

## CLASIFICACIÓN DEL TERRENO FRENTE AL PELIGRO DE ALUDES EN EL MACIZO DE PEÑALARA

Juan Antonio Fernández-Cañadas López-Peláez<sup>1</sup>, Luis Pantoja Trigueros<sup>2</sup> y María Palomo Segovia<sup>3</sup>  
AEMET

<sup>1</sup>jfernandezcanadasl@aemet.es, <sup>2</sup>lpantojat@aemet.es, <sup>3</sup>mpalomom@aemet.es

**RESUMEN:** En el Sistema Central, la nieve no es un meteoro abundante. Sin embargo, el riesgo de desencadenamiento de aludes no es despreciable debido a las características geocológicas de la cadena. Así, en numerosas ocasiones se han registrado avalanchas con víctimas, incluso en algún caso mortales.

Si bien los aludes en la sierra de Guadarrama son comparativamente menores en tamaño y frecuencia que en otras cordilleras más grandes, también es cierto que, dada la gran afluencia de público de esta sierra, la probabilidad de que estos provoquen daños personales y materiales es mayor que en otras áreas de montaña.

Todas estas consideraciones hacen que el estudio y análisis del desencadenamiento de aludes en la sierra de Guadarrama tenga un alto interés no solo desde el punto de vista teórico sino también en aspectos prácticos como pueden ser el diseño y la elección de itinerarios de montaña en época invernal.

### 1. ÁREA DE ESTUDIO

El macizo de Peñalara forma parte de la sierra de Guadarrama que, a su vez, constituye una de las unidades que componen el Sistema Central. Desde el punto de vista climático se puede encuadrar dentro del clima de alta montaña mediterránea con rasgos continentales (PALACIOS y otros, 2006).

El paisaje actual es el resultado de la acción de la actividad periglacial, glacial, fluvial y nival. Los glaciares se instalaron en las vertientes orientales del macizo a finales de Pleistoceno y es en esas laderas en las que sus huellas son más claras. La asimetría en la distribución de los glaciares ha tenido claras consecuencias en otros procesos como la instalación de la red fluvial, la frecuencia de los procesos de ladera, la distribución espacial de la vegetación, las características del suelo dominante o la acumulación de nieve.

El manto nivoso se caracteriza por su irregularidad inter e intraanual. Así, hay inviernos en los que se producen importantes precipitaciones de nieve que pueden acumular un gran espesor y otros con espesores de nieve muy reducidos. La nieve tiende a acumularse a sotavento de los vientos dominantes, por lo tanto, en el macizo de Peñalara, las acumulaciones más importantes tienden a formarse en la zona de los circos que tienen orientación este (nordeste a sureste).

La discontinuidad espacial en la presencia de la nieve se traduce en una clara asimetría este-oeste en el desencadenamiento de aludes. Los aludes se producen, preferentemente, en vertientes con orientación este (nordeste, este y sureste). Solo se han registrados dos aludes en laderas con orientación norte.

La mayor parte de los aludes ocurren a finales de invierno, en el mes de marzo, momento en el que coinciden las máximas acumulaciones nivosas y el aumento de las temperaturas que favorecen la fusión del manto.

Si consideramos el tipo de aludes, la mayor parte de los aludes observados son de placa (59 %) frente a un 41 % de fusión. No se conocen casos de aludes de nieve reciente pero se tiene constancia de algunos de placa friable que evolucionaron a aludes de nieve polvo. No se conocen tampoco casos de aludes de fondo.

Los aludes en el macizo de Peñalara pueden caracterizarse como pequeños o medianos. Si consideramos su longitud media, el área media afectada y el desnivel medio cubierto podemos concluir que la mayoría no superan los 200 metros de longitud y el área afectada es inferior a 10 000 m<sup>2</sup>. Asimismo, los desniveles cubiertos rara vez superan los 200 metros y suelen afectar a zonas situadas por encima de los 2000 metros de altitud.

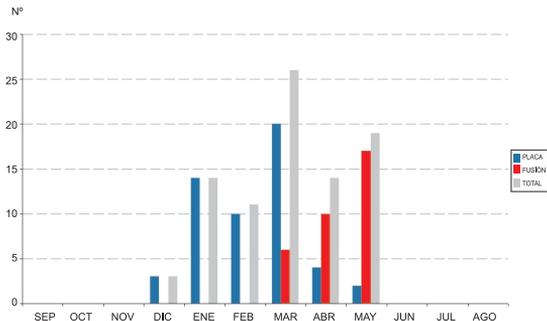


Figura 1. Distribución de aludes observados por meses.

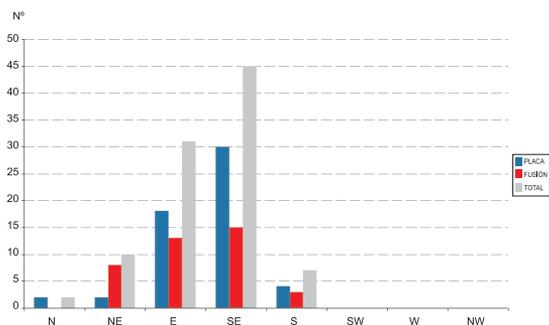


Figura 2. Distribución de aludes observados por orientación de la ladera.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### La clasificación del terreno por su exposición a los aludes

La clasificación del terreno según la Escala de terrenos expuestos a avalanchas (*Avalanche Terrain Exposure Scale* o ATES), fue desarrollada por el Centro de Avalanchas de Canadá (Canadian Avalanche Center) para ayudar a los montañeros a evitar su exposición a los aludes en los parques de Canadá eligiendo los itinerarios más adecuados en cada situación nivológica concreta (CAMPBELL y MARSHALL, 2010; STATHAM y MACMAHON, 2004).

La ATES evalúa un terreno y, en función de criterios geomorfológicos y nivológicos, lo clasifica en tres posibles tipos: simple, desafiante y complejo. Las variables utilizadas para la clasificación son 11 y los criterios de evaluación quedan resumidos en la tabla de la figura 3.

La ATES evalúa un terreno y, en función de criterios geomorfológicos y nivológicos, lo clasifica en tres posibles tipos: simple, desafiante y complejo. Las variables utilizadas para la clasificación son 11 y los criterios de evaluación quedan resumidos en la tabla de la figura 3.

VARIABLES	1. Simple	2. Desafiante	3. Complejo
Pendiente	Generalmente < 30°.	Generalmente pequeñas. Algunas pendientes aisladas > 35°.	Variable. Gran parte del terreno con pendientes > 35°.
Forma de la ladera	Uniforme.	Algunas convexidades.	Irregular, con muchas concavidades y convexidades.
Densidad del arbolado	Bosque denso.	Terreno en general abierto.	Grandes extensiones de terreno abierto o árboles aislados.
Trampas del terreno	Mínimas, algunos arroyos o pequeños barrancos.	Algunas depresiones, barrancos y/o zonas superiores de trayectos de aludes.	Muchas depresiones, acantilados, declives ocultas sobre barrancos, cornisas.
Frecuencia de aludes (aludes:años)	1:30 ≥ tamaño 2	1:1 < tamaño 2 1:3 ≥ tamaño 2	1:1 < tamaño 3 1:1 ≥ tamaño 3
Densidad de zonas de salida de aludes	Poco terreno abierto.	Terreno abierto. Algunas zonas de trayecto de aludes llegan al fondo del valle.	Grandes extensiones de terreno abierto. Muchas zonas de trayecto de aludes llegan al fondo del valle.
Características de las zonas erosionadas por aludes	Áreas aisladas y bien definidas; transiciones suaves y depósitos diseminados.	Transiciones abruptas o depósitos en el fondo de depresiones profundas.	Múltiples zonas convergentes de erosión, zonas de deposición confinada, bajo trayectos con pendientes pronunciadas.
Intersección con zonas de trayecto de aludes	Únicamente con zonas de depósito.	Con una única zona de trayecto o varias separadas entre sí.	Con numerosas zonas de trayecto, generalmente superpuestas entre sí.
Opciones de ruta	Numerosas rutas posibles. El terreno permite múltiples opciones.	Varias opciones con distintos niveles de exposición. Existe la posibilidad de evitar las zonas de trayecto de aludes.	Oportunidades limitadas de reducir la exposición, pasos obligados.
Tiempo de exposición	Nulo o limitado al tránsito por zonas de depósito de aludes.	Exposición ocasional a zonas de salida y trayecto de aludes.	Exposición frecuente a zonas de salida y trayecto de aludes.
Glaciares	No hay glaciares.	Generalmente suave, con bandas aisladas de grietas.	Secciones de grietas con roturas o muy inclinadas, cascadas de hielo o seracs.

Figura 3. Clasificación ATES. (Fuente: CAMPBELL y MARSHALL, 2010).

En esta tabla, cada descriptor aparece en la caracterización de un solo tipo de terreno. Aunque, como el lector puede comprobar, cualquier zona montañosa puede tener características que correspondan a diferentes tipos de terrenos, a la hora de determinar cuál es su tipo se debe dar prioridad por defecto a aquellos descriptors que aparecen escritos en cursiva. Esta prioridad significa que un terreno caracterizado por un descriptor escrito en cursiva quedará automáticamente incluido en el tipo al que caracteriza dicho descriptor o en uno superior. El resto de descriptors tienen menor peso y no gozan de prioridad, pero deben considerarse en combinación con los demás factores. Así, si un terreno presenta, por ejemplo, una frecuencia de aludes anual de dos aludes por año ese terreno queda clasificado como complejo de forma automática ya que esta es la variable limitante.

Existe un modelo simplificado de la ATES, el Modelo de comunicación pública, destinado al usuario no especializado que facilita considerablemente la descripción de los criterios y su aplicación que aparece en la figura 4.

TERRENO	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN ATES
<b>SIMPLE</b>	Exposición a pendientes bajas o terreno forestal. Algunos claros de bosques pueden incluir zonas de llegada de aludes poco frecuentes. Existen muchas opciones para reducir o eliminar la exposición. No se pasa por terreno glaciar.
<b>DESAFIANTE</b>	Exposición a zonas de trayecto de aludes bien definidas, a zonas de salida o a trampas. Hay opciones para reducir o eliminar la exposición seleccionando las rutas adecuadas. Se pasa por terreno glaciar sencillo, pero puede haber peligro por grietas.
<b>COMPLEJO</b>	Exposición a zonas de trayecto de aludes múltiples y superpuestas entre sí, o a grandes extensiones de terreno abierto y en pendiente. Zonas de salida de aludes múltiples y trampas en zonas inferiores. Mínimas opciones de reducir la exposición. Se pasa por terreno glaciar complicado con grandes zonas de grietas o cascadas de hielo.

Figura 4. Clasificación ATES simplificada. (Fuente: STATHAM y MACMAHON, 2004).

## Los evaluadores

Un evaluador es un ábaco que, en función de las características del terreno y de la situación nivel meteorológica del manto, permite estimar, de forma objetiva y sistemática, la peligrosidad de un determinado itinerario en un terreno de montaña, de forma que se puede realizar una clasificación temporal del terreno en tres tipos:

- Verde: terreno que exige precaución normal.
- Amarillo: terreno que exige precaución extraordinaria.
- Rojo: terreno por el que no se recomienda transitar.

Existen distintos evaluadores, los más utilizados son el canadiense y el alemán:

### 1. Evaluador canadiense (CAMPBELL y MARSHALL, 2010; STATHAM y MACMAHON, 2004).

Combina la clasificación del terreno ATES con la información proporcionada por el *Boletín de peligro de aludes* (BPA) en función de la Escala europea de riesgo de aludes (EERA). Tiene la ventaja de utilizar las mismas variables que se utilizan para la elaboración de la clasificación del terreno ATES.

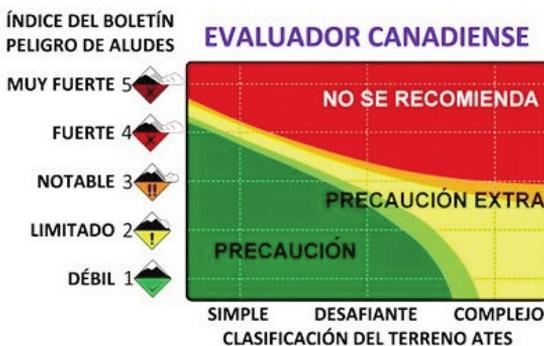


Figura 5. Evaluador canadiense. (Fuente: CAMPBELL y MARSHALL, 2010; STATHAM y MACMAHON, 2004).

Con la ayuda del gráfico evaluador podemos conocer las precauciones que se deben tomar en cada uno de los diferentes tipos de terreno por los que podríamos elegir movernos. Por ejemplo, si el trayecto elegido transcurre por terreno simple no necesitaremos tomar precauciones especiales salvo en los casos en que el nivel de peligro de aludes sea 3 (notable) o superior. Si dicho nivel fuera 4 (fuerte) deberíamos tomar precauciones extras, y si fuera 5 la recomendación sería no transitar por esa ruta. En el caso opuesto, si el

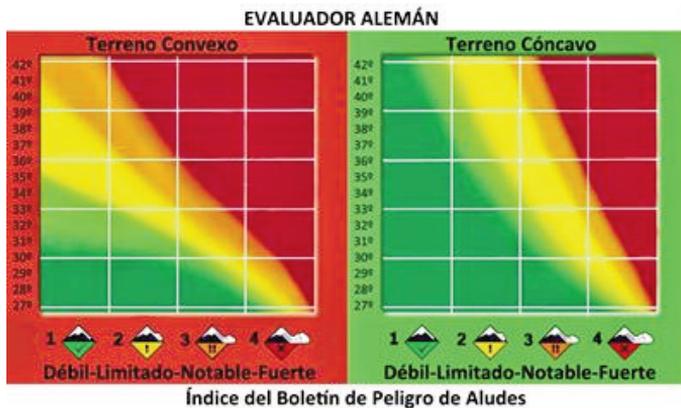


Figura 6. Evaluador alemán. (Fuente: ENGLER, 2012).

la ventaja de no necesitar que haya una clasificación del terreno ATES de la zona por la que queremos transitar. Solo será necesario estimar correctamente la pendiente y la concavidad-convexidad del itinerario para evaluar si se debe o no circular en base al índice proporcionado por el BPA. Por ejemplo, si el trayecto elegido transcurre por pendientes menores de 30°, solo si el índice de peligro del BPA es 4 (fuerte) o mayor estaría desaconsejado transitar, y con índice 3 (notable) deberíamos emplear algún método de reducción de riesgo. Si la pendiente fuera de 40°, ya con índice 3 (notable) o mayor estaría desaconsejado transitar, y con índice 2 (limitado) deberíamos emplear un método de reducción de riesgo.

### Aplicación al macizo de Peñalara

Para aplicar los evaluadores al macizo de Peñalara se ha partido de los mapas de las figuras 7 y 8 en los que se representa la clasificación del terreno por nivel de peligro de aludes en Peñalara (figura 7) y la clasificación ATES del macizo de Peñalara (FERNÁNDEZ-CAÑADAS y otros, 2014) (figura 8).

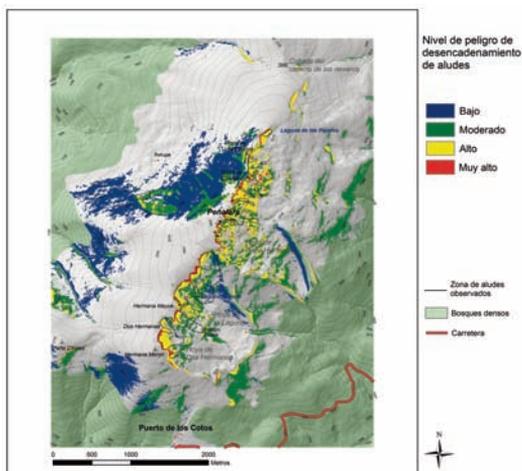


Figura 7. Mapa de clasificación del terreno por nivel de peligro de desencadenamiento de aludes en Peñalara. (Elaboración propia).

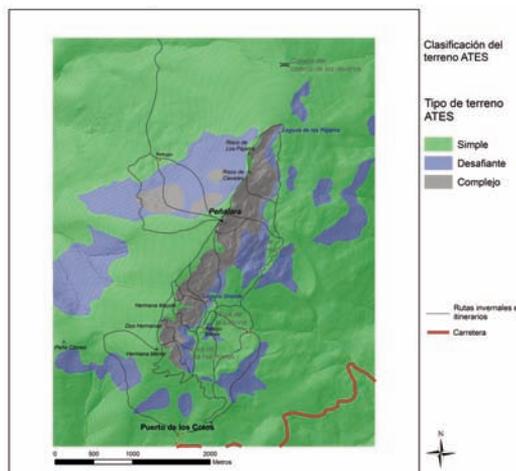


Figura 8. Mapa de clasificación del terreno siguiendo criterios ATES en el macizo de Peñalara. (Elaboración propia).

trayecto considerado discurre por terreno complejo, el evaluador nos recomendaría tomar precