiados (puede no haber registro sobre el), y que los límites de estos mapas no se pueden utilizar directamente para delimitar zonas de alta o baja peligrosidad (Fig. 3).

2.3.2. Mapas de Peligrosidad. El modelo francés

Su objetivo es la zonificación del territorio, es decir, la determinación de la frecuencia e intensidad del alud, así como su clasificación en una zona de baja, media o alta peligrosidad. Esta zonificación tiene como finalidad aplicar una serie de

regulaciones y restricciones al uso del suelo (permisos de construcción) que se concretan en un Mapa Reglamentario derivado del de Peligrosidad. Aunque existen distintas metodologías para la elaboración de los Mapas de Peligrosidad, en el presente trabajo vamos a presentar únicamente el modelo francés. Cabe decir, sin embargo, que el modelo suízo (Salm et al. 1990) se sigue, con modificaciones, en Austria y en algunas regiones de Italia.

En la metodología francesa los mapas de Peligrosidad se integran en los llamados Planes de Prevención de Riesgos Naturales Previsibles. Para la consideración de los aludes en dichos Planes de Prevención de Riesgos, la metodología utilizada se basa en los siguientes puntos (La Documentation Française (ed.) [en línea]):

- Se realiza la síntesis de la historia de una zona de aludes. Esto tiene por objeto recopilar la máxima cantidad de información sobre los aludes y, sobre todo, sobre los aludes extremos que se hayan podido producir en dicha zona. Esta información será básica en el caso de aplicación de modelos dinámicos, para el cálculo de máximas zonas de alcance de los aludes y sus presiones de impacto, ya que dichos modelos precisan de calibraciones basadas en eventos reales.
- La participación de los habitantes. Se concreta en todo un proceso, llamado de Concertación. Uno de los objetivos que siempre se citan es la toma de conciencia y la implicación de la sociedad en la gestión del riesgo. Mediante una serie de reuniones con la población afectada se recopila información sobre los aludes, se discute sobre su peligrosidad, sobre las posibilidades de gestión del riesgo, etc. A pesar de la dificultad que implica este proceso, con él se consigue la revisión del conocimiento y, por tanto se evita la pérdida de la memoria histórica por parte de la población, al mismo tiempo que se consigue la implicación social en la gestión del riesgo.
- La caracterización de la peligrosidad: Con todos los datos disponibles y, si es posible con la ayuda de modelos, se caracteriza la frecuencia y la energía de los aludes en una determinada zona de alud. A partir de aquí, se definen dos peligrosidades de referencia para

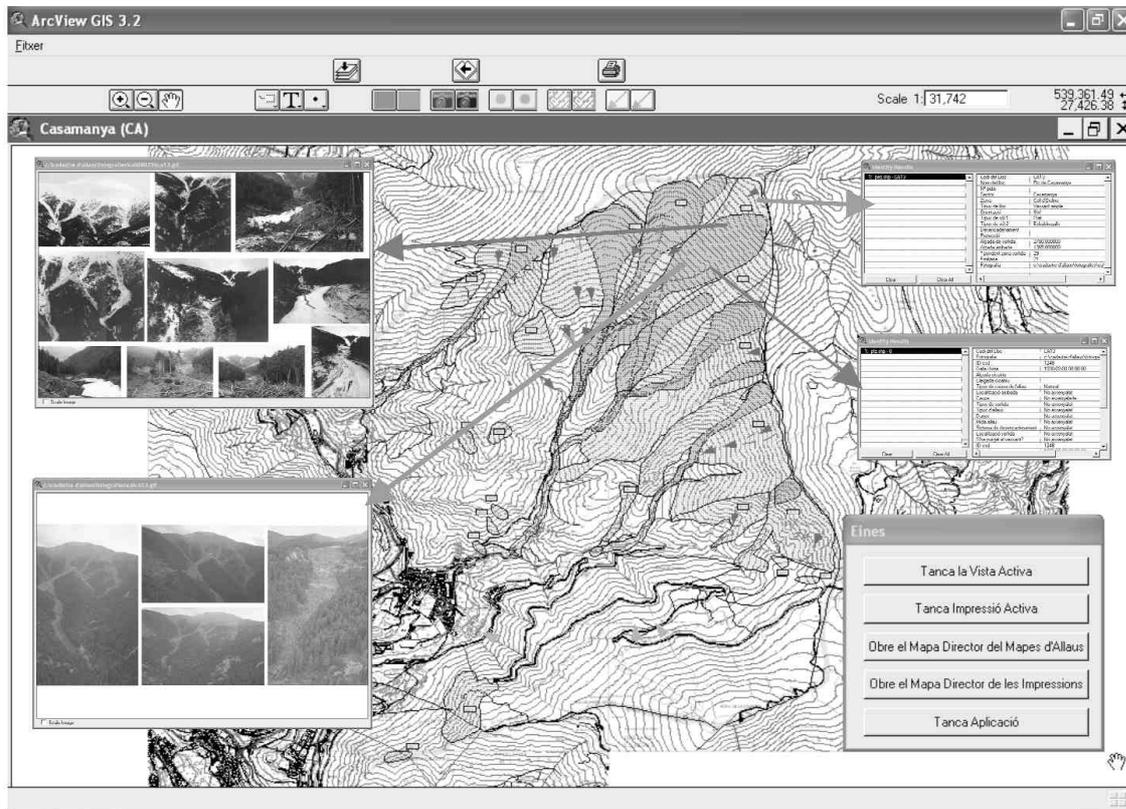


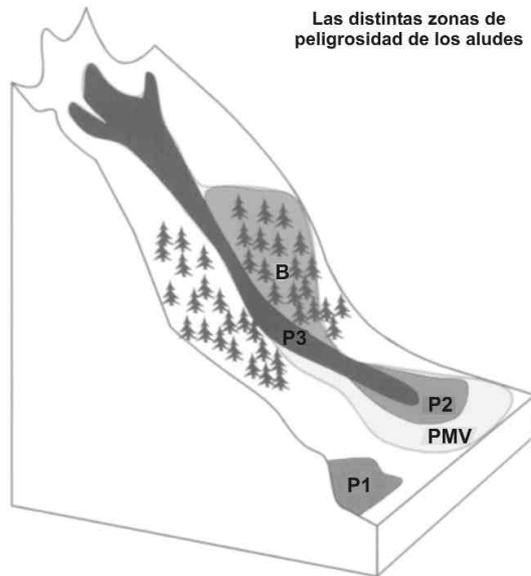
Figura 3. Ejemplo de mapa de inventario, incluido en el Catastro Digital de Aludes de Andorra. En este mapa se cartografía los aludes determinados mediante criterio de experto (gris claro) y los identificados por testigos (gris oscuro); las dos fuentes de información pueden coincidir o no, aportando datos complementarios. Además, el mapa va asociado a una base de datos que permite ver la descripción y fotografías de la zona de aludes sin nieve y la descripción y fotografías de los aludes ocurridos.

Figure 3. Example of an inventory map included in the Andorra Digital Avalanche Cadastre. In this map two sources of information are used: the information determined by an expert (light grey) and the information provided by witnesses (dark grey); the two types of information can coincide or not, and the map reflects the two complementary information sources. Also, an associated data base includes the description and pictures of the avalanche path as well as the description and pictures of the occurred avalanches.

un mismo sitio que diferencia la seguridad de los bienes de la seguridad de las personas. La primera se basa en la caracterización de un alud de referencia de periodo de retorno centenario, que se tiene en cuenta para introducir normas sobre la edificabilidad; la segunda se basa en la caracterización del máximo alud posible en dicha zona, y se tiene en cuenta para excluir de la misma los edificios con función de coordinación de emergencias, evacuación, protección civil, hospitales, etc., sin nin-

guna regulación más sobre la edificabilidad (Fig. 4).

- Se tiene especialmente en cuenta el papel del bosque de protección. Es decir, se define todo aquel sector forestal que, si sufriera daños (incendio, tala, etc.), provocaría un aumento del área de la zona de salida de los aludes y, por tanto, la incorporación de más cantidad de nieve y un aumento de la magnitud en caso de un alud extremo. Este punto es especialmente importante cuando se aborda la planificación



P3: Peligrosidad alta
 P2: Peligrosidad media
 P1: Peligrosidad baja
 B: Bosque con función de protección
 PMV: Peligrosidad máxima verosímil

Figura 4. Esquema representativo de la caracterización de la peligrosidad según el método francés (PPR Avalanches)
 Figure 4. Avalanche hazard representation corresponding to the French method (PPR Avalanches).

del riesgo futuro, como se va a comentar en posteriores capítulos.

- La zonificación reglamentaria que se diversifica. Esto significa que no hay una correspondencia directa entre el mapa de peligrosidad y el mapa reglamentario donde se regula la edificabilidad. A partir del mapa de peligrosidad se pretende preservar una serie de zonas de peligrosidad media con el objeto de que, si no se aumenta la ocupación, no se aumentan los edificios amenazados, por tanto no se incrementa el riesgo y se evitan problemas en el futuro. Por el contrario, en algunas zonas de alto riesgo, protegidas, se permite el mantenimiento de las edificaciones existentes (Fig. 5).
- Para que esta metodología sea aplicable, teniendo en cuenta la participación de la población afectada, se adopta un reglamento con principios simples.

Con la aplicación de este tipo de mapas y de planes de prevención de riesgos se va consiguiendo proteger a la población de los riesgos de aludes. De todos modos, para que todo este proceso sea posible es necesario que exista un marco legal que lo imponga. Lamentablemente, los intereses exis-

Zonificación reglamentaria.
 Principios de delimitación, de edificabilidad y de gestión

Peligrosidad	Espacios no urbanizados	Espacios urbanizados	
		No protegidos (1)	Protegidos (1)
Alta P3	Inconstruible	Inconstruible + limitaciones de los árboles (2)	Inconstruible (excepcionalmente construible bajo condiciones estrictas) + limitaciones de los árboles (2)
Media P2	Inconstruible	Inconstruible (excepcionalmente construible bajo condiciones de construcción de obras de prevención (y/o protección) + limitaciones de los árboles (2)	Construible bajo condiciones de mantenimiento de las obras de prevención / protección + limitaciones de los árboles (2)
Baja P1	Silvicultura para un bosque con función de protección o Construible bajo condición de tener en cuenta medidas individuales de protección	Construible bajo condición de tener en cuenta medidas individuales de protección	Construible bajo condición de mantenimiento de las obras de prevención / protección
Zona boscosa no expuesta generadora de peligrosidad	Inconstruible + silvicultura para un bosque con función de protección	Sin objeto	
PMV	Construible con una reglamentación para los equipamientos necesarios para la organización de socorro		
Negligible o nula, pero accesos a estas zonas amenazadas	Construible con una reglamentación para los equipamientos necesarios para la organización de socorro		

Para el conjunto de las zonas: establecimiento de un plan de vigilancia, de alerta y de evacuación

(1) ... Para obras de prevención y/o protección contra los aludes
 (2) ausencia o tala de árboles de grandes dimensiones

Figura 5. Zonificación reglamentaria del territorio según el modelo francés (PPR Avalanches). Los principios de delimitación, de edificabilidad y de gestión del territorio se determinan por el nivel de peligrosidad y por la situación del suelo en el momento de realizar la zonificación.

Figure 5. Principles of Land Use Zoning corresponding to the French method (PPR Avalanches). Land delimitation, building permits and land use planning are determined by taking into account hazard level and land use at the moment of the zoning analysis.

tentes en lo que se refiere al valor del suelo impiden la aplicación de este tipo de planes si no existe una obligación legal. El cambio del precio del suelo cuando cambia su calificación de urbanizable a no urbanizable, por ejemplo en una zona turística de montaña en expansión, es considerable y provoca que, en muchos casos, prevalezcan los intereses privados sobre los de la colectividad. Es necesario decir que la legislación vigente en España, aunque cita la posibilidad de tener en cuenta los riesgos naturales en la calificación del suelo, no obliga a ello. En este sentido, los ciudadanos se encuentran desamparados, desprotegidos y sujetos al impacto destructivo de aludes y otros riesgos naturales. Hasta que no exista una conciencia social clara y una demanda clara de responsabilidad a la clase política, difícilmente será superable esta situación de indefensión de la ciudadanía frente a los riesgos naturales, aunque existan medios científicos y técnicos para abordar la ordenación del territorio.

3. Riesgo futuro

Al abordar la interpretación del posible riesgo futuro provocado por los aludes hay que hacer las siguientes consideraciones: para eventos de alta frecuencia y relativamente pequeña magnitud, propios de cada estación invernal, la difusión de los boletines de peligro seguirá siendo fundamental para los responsables de estaciones de esquí, carreteras, etc., y para los esquiadores y alpinistas. Para estos colectivos las consideraciones a abordar serán sobre la duración de la temporada y las cotas del manto de nieve continuo. Para eventos de baja frecuencia y gran magnitud habrá que tener en cuenta los eventos extremos de tormentas, con precipitaciones intensas y bajas temperaturas, que son los que van a condicionar la generación de grandes aludes. Éstos son los que producen un gran impacto socio-económico al afectar edificaciones, infraestructuras y población indefensa.

Para tener en cuenta todo esto, a continuación se revisa el estado del conocimiento actual sobre el clima, su evolución futura y su relación con el manto nivoso y las precipitaciones en áreas de montaña como los Pirineos y los Alpes.

3.1. Predicciones a escala global

Uno de los primeros estudios sobre la futura ocurrencia de aludes, realizado a escala global pero centrado en el hemisferio norte, es el de Glazovskaia (1998). Utilizando datos del Modelo GFDL Q-flux estima posibles cambios en las características principales de las condiciones de generación de aludes en el Hemisferio Norte para una resolución correspondiente a celdas de tamaño de 4,5° lat. x 7,5° long. (es decir, de unos 380 km x 630 km en el Pirineo; considera la "región" de Europa occidental). Los datos que tiene en cuenta el modelo son la temperatura del aire en superficie, la temperatura del suelo en superficie, la precipitación mensual expresada en promedio diario, el viento, la humedad del suelo, etc., es decir, datos muy generales para la resolución disponible. Las simulaciones consideran un escenario de máximo cambio, con aumentos de la temperatura de 3,5-4°C. Concluye que en Europa Occidental y, en concreto, en la Península Ibérica, se va a producir una posible reducción del espesor de nieve de entre 10 cm y >30 cm, una posible reducción en el número de días con precipitaciones >10 mm de hasta el 25%, y una disminución del periodo favorable al desencadenamiento de aludes de unos 10 días. Este trabajo tiene un valor intrínseco como trabajo pionero en el tema, pero no aporta información de utilidad respecto al riesgo futuro de aludes en nuestros macizos montañosos por su carácter generalista y baja resolución.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su Tercer Informe de Evaluación sobre el Cambio Climático (IPCC, [en línea]), expone una serie de probables escenarios de cambio climático a escala global, que abarcan un abanico de posibilidades de cambio, desde más suave a más extremo. Si consideramos por ejemplo el escenario B2, que no es un escenario extremo, observamos que para nuestra latitud y en todo el ámbito del Mediterráneo se predice un aumento de las temperaturas medias anuales para el periodo 2071-2100 de entre 2 y 4°C, comparado con el periodo 1961-1990 (Fig. 6).

En este mismo Informe se valoran los fenómenos extremos relacionados con el clima, teniendo en cuenta los cambios observados y la fiabilidad de las series de datos, y los cambios proyectados para

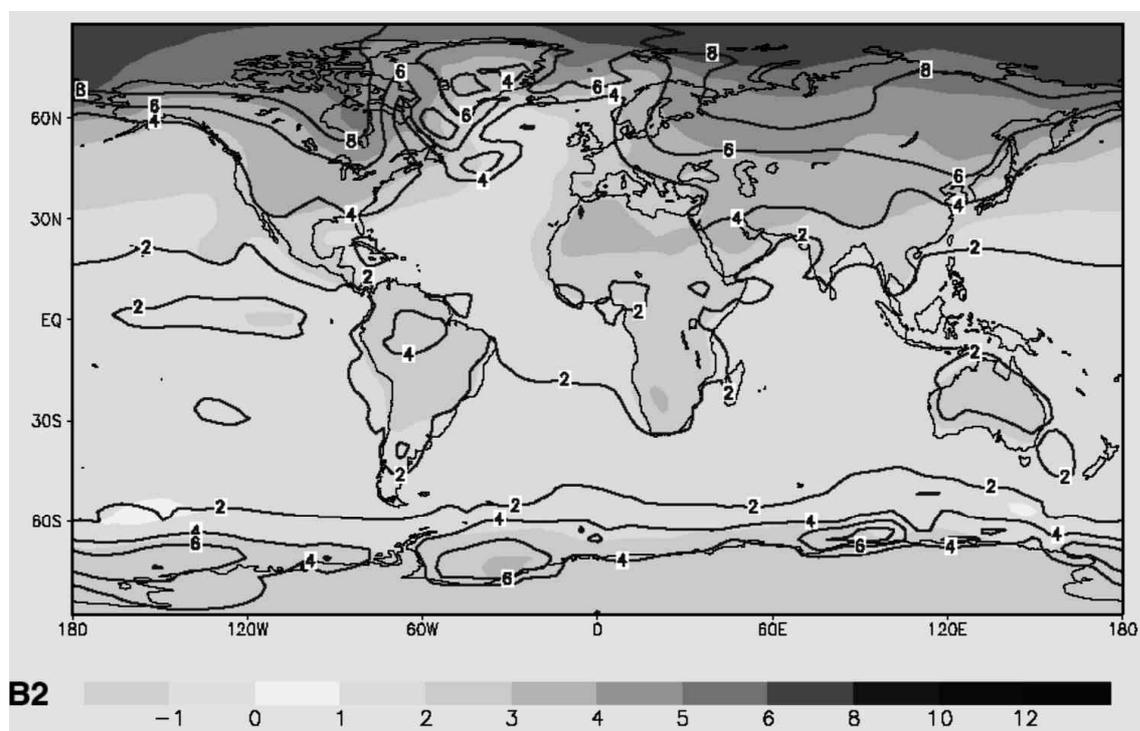


Figura 6. Cambio de la temperatura media anual (sombreado) y su margen de variación (isolíneas), en °C, en el escenario B2 del IE-EE. Se compara el periodo 2071-2100 con el periodo 1961-1999. Simulado con MCGAO. (Extraído de IPCC 2001[en línea]).
 Figure 6. Temperature mean yearly change (grey shadows) and its variation margin (isolines), in °C, in the B2 IE-EE scenario. The periods 1961-1990 and 2071-2100 are compared. MCGAO simulation. (Extracted from the IPCC 2001 report [on line]).

el siglo XXI. Respecto a las temperaturas se concluye que muy probablemente las temperaturas máximas serán más altas, habrá más días más calientes y olas de calor en casi todas las zonas continentales; las mínimas serán más altas (irán en aumento), habrá menos días fríos, días de heladas y olas de frío en casi todas las zonas continentales. En el caso del manto nivoso, esto va a conllevar la elevación de la isoterma de 0°C hacia mayores altitudes y, por lo tanto, la elevación del límite del manto nivoso continuo durante el invierno hacia mayores altitudes. Además, estos cambios en la temperatura muy probablemente van a provocar olas de calor y sequías, que van a tener repercusión en los bosques (salud de los árboles, incendios forestales, etc.).

Respecto a la precipitación y también a escala global, hay poco acuerdo entre los modelos actuales sobre la probabilidad de que se produzcan más

precipitaciones extremas, con tempestades de mayor intensidad en las zonas de latitud media. Podrán producirse (o no) más tormentas de nieve, hielo y más aludes extremos, que como se ha comentado, van asociados a estos fenómenos de tormenta extremos. Es decir, no se puede concluir que vaya a haber una variación de los eventos de temporal extremos, por lo que no se puede concluir que vaya a haber un aumento de los aludes extremos. Lo que no parece que vaya a producirse es una disminución de estos temporales en nuestras latitudes, por lo tanto y siempre a escala global, no parece que vaya a haber una disminución de los aludes extremos.

Por supuesto, todas estas consideraciones son solamente válidas a escala global, es decir, del planeta. Por ello, solo se apuntan posibles tendencias que no son en ningún caso directamente aplicables a escala regional o local, como la península Ibérica

o un determinado macizo montañoso como, por ejemplo, los Pirineos o los Alpes, como se comenta respecto al trabajo de Martin et al. (1997) en el apartado 3.2.

3.2. Predicciones a escala local: "downscaling"

Uno de los objetivos básicos de la investigación relacionada con la modelización del clima es poder llegar a simular los efectos de la circulación global en un contexto regional o local. Martin et al. (1997) desarrollaron un método de *downscaling* basado en análogos para simular el manto nivoso estacional en los Alpes franceses a partir de los resultados de modelos de circulación general, para distintos escenarios. En su trabajo se parte del hecho de que en los modelos de circulación global (GCMs) las variables de superficie simuladas por los modelos no se pueden utilizar en las áreas de montaña porque suavizan demasiado la topografía. Por ejemplo, en la resolución T42, la malla utilizada es de aproximadamente 300 km² y la máxima elevación reproducida para los Alpes no alcanza los 1000 m s.n.m. Evidentemente, estas condiciones de partida, al no poder reproducir correctamente la compleja topografía de los Alpes, no pueden simular las drásticas variaciones en las variables meteorológicas que se producen habitualmente en áreas de menos de 50 km². De estas limitaciones surge la necesidad de desarrollar métodos de *downscaling* para simular condiciones regionales y locales. En el trabajo de Martin et al. (1997) se llega a los resultados y conclusiones siguientes: Simulando condiciones de años precedentes con datos reales se produce una infraestimación sistemática de la precipitación acumulada tanto estacional como a largo plazo (nieves permanentes). Esto es común en la aplicación de los métodos análogos, que tienen dificultades en seleccionar situaciones extremas asociadas con cantidades de precipitación elevadas. Además, la elevada sensibilidad del manto nivoso a pequeños cambios de temperatura o precipitación no permite una simulación precisa de la climatología de la nieve. A esto hay que añadirle la dificultad de los GCMs para simular la circulación atmosférica en el Mediterráneo y las desviaciones que este hecho introduce y que son de difícil corrección. El resultado es que el manto nivoso en el Sur de los Alpes no se reproduce bien. En lo que

respecta a los episodios extremos que pueden generar aludes de grandes magnitudes, como se ha dicho, este modelo presenta muchas limitaciones y no se puede deducir ninguna conclusión.

Expresando la misma dificultad en los procesos de *downscaling*, en el número 1 de las *Newsletters* derivadas del Proyecto ENSEMBLE (GOCE-CT-2003-505539), financiado en el marco del 6º Programa Marco de la Comisión Europea, en el que participan 73 universidades e instituciones de investigación de todo el mundo, se recogen las siguientes afirmaciones (Kostopoulou et al. [en línea]):

"(...) La incertidumbre en la sensibilidad climática no ha decrecido entre el segundo (1995) y el tercer (2001) informe del IPCC. (...). Para poder considerar el impacto del cambio climático a escalas locales, un paso importante consiste en caracterizar la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos, y como estos cambian con el cambio climático. (...). Los factores que controlan los eventos extremos serán, por lo tanto, investigados."

Por otro lado, las conclusiones del PNR 31 (OcCC, ed. [en línea]) indican que la evolución de los riesgos naturales asociados a la meteorología no ha sufrido un cambio excepcional estos últimos años en Suiza. Se observa, sin embargo, una ocupación creciente de las zonas susceptibles de ser afectadas por fenómenos naturales, lo que aumenta la amplitud posible de los daños debidos a los riesgos naturales. Si el calentamiento continúa habrá que esperar cambios en los siguientes dominios:

- Una fuerte disminución del manto nivoso en invierno en altitudes medias y bajas, con la consiguiente pérdida de turismo invernal, así como aumento de las crecidas en invierno.
- Un aumento de la inestabilidad de las vertientes.
- Efectos negativos en la estabilidad de los ecosistemas alpinos.

Aunque cabe decir que estas conclusiones a escala regional y local no proceden de la aplicación de *downscaling* a los modelos climáticos.

Actualmente se están abriendo nuevas perspectivas en los métodos de simulación con la incorporación modelos estocásticos. Por ejemplo, Watterson (2005) simula los cambios producidos por el calentamiento global en la variabilidad de la

precipitación mediante un modelo estocástico gamma-distribuido. Esta aproximación le permite realizar un *downscaling* en el SE de Australia con buenos resultados.

En resumen, aunque es importante realizar un importante esfuerzo en investigación y desarrollo de las técnicas de *downscaling*, por el momento no podemos disponer de simulaciones ni predicciones fiables a escala regional ni local para los macizos montañosos. Esto es especialmente cierto en lo que se refiere a la predicción de eventos extremos. Por todo ello, las consideraciones sobre el riesgo futuro de los aludes en nuestro ámbito se van a basar en estudios de series de datos sobre innivación y aludes y en el conocimiento existente sobre el funcionamiento del clima en Europa.

3.3. La Oscilación del Atlántico Norte y sus consecuencias

El clima en Europa y especialmente en Europa occidental está ligado a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (Hurrell, 1995). La NAO es una oscilación de baja frecuencia (de orden aproximadamente decenal) que se produce en la intensidad de los centros de altas y bajas presiones característicos

de las Azores y de Islandia. Esta oscilación se determina mediante un índice que compara las presiones atmosféricas de dos observatorios que se considera reflejan bien dichas situaciones atmosféricas, por ejemplo, el de Lisboa, frente las Azores, y el de Reykjavik en Islandia.

En una situación con índice NAO positivo el anticiclón de las Azores y la depresión sobre Islandia se hallan reforzados. Esto produce vientos del Oeste activos, que cortan el paso a los descensos de aire polar frío sobre Europa. Esta situación prevalece desde los años 70. En una situación con índice NAO negativo el anticiclón de las Azores y la depresión centrada sobre Islandia se debilitan. Por tanto, los vientos del Oeste se debilitan y el aire polar frío puede descender sobre Europa (Fig. 7).

Estos bloqueos o descensos del aire polar sobre Europa tienen relación, como es lógico, con las precipitaciones y, por lo tanto, con las precipitaciones en forma de nieve durante el invierno. En este sentido, el PNR 31 (Suiza) (Georg, 1998) realizó una comparación entre el índice NAO y la presión en Zurich desde 1903 hasta 1998, que refleja una muy buena correspondencia entre estos dos valores. Además, se constató que entre los inviernos de 1988 a 1998, con índice NAO positivo, se dieron 8

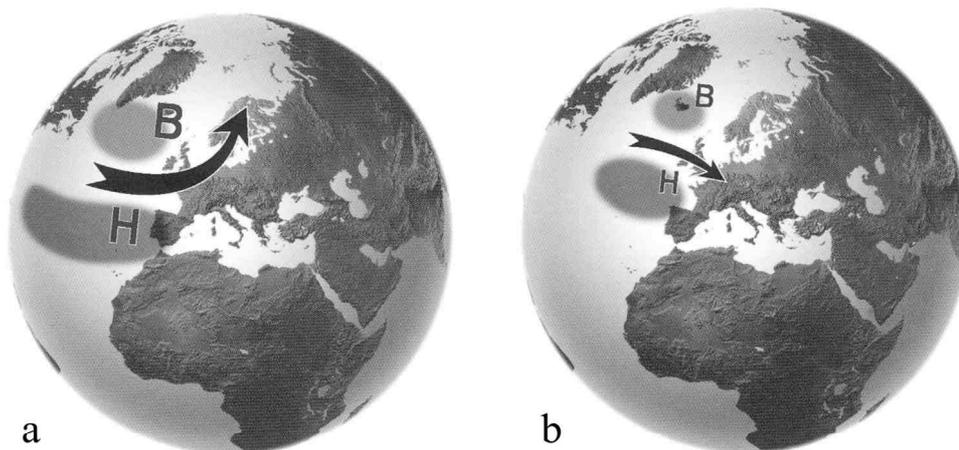


Figura 7. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO); a) situación que produce un índice NAO positivo: alta presión en las Azores (H) y depresión sobre Islandia (B) reforzadas; b) situación que produce un índice NAO negativo: alta presión en las Azores (H) y depresión sobre Islandia (B) debilitadas. (Georg, 1998).

Figure 7. North Atlantic Oscillation: a) situation corresponding to a positive NAO index: Azores High pressure (H) and Icelandic Low pressure(B) reinforced; b) situation corresponding to a negative NAO index: Azores High pressure (H) and Icelandic Low pressure(B) weakened. (Georg, 1998).

inviernos suaves, con poca nieve en la media montaña. Durante este periodo los inviernos fueron poco tempestuosos. Pero en 1990, con índice NAO positivo, se produjo el Huracán "Vivianne", con ráfagas de viento de 270 km/h, que abatió 50 km² de bosque. Es decir, desde el punto de vista de la innivación no fueron inviernos problemáticos, pero la destrucción del bosque implica un aumento de la vulnerabilidad de las infraestructuras a las que éste ofrecía protección.

La relación entre el clima en el área del Atlántico Norte y los fenómenos meteorológicos en Europa nos permite abordar estudios de carácter regional y local. Algunos de ellos se centran en la relación entre la NAO y la precipitación. Otros, sin entrar en esta relación, se centran en el estudio de series de datos nivo-meteorológicos, como se verá a continuación.

3.4. Los estudios de carácter regional y local

Existen pocos estudios específicos sobre la variación de la precipitación y, más específicamente, de la cobertura nivosa en las cordilleras de la península Ibérica y su relación con el clima. Uno de estos estudios es el de Martín Vide et al., (1999). Según estos autores, para el caso de la península Ibérica y por lo menos en la mayor parte de este territorio existe una correlación negativa entre el índice NAO y las precipitaciones de diciembre. Temporales de lluvia invernales que afectan a amplias zonas de la península se vinculan a valores negativos de la NAO. Sin embargo, en la zona septentrional y en la franja mediterránea oriental esta correlación es débil.

A una escala más local, Estrada (2005) ha realizado análisis de las series pluviométricas del periodo 1935 -2000 de las estaciones de Escaldes y Ransol existentes en Andorra, correspondientes al cuatrimestre de invierno diciembre-enero-febrero-marzo, y las ha correlacionado con el índice NAO. Cabe decir que alrededor del 50% del territorio de Andorra se sitúa por encima de los 1900 m s.n.m., con lo que buena parte de estas precipitaciones se produce en forma de nieve. Estrada (2005) concluye que el índice NAO de invierno guarda una correlación negativa apreciable con las precipitaciones del cuatrimestre de invierno en Andorra ("r" de Pearson alrededor de -0.50). De acuerdo con la

tendencia general en el sur de Europa, valores negativos de la NAO se asocian, en el caso de Andorra, con inviernos de precipitaciones importantes, y valores positivos con inviernos de precipitaciones débiles o discretas. Las temporadas invernales con precipitaciones más copiosas suelen mantener una correspondencia con índices NAO negativos. Muchos de los inviernos con más abundancia de nieve se corresponden también con valores negativos de la NAO. Esteban et al. (2005), también en los Pirineos de Andorra, analizan las series de datos de precipitación de los inviernos desde 1986-87 hasta 2000-2001 y establecen las situaciones sinópticas en las que se producen precipitaciones de nieve muy importantes, que podrían estar asociadas a la generación de aludes como los de los inviernos de 1996 o 2001.

