

# **LA PREDICCIÓN TEMPORAL DE RIESGO DE ALUDES EN ARAGÓN**

María Palomo Segovia  
Centro Meteorológico Territorial en Aragón, La Rioja y Navarra.  
Instituto Nacional de Meteorología  
Correo electrónico: [mpalomo@inm.es](mailto:mpalomo@inm.es)

La predicción temporal de riesgo de aludes es competencia del Instituto Nacional de Meteorología en Aragón. Esta predicción se viene realizando en el Centro Meteorológico Territorial en Aragón, La Rioja y Navarra desde 1993 en su segunda etapa. La elaboración de la predicción de riesgo de aludes exige el conocimiento espacial y temporal de las características del manto de nieve estacional. Para conseguir este objetivo existe una red de estaciones nivometeorológicas situadas en las estaciones de esquí y en los refugios de montaña que realizan observaciones meteorológicas y nivológicas de distinto tipo y periodicidad (diaria y semanal). Estas observaciones contribuyen a la realización de una modelización tanto de las variables meteorológicas en zonas de montaña como del espesor y la evolución del manto de nieve a distintas altitudes y orientaciones y una estimación objetiva del riesgo de aludes tanto natural como accidental. Los resultados de esta modelización del manto de nieve unidos a la predicción meteorológica para zonas de montaña son la base de la predicción de riesgo de aludes en la que aparece una descripción general del manto de nieve en las últimas horas y una estimación del riesgo de desencadenamiento de aludes de acuerdo con la Escala Europea de Riesgo de Aludes.

Palabras clave: manto de nieve estacional, observaciones meteorológicas, observaciones nivológicas, modelización, Escala Europea de Riesgo de Aludes.

## **INTRODUCCIÓN**

Las zonas de montaña presentan, por sus características de relieve y topografía, una exposición especial a ciertos riesgos naturales. La ordenación y gestión del territorio y la planificación de actividades en áreas montañosas exigen del conocimiento de los factores que generan estos riesgos así como de la utilización de una cartografía en la que aparezcan las zonas expuestas a ellos.

Desde hace varias décadas ha tenido lugar una importante ocupación de las zonas de alta montaña. La construcción de centrales eléctricas en altitudes elevadas y el desarrollo de los deportes de invierno han contribuido a ello. Las nuevas infraestructuras construidas han modificado los usos tradicionales del suelo de agricultura y ganadería.

Entre los riesgos característicos de las zonas de montaña se pueden destacar el desencadenamiento de aludes que se pueden considerar un tipo de riesgo hidrológico que puede ocasionar numerosas pérdidas humanas y con un fuerte impacto económico.

El desencadenamiento de un alud es el resultado de la interacción de diversos factores nivológicos, meteorológicos y topográficos.

En la Península Ibérica, el riesgo de desencadenamiento de aludes se concentra, sobre todo, en la cordillera pirenaica. Así, aunque pueden producirse eventos aislados en otras cordilleras, es el Pirineo la zona en la que los aludes se desencadenan de una forma sistemática y donde se realiza, por tanto, un seguimiento de las condiciones meteorológicas y de la evolución del manto de nieve durante la temporada invernal para predecir este posible proceso.

## **LA PREDICCIÓN DE RIESGO DE ALUDES**

En el Pirineo navarro y aragonés, el organismo responsable en la realización de la predicción temporal de riesgo de aludes es el Centro Meteorológico en Aragón, La Rioja y Navarra.

Para elaborar esta predicción, la primera condición es conocer la evolución de las variables meteorológicas y la evolución del manto de nieve estacional en distintos puntos de la cordillera pirenaica para, posteriormente y con la ayuda de las salidas de un modelo de simulación de la evolución del manto de nieve y del riesgo de aludes, elaborar una predicción que tiene validez en las zonas de la cordillera no protegidas.

### **La red nivometeorológica**

Con el fin de obtener un conocimiento continuo de las condiciones meteorológicas en áreas de montaña y de la evolución del manto de nieve estacional, el Centro Meteorológico en Aragón, La Rioja y Navarra ha venido instalando, desde 1981, una red de estaciones situadas en refugios de montaña y estaciones de esquí que realizan observaciones manuales, con una periodicidad como mínimo diaria, de distintas variables nivometeorológicas. En la actualidad, la red de estaciones nivometeorológicas cuenta con doce estaciones en funcionamiento. La situación de estas estaciones aparece reflejada en el mapa.

#### *Figura 1*

En las estaciones nivometeorológicas se realizan dos tipos de observaciones.

- Con periodicidad diaria y durante todo el año se realizan observaciones meteorológicas de distintas variables (temperatura, humedad, precipitación, nubosidad, viento, visibilidad y meteoros) así como de otras variables nivológicas superficiales (altura del manto de nieve total, espesor de nieve caída en las últimas 24 horas, temperatura superficial del manto, estado de la superficie de la nieve, densidad de la nieve, tipo de cristales) y se registran los aludes observados y el riesgo estimado de aludes.
- Con periodicidad semanal y durante la temporada invernal, existe una serie de estaciones que realizan observaciones del manto de nieve en todo su espesor en puntos concretos. Estas observaciones consisten en la realización de un sondeo por golpeo y un perfil stratigráfico y de temperaturas del manto. Con estas técnicas se consigue tener un conocimiento más preciso del estado del manto de nieve, de su composición granulométrica, su resistencia a la penetración y a la cizalladura, su temperatura a distintas profundidades, contenido en agua líquida etc.

El conjunto de estas observaciones permite tener un conocimiento del estado del manto de nieve en el Pirineo y de su evolución temporal a lo largo de toda la temporada.

La red de estaciones nivometeorológicas está atendida voluntariamente por personal colaborador del Instituto Nacional de Meteorología (normalmente trabajadores de la estación de esquí y guardas de los distintos refugios de montaña).

Además de esta red de estaciones nivometeorológicas manuales, existe una red de estaciones meteorológicas automáticas convencionales instaladas en distintos valles del Pirineo, que proporcionan datos de distintas variables meteorológicas (precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento y humedad) cada 10 minutos y con los que se complementa la información meteorológica de la cordillera.

### **La modelización del manto de nieve**

La información nivometeorológica, además de proporcionar un conocimiento del estado de la atmósfera y del manto de nieve en tiempo prácticamente real, también se incorpora como dato de entrada a una cadena de modelos que permiten realizar una simulación de la evolución del manto de nieve.

La cadena Safran Crocus Mepra (SCM) ha sido desarrollada por Meteo France en el Centro de Estudios de la Nieve de Grenoble y proporciona salidas sobre la evolución del manto nivoso y sobre

el riesgo natural y accidental de desencadenamiento de aludes en distintos macizos montañosos, entre los que se encuentran cinco macizos que corresponden al Pirineo navarro y aragonés (Navarra, Jacetania, Gállego, Sobrarbe y Esera).

### *Figura 2*

La cadena Safran Crocus Mepra consta de tres módulos:

- Safran (*Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige*, Durand et al. 1993). Es un sistema de análisis objetivo de datos en superficie y en altitud cuyo objetivo es suministrar, con una periodicidad de una hora y una resolución vertical de 300 metros, los parámetros necesarios para que el siguiente módulo pueda simular la evolución del manto de nieve.
- Crocus (Brun et al. 1989-1992). Es un modelo que simula los procesos internos de la cobertura nivosa (conducción térmica, apelmazamiento, contenido en agua líquida etc). Como resultado se obtiene una modelización del manto nivoso en capas apiladas y formadas por diversos tipos de cristales.
- Mepra (*Model Expert pour la Previsión du Risque d'Avalanches*, Giraud, 1993) es un sistema experto que, a partir del estado del manto previsto por Crocus, elabora un índice de riesgo de aludes accidental y otro natural, por macizos, altitudes y orientaciones.

Para cada uno de los macizos, la cadena SCM elabora diariamente un conjunto de salidas que simulan la evolución del manto de nieve. Estas salidas son de dos tipos:

- Salidas alfanuméricas:
  - Espesor del manto de nieve por macizos, altitudes y orientaciones.
  - Estimación del riesgo de aludes natural y accidental por macizos, altitudes y orientaciones para el día de la fecha y para las 18, 24 y 39 horas siguientes.

### *Figura 3*

- Salidas gráficas:
  - Sondeos nivológicos previstos por macizo, altitud y orientación para el día siguiente a las 06 UTC y a las 12 UTC.

### *Figura 4*

- Sondeos nivológicos previstos para el día de la fecha a las 06 UTC para una altitud de 2.400 m en una pendiente de 40° con orientación Norte.

### *Figura 5*

- Precipitación acumulada en 24 horas, medida en su equivalente en agua, a una altitud de 1.800 m para el día de la fecha y el día siguiente.

### *Figura 6*

## **La Escala Europea de Riesgo de Aludes (EERA)**

El riesgo de desencadenamiento de aludes no puede ser calculado, sin embargo, si puede ser estimado a partir del análisis de las observaciones, de las predicciones de los modelos y de la predicción meteorológica de montaña.

Desde la temporada 1994 – 1995, el riesgo de desencadenamiento de aludes se expresa de acuerdo con la Escala Europea de Riesgo de Aludes en los países del Arco Alpino y Pirineos.

La EERA incluye cinco niveles de riesgo definidos mediante una evaluación de la estabilidad del manto nivoso y de sus consecuencias en términos de probabilidad de desencadenamiento de aludes. Cada valor corresponde a un nivel de peligro. La gradación de riesgo se basa en el aumento y extensión geográfica de la inestabilidad del manto nivoso.

Esta escala esta dirigida a los usuarios que se mueven fuera de pistas balizadas ya que se supone que las zonas balizadas están protegidas y no suponen un peligro.

### *Figura 7*

#### **El Boletín de Riesgo de Aludes.**

Con toda esta información y teniendo en cuenta la predicción meteorológica de montaña, diariamente, durante la temporada invernal (15 de diciembre a 30 de abril), se elabora un Boletín de Riesgo de Aludes para el Pirineo Navarro y Aragonés. Este boletín está disponible alrededor de las 15: 00 horas locales y tiene validez hasta las 24: 00 horas del día siguiente al de la fecha.

El Boletín de Riesgo de Aludes consta de las siguientes partes:

- Estimación del riesgo de aludes por macizos y altitudes para áreas fuera de pistas balizadas.
- Descripción general de las condiciones meteorológicas observadas en las estaciones durante las últimas horas.
- Predicción meteorológica para el día de la fecha y para el día siguiente.
- Información sobre la altitud de la isoterma de 0°C y de –10°C en atmósfera libre.
- Información sobre el viento previsto en atmósfera libre a 1.500 m y a 3.000 m.
- Descripción del estado del manto nivoso y de su posible evolución.
- Avance de riesgo para el día posterior.

Este Boletín está disponible a través de distintos canales:

- Por telefono:  
807 170 380                      Predicción meteorológica para el Pirineo navarro y aragonés.  
    Predicción meteorológica para la Ibérica riojana y aragonesa.  
    Predicción nivológica para el Pirineo navarro y aragonés.
- Internet:  
[www.inm.es](http://www.inm.es)                      Predicción nivológica para el Pirineo navarro y aragonés.
- Fax:  
Según acuerdo con la Sección de atención a los usuarios del Centro Meteorológico Territorial en Aragón, La Rioja y Navarra.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- DURAND, Y.; 1999. *Eléments de documentation SAFRAN*. CEN de Meteo France. Grenoble.
- EQUIPO DEL CEN; 2000. *SCM: Modélisation numérique du manteau neigeux, des risques d'avalanches et des principaux paramètres météorologiques en zone montagneuse*. Note de Centre n° 15. CEN de Meteo France. Grenoble.
- 1994. *Escala Europea de Riesgo de Aludes y Guía para su interpretación*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.

## FIGURAS

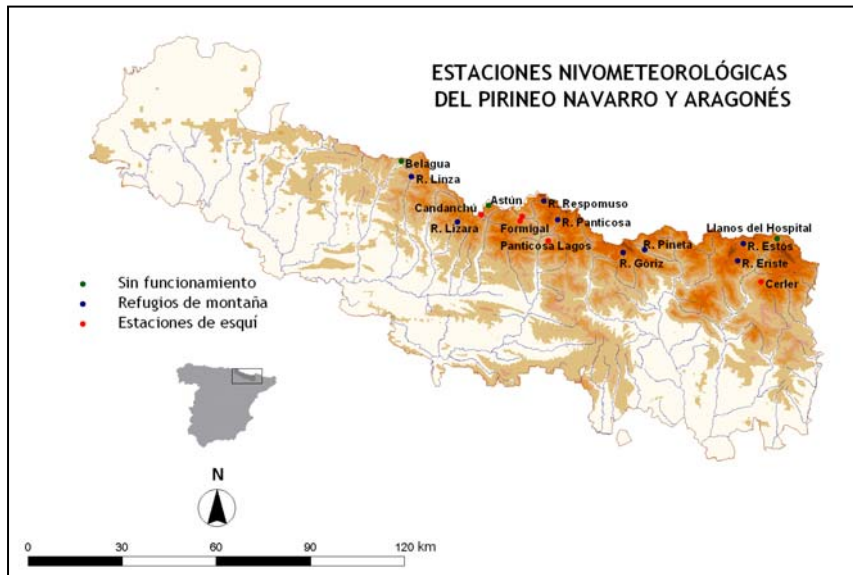


Figura 1: Red de estaciones nivometeorológicas

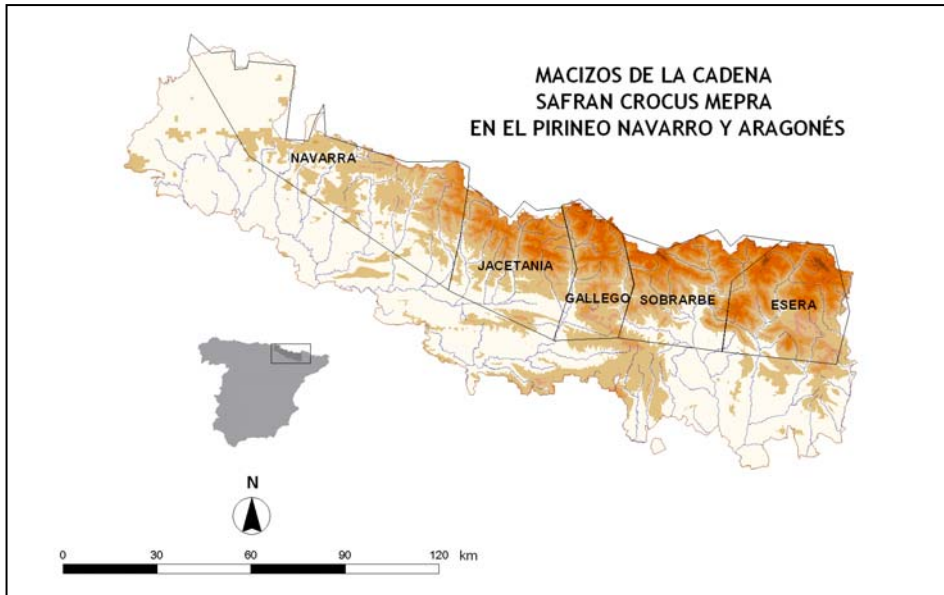


Figura 2 : Macizos definidos por la cadena SCM para el Pirineo navarro y aragonés

<pre> AXXX80 LFPW 051104 Origine : Centre d'Etudes de la Neige (Grenoble) Destinataire: Espagne (Diffusion experimentale)  Enneigement calcule par Safran/Crocus le 05/04/2002 a 6 HTU sur des sites plats et des pentes inclinees a 20 degres  Massif:Navarra Jacetania Gallego Sobrarbe Esera Exp : N P S N P S N P S N P S N P S 0900: 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 1200: 3 3 2 : 0 0 0 : 1 1 1 : 0 0 0 : 0 0 0 1500: 22 22 21 : 10 10 9 : 2 2 2 : 0 0 0 : 4 4 3 1800: 36 27 26 : 17 17 17 : 25 5 4 : 51 16 10 : 27 13 11 2100:114 92 46 : 91 68 22 : 95 75 17 :109 83 21 : 74 50 15 2400:/// /// /// :114 97 61 :127 110 65 :138 120 70 : 94 76 25 2700:/// /// /// :150 122 88 :176 135 98 :196 143 102 :130 94 50 3000:/// /// /// :200 184 126 :208 195 148 :224 205 155 :161 139 81  Massif:Aran Ribagorza Pallars Cerdana Ter-Frese Exp : N P S N P S N P S N P S N P S 0900: 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 1200: 0 0 0 : 0 0 0 : 0 0 0 : 1 1 1 : 0 0 0 1500: 11 12 10 : 1 1 1 : 0 0 0 : 6 7 6 : 0 0 0 1800: 35 17 15 : 22 19 18 : 29 12 11 : 32 18 18 : 47 9 7 2100: 86 62 22 : 78 53 23 : 88 65 26 : 81 57 26 : 93 68 21 2400:103 87 31 : 98 80 26 :103 86 30 : 94 77 34 :137 114 56 2700:136 102 62 :120 105 67 :133 99 62 :125 94 50 :167 130 93 3000:159 140 93 :173 146 105 :156 137 94 :151 127 85 :181 165 123  FIN= </pre>	<pre> &gt;XXX80 LFPW 051134 PAC ORIGINE : CENTRE D'ETUDES DE LA NEIGE (GRENOBLE) DESTINATAIRE: ESPAGNE (DIFFUSION EXPERIMENTALE)  MASSIF:GALLEGO SAFRAN/CROCUS/MEPRA DU 05/04/2002 A 6 HTU AU 06/04/2002 A 6 HTU ADAPTATIONS SAFRAN (MELANGE ANALOGUES/PREVISIONS ARPEGE) A 1800 M LAME D'EAU DU 05/04 A 06 H AU 06/04 A 06 H : 4.MM TEMPERATURE DE L'AIR A 06 H. LE 06/04 : .20C.  RISQUES NATURELS SUR UNE PENTE INCLINEE A 40 DEGRES L= T. FAI, 2= FAI, 3= MOD. ASC, 4= MOD. DES, 5= FORT, 6 T. FORT  05 A 06H(ANA.) 05 A 18H(PRE.) 06 A 06H(PRE.) 06 A 15H(PRE.) EXP : N E S W : N E S W : N E S W : N E S W 1200 : 1 1 1 1 : / / / / : / / / / : / / / / : / / / / 1500 : 1 1 1 1 : / / / / : 1 / / / : / / / / : / / / / 1800 : 1 1 1 1 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 2100 : 1 1 1 1 : 1 1 1 1 : 2 1 2 1 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 2400 : 1 1 1 1 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 2700 : 1 1 1 1 : 1 1 1 1 : 2 1 2 1 : 1 1 1 1 : 2 2 2 2 3000 : 2 1 1 1 : 2 1 1 1 : 2 1 1 1 : 2 2 2 2  RISQUES ACCIDENTELS SUR UNE PENTE INCLINEE A 40 DEGRES L= T. FAI, 2= FAI, 3= MOD, 4= FORT  05 A 06H(ANA.) 05 A 18H(PRE.) 06 A 06H(PRE.) 06 A 15H(PRE.) EXP : N E S W : N E S W : N E S W : N E S W 1200 : 2 2 2 2 : / / / / : / / / / : / / / / : / / / / 1500 : 2 2 2 2 : / / / / : 2 2 2 2 : / / / / : / / / / 1800 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 2100 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 : 2 2 2 2 2400 : 2 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 2700 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 : 4 2 2 2 3000 : 4 4 4 4 : 4 4 4 4 : 4 4 4 4 : 3 4 4 4 : 3 3 3 4  FIN= </pre>
---	---

Figura 3: Salidas alfanuméricas de la cadena SCM

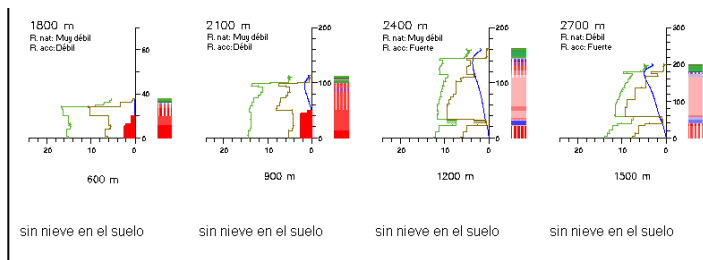


Figura 4: Salidas gráficas de la cadena SCM

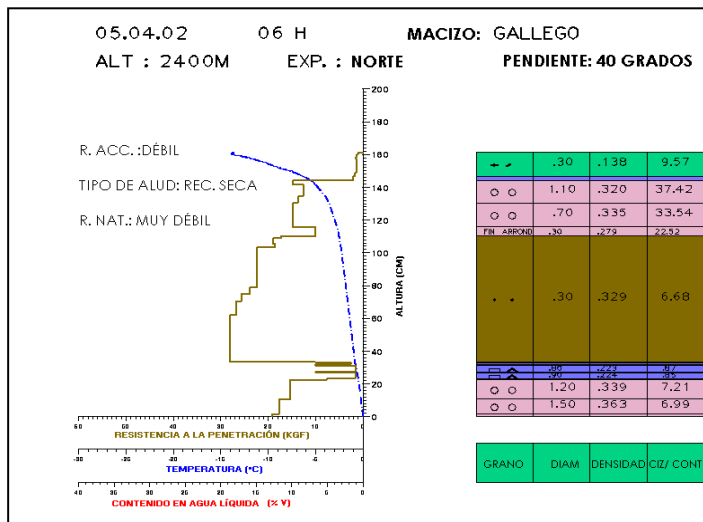


Figura 5: Salidas gráficas de la cadena SCM

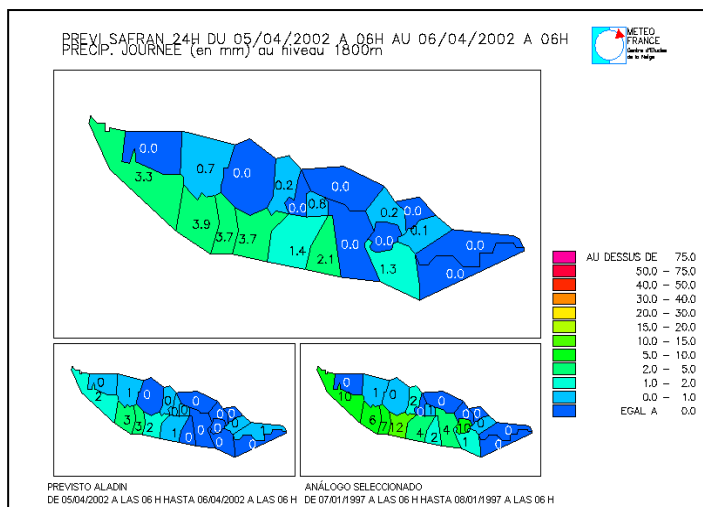


Figura 6: Salidas gráficas de la cadena SCM

## ESCALA EUROPEA DE RIESGO DE ALUDES

Dirigida a los usuarios de la montaña que se mueven fuera de las pistas balizadas y abiertas.

Índice de Riesgo

Estabilidad del manto nivoso

Probabilidad de desencadenamiento

1. Débil

En la mayoría de las pendientes el manto nivoso está bien estabilizado.

En general, los aludes sólo pueden desencadenarse por fuertes sobrecargas (\*\*\*) y únicamente en algunas de las pendientes más propicias (\*) a los mismos. De forma espontánea, sólo pueden producirse coladas o pequeños aludes.

		aludes.
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 sobre todo por sobrecargas fuertes y en algunas pendientes cuyas características se describen habitualmente en el boletín. No se esperan salidas espontáneas de aludes de gran amplitud.
3. Notable	En numerosas pendientes (**) suficientemente propicias, el manto sólo está moderada o débilmente estabilizado.	Posible desencadenamiento de aludes, incluso en ocasiones por sobrecargas débiles, en numerosas pendientes sobre todo en aquellas que se describen habitualmente en el boletín. En ciertas situaciones son posibles algunas salidas espontáneas de aludes de dimensiones medias y a veces grandes.
4. Fuerte	En la mayoría de las pendientes (**) suficientemente propicias a los aludes, el manto nivoso está débilmente estabilizado.	Probable desencadenamiento de aludes, incluso en ocasiones por sobrecargas débiles, en numerosas pendientes sobre todo en aquellas que se describen habitualmente en el boletín. En ciertas situaciones son posibles algunas salidas espontáneas de aludes de dimensiones medias y a veces grandes.
5. Muy fuerte	Inestabilidad generalizada del manto nivoso.	Se esperan numerosos y grandes aludes originados espontáneamente incluyendo zonas con pendientes poco propicias.

(\*). *Pendientes propicias a los aludes son las que reúnen determinadas condiciones de inclinación, configuración del terreno, proximidad de la cresta...*

(\*\*). *Las características de estas pendiente, generalmente, están precisadas en el boletín: altitud, exposición, topografía ....*

(\*\*\*). *Sobrecarga fuerte: por ejemplo, esquiadores agrupados ...*

*Sobrecarga débil: por ejemplo, esquiador o montañero aislado.*

*La expresión **desencadenamiento de aludes** se refiere a los provocados por una sobrecarga, principalmente por uno o varios esquiadores.*

*La expresión **salida espontánea** se refiere a los aludes originados sin acción externa.*

Figura 7: Escala Europea de Riesgo de Aludes