Dessens y Bücher (1997) realizan un examen crítico de los datos meteorológicos registrados desde 1882 hasta 1984 en el observatorio del Pic du Midí (Pirineo Francés), situado a 2862 m s.n.m. Esta serie de datos "a priori" es de indiscutible interés, por ser larga y de altitud. Si embargo, los autores concluyen que los datos no deben ser considerados con posterioridad a 1922 debido a errores y cambios instrumentales. De todos modos, indican que las precipitaciones del periodo histórico anterior a 1923 se han doblado en los meses de Diciembre a Abril, aunque es muy posible que esta estimación esté fuertemente sobreestimada. En resumen, el único trabajo realizado con datos de gran altitud no aporta ninguna conclusión útil para el objeto del presente trabajo.

Una de las maneras de estimar el riesgo futuro, aunque con muchas limitaciones, es tener en cuenta los estudios más numerosos realizados en los Alpes, y considerar hasta que punto sus conclusiones pueden ser extrapolables a los macizos montañosos de la península Ibérica.

Uno de los primeros trabajos sobre nieve, aludes y cambio climático es el de Föhn (1992). En este trabajo se analizan series de datos sobre el manto nivoso y sobre los aludes en los Alpes Suizos. Se analizaron los datos de 20 estaciones alpinas situadas entre 800 y 2540 m s.n.m., con registros de entre 40 y 50 años (con la excepción de Davos, a 1560 m s.n.m., con unos 100 años de registro). La evolución temporal del espesor del manto nivoso del día 1 de enero muestra una gran

variabilidad interanual, pero no se observa ninguna tendencia a largo plazo que indique que las acumulaciones de nieve en los años anteriores a 1990, que fueron relativamente bajas en observatorios de cotas bajas e intermedias, marcaran ninguna tendencia excepcional en observatorios de altitud como el de Weissfluhjoch (2540 m s.n.m.) (Figs. 8 y 9). Beniston (1997), a partir de series de 50 años de datos (1945-1994) tomados también en observatorios a distintas altitudes en Suiza; por su parte, Laternser y Schneebeli (2003), Beniston et al. (2004) y Scherer et al. (2004) llegan a conclusiones similares: a partir de los años 80 se produce una disminución del espesor del manto nivoso y de su duración a cotas bajas, que prácticamente no es significativo a cotas altas. Beniston et al. (2004) relacionan los espesores de nieve, que presentan una gran variabilidad interanual y unos ciclos decenales, con las condiciones de forzamiento climático de gran escala asociadas a la NAO.

Estos análisis son coherentes con el realizado en el marco del PNR 31 (Georg., 1998), en el que se llega a la conclusión que la cobertura nivosa en altitud, a 1500 m s.n.m., no ha variado durante el siglo XX. Esto se basa en análisis de series de datos suficientemente largas de los observatorios de Davos (1560 m s.n.m.) y Bever (1710 m s.n.m.) en Grisons y Andermatt (1440 m s.n.m.) en Uri. Contrariamente, la reconstrucción de la innivación realizada por historiadores en el "Plateau" Suizo, con cotas más bajas, a partir de datos de 311 inviernos

(1684-85 / 1996-97; excluyendo 24 inviernos sin datos en la serie) indica claramente una disminución de la duración del manto nivoso invernal. Antes de 1898 había una media de 64 días de cobertura nivosa / año; entre el final del siglo XIX y 1987, de 49 días de cobertura nivosa / año; desde mitad de los años 80 hasta 1997, la media era de 27 días de cobertura nivosa / año. Esto indica fusión a cotas bajas, que se relaciona con un aumento de alrededor de 2°C en las temperaturas mínimas (menos heladas durante la noche). Las temperaturas máximas no presentan tendencias claras, pero de todos modos disminuye la diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas, se difumina el contraste invierno-verano, los extremos son menos marcados y los climatólogos dicen que el clima "se equilibra" y se vuelve "más marítimo". También según PNR 31 (Georg., 1998), discernir las tendencias de la precipitación es mucho más difícil por su elevada variabilidad interanual.

Respecto a los aludes, los datos no son suficientemente completos como para poderlos utilizar como indicadores climáticos, ya que únicamente se dispone de series de, como máximo, 50 años. Un análisis de tres series de 50 años (observatorios de Davos, Bever y Andermatt) dan como resultado que la frecuencia de los aludes no muestra ninguna tendencia, ni a la alta ni a la baja PNR 31 (Georg., 1998). Los aludes se producen sobretodo en "avenidas", de modo que en los últimos 50 años se han producido seis periodos de grandes avalanchas en

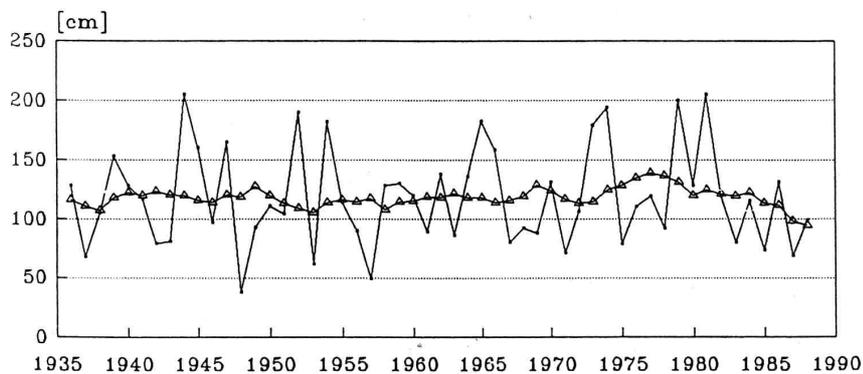


Figura 8. Espesor de nieve el 1 de Enero en Weissfluhjoch (2540 m) y media solapada de 11 años. (Extraída de Föhn, 1992).
Figure 8. Snow depth yearly at the 1st January on Weissfluhjoch (2540 m) and 11-year overlapping means. (Extracted from Föhn, 1992).

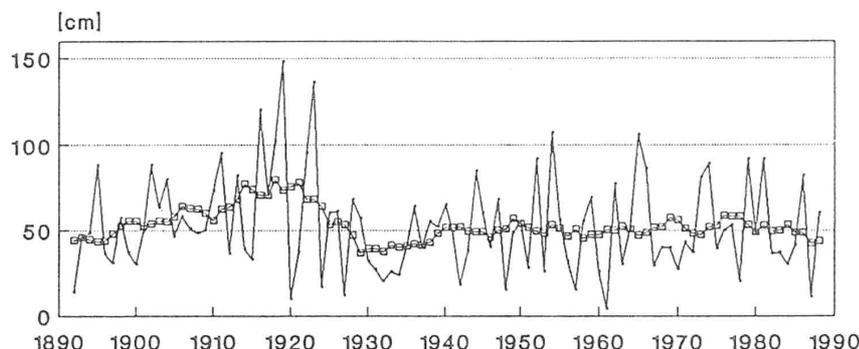


Figura 9. Espesor de nieve el 1 de Enero en Davos (Alpes orientales) con la serie de datos más larga existente en Suiza (1892-1998) y media solapada de 11 años. (Extraída de Föhn, 1992).

Figure 9. Yearly snow depth at 1st January on Davos (Eastern of Alps) with the longest data-series in Switzerland (1892-1998) and 11-year overlapping means (Extracted from Föhn, 1992).

Suiza: en los años 1951 (2 periodos), 1954, 1968, 1975 y 1984, sin tener en cuenta el terrible invierno de 1999 que queda fuera del periodo considerado en este trabajo. Es decir, se constata la llegada regular de años avalanchosos sin que se pueda discernir una tendencia general respecto a su sucesión.

Estos resultados son coherentes con los de Föhn (1992), que compara las innivaciones medidas en Davos el 1 de Enero de 1892 a 1989 (Figs. 8 y 9), y los episodios con aludes catastróficos ocurridos entre 1801 y 1985 (Fig. 10).

Comparando estos datos se puede observar que no existe una recurrencia clara en los periodos avalanchosos y que estos se pueden producir en años con innivaciones nada excepcionales. Éste es el caso del terrible invierno de 1951, en el que se produjeron un gran numero de aludes extremos con graves consecuencias socioeconómicas.

La actividad excepcional de aludes (eventos extremos) es predominantemente causada por una combinación de factores meteorológicos (Föhn, 1992). Muchos de estos aludes se inician en altitud. Así, un ligero calentamiento climático no modificaría la generación de aludes extremos en Suiza, ya que un aumento de la temperatura media en 1 o 2 °C, o incluso una disminución en las precipitaciones entre un 10 y un 20% no son significativos respecto a las situaciones meteorológicas extremas (Georg., 1998).

En resumen, los aludes extraordinarios y extremos se producen en situaciones meteorológicas

especiales: Varios días con nevadas intensas y continuas y con temperaturas del aire bajas. Suelen acompañarse de fuertes vientos que producen sobreacumulaciones de nieve importantes sobre capas de nieve inestables. A menudo van asociados a un rápido calentamiento de capas de nieve frías y sin cohesión, y también pueden producirse asociados a una lluvia continua e intensa sobre capas de nieve evolucionadas. Teniendo en cuenta estas condiciones, recopilando la información de los estudios regionales y locales en la península Ibérica, los Pirineos y los Alpes, y considerando las hipótesis sobre el cambio climático a escala regional, se puede presentar un escenario para evaluar el futuro riesgo de aludes en nuestro ámbito.

Según la Oficina Española de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente) [en línea], durante el siglo XXI probablemente disminuirá en España la disponibilidad de agua y aumentarán las sequías, olas de calor y otros fenómenos extremos. Así mismo, habrá un desplazamiento de las zonas bióticas hacia mayores alturas y hacia el Norte.

El *Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya*, en su Informe sobre el cambio climático en Cataluña (2003) apunta que se producirá un incremento en la altitud de la posición del manto nivoso en el Pirineo, que se situaría por encima de los 2000 m; esto implicaría una disminución de su superficie total.

	1801	11	21	31	41	51	61	71	81	91	1901	11	21	31	41	51	61	71	81	T. Jahren	
WESTL. ALPENNORDHANG		■								■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	15
ZENTRALSCHWEIZ		■								■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	12
ÖSTL. ALPENNORDHANG					■					■					■	■	■	■	■	■	18
UNTERWALLIS		■										■			■	■	■	■	■	■	31
OBERWALLIS		■										■			■	■	■	■	■	■	11
GOTTHARDGEBIET			■	■						■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
MITTELBÜNDEN		■								■					■	■	■	■	■	■	15
NORDBÜNDEN		■								■					■	■	■	■	■	■	21
ENGADIN		■								■					■	■	■	■	■	■	19
ALPENSÜDHANG		■	■	■						■	■	■								■	14

Figura 10. "Calendario" de la actividad avalanchosa catastrófica en los Alpes Suizos (1800-1985). Cada barra negra marca un evento catastrófico en la región indicada. Los periodos de retorno medios se tabulan en el margen derecho. (Extraída de Föhn, 1992).

Figure 10. "Time-table" of past catastrophic avalanche activity in the Swiss Alps (1800-1985). Every black bar marks a catastrophic event in the given region. Mean return periods per region are tabulated on the right side hand. (Extracted from Föhn, 1992).

Estas predicciones, en principio coherentes con las predicciones globales, permiten presentar un escenario hipotético a escala regional y local en el que los aludes extremos, por las condiciones en las que se generan los que afectan hasta los fondos de valle habitados, se podrán seguir produciendo como en la actualidad. Así mismo, es posible un incremento de su magnitud por la pérdida o deterioro del bosque de protección. Esto se deriva de que las condiciones que generan el fenómeno "alud extremo" probablemente serán similares a las actuales (tormentas extraordinarias con fuertes vientos y descenso de las temperaturas durante unos días). Por otro lado, el aumento de las temperaturas asociado al cambio climático afectará al bosque produciendo enfermedades en los árboles por falta de agua (incremento de las sequías), así como destrucción de la cobertura forestal por el aumento de incendios si no se actúa al respecto. Esto provocará una disminución del bosque que cumple una función de protección y, en consecuencia, el aumento de la magnitud de los aludes extraordinarios.

4. Conclusiones

Respecto al riesgo actual, cabe destacar la necesidad de una legislación del uso de suelo que obligue a considerar los riesgos naturales en la calificación de suelos no urbanizables. En nuestro contexto europeo ésta es la única manera de proteger a

la población (no especialista) frente a las amenazas naturales extremas, poco frecuentes, ya sean aludes, ya sean otro tipo de riesgos. La aplicación de esta legislación debe basarse en información rigurosa en forma de mapas de inventario y mapas de peligrosidad. Además, es imperativo el mantenimiento de los sistemas de predicción temporal existentes.

Respecto al riesgo futuro, el posible resultado del cambio climático en el mejor de los casos, es decir, si no aumentan los eventos extremos, es que se van a seguir produciendo aludes de la misma o mayor magnitud y en los mismos lugares, ya que no van a disminuir las tormentas extremas que los producen. Además, el deterioro del bosque de protección es muy probable, por lo que emerge la necesidad de una buena gestión forestal que asegure su mantenimiento. Los impactos producidos según este escenario podrán tener implicaciones socio-económicas importantes. Finalmente, es posible que se de una cierta pérdida de conciencia frente a estos fenómenos: la elevación en altitud del manto nivoso continuo en el invierno puede implicar que se produzcan menos aludes de magnitudes medias y periodos de retorno medios que afecten los fondos de valle y ciertas infraestructuras (como carreteras). Esta probable pérdida de memoria histórica deberá ser compensada con un buen plan de cartografía y mantenimiento de las bases de datos sobre aludes y, sobre todo, con una buena legislación y una buena gestión territorial.

Agradecimientos

La elaboración de este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y del Grup de Riscos Naturals (RISK NAT): DURS - 2001SGR00081.

Referencias bibliográficas

- Beniston, M. (1997). Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcings. *Climatic Change*, 36. 281-300.
- Beniston, M., Keller, F., Koffi, B. & Goyette, S. (2004). Estimates of snow accumulation and volume in the Swiss Alps under changing climatic conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 76. 125-140.
- Bosch, X., Vilaplana, J. M., & Furdada, G. (1989). Los programas de predicción de riesgo de aludes. Justificación, fundamentos, precedentes y situación actual. En Fundación MAPFRE/ITSEMAP (Eds.): *Encuentro Internacional "Catástrofes y Sociedad"*. Madrid. Vol Comunicaciones. p. 233-248.
- Brugnot, G. (2001). *Évolution et bilan de la gestion spatiale du risque d'avalanche en France (1971-2001)*. En : ANENA (ed.) *Bilan et Perspectives de 30 années de gestion du risque d'avalanche en France*. Fontaine, France, 87-93.
- Comité Français DIPCN/IDNDR. (1999). Recommendations de la Conférence internationale sur les risques naturels en montagne. Grenoble 12, 13 et 14 avril 1999. Pôle Grenoblois d'Etudes et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels. 25 pp.
- Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* [en línea] 2003; fecha de revisión 01/02/2006 [fecha de consulta el 01/02/2006]. URL: <<http://www.cat-sostenible.org/publicacions.htm#especials>>
- Dessens, J. & Bücher, A. (1997). A critical examination of the precipitation records at the Pic du Midi Observatory, Pyrenees, France. *Climatic Change*, 36. 345-353.
- Documentation Française, La. *Guide méthodologique. Plans de prévention des risques d'avalanches*. [en línea] 2005 [fecha de consulta octubre 2005]. URL: http://www.prim.net/professionnel/documentation/guide_avalanche/page01.html
- Esteban, P., Jones, P.D., Martín-Vide, J. & Mases, M. (2005). Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andora, Pyrenees. *Int. J. Climatol.* 25: 3. 319-329
- Estrada, J. (2001). Avaluació de les connexions entre l'índex NAO d'hivern i les precipitacions hivernals al Pirineu Andorrà. *Hàbitats*, 2. 20-29.
- Föhn, P.M.B. (1992). Climatic change, snow-cover and avalanches. *CATENA Supplement*, 22. 11-21.
- Georg (1998). PNR 31: *Le regard de Janus. Changements climatiques et catastrophes naturelles*. Georg. 82 p.
- Glazovskaya, T.G. (1998). Global distribution of snow avalanches and changing activity in the northern hemisphere. *Annals of glaciology*, 26. 337-342.
- Hurrell, J. (1995). Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation Regional Temperatures and Precipitation, *Science*, 269, 676-679.
- IPCC. *Third Assessment Report – Climate Change 2001* [en línea] 2001; fecha de revisión: 28/02/2006. [fecha de consulta 01/02/2006]. URL: <<http://www.ipcc.ch/>>
- Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C. & Beniston, M. (eds.). *ENSEMBLES Newsletter. Issue 1*. [en línea] 2005 [fecha de consulta octubre 2005]. URL: <<http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ENSEMBLES/rt8/News01.pdf>>
- Latenser M., & Schneebeli, M. (2003). Long term snow climate trends of the Swiss Alps. *Int. J. Climatol.* 23. 733-750
- Martin, E., Brun, E., & Durand, Y.: 1994, Sensitivity of the French Alps Snow Cover to the Variation of Climatic Variable. *Annales Geophysicae*.
- Martin, E., Timbal, B. & Brun, E.; 1997, Downscaling of general circulation model outputs: simulation of the snow climatology of the French Alps and sensitivity to climate change, *Climate Dynamics*. 13. 45-56.
- Martín Vide, J., Barriendos, M., Peña, J.C., Raso, J.M., Llasat, M.C., & Rodríguez, R. (1999). *Potencialidad del índice NAO en la previsión de episodios de alta pluviometría en España*. Gerencia de Riesgos. Fundación Mapfre. Madrid. 67, 19-29
- Ministerio de Medio Ambiente; Oficina Española de Cambio Climático (ed.) *Cambio Climático* [en línea] 2004 [fecha de consulta febrero 2005]. URL: <http://www.mma.es/oecce/oecce_py0.htm>
- OcCC (ed.) *Changement climatique en Suisse: Etat des choses après la clôture du programme national de recherche 'Changements climatiques et risques naturels' (PNR 31)* [en línea] 1999 [fecha de consulta octubre 2005]. URL: <http://www.occc.ch/Products/Stellungnahmen/standort99/Standort99F.html>
- Salm, B., Burkhard, A. & Gubler, H.U. (1990). Berechnung von Fliesslawinen, Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen, *Mitteilungen des EISLF*. 47.
- Scherrer, S. C., Appenzeller, C. & Latenser, M. (2004) Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi:10.1029/2004GL020255.55.
- Watterson, I.G. 2005. Simulated changes due to global warming in the variability of precipitation, and their interpretation using a gamma-distributed stochastic model. *Advances in Water Resources* 28, 1368-1381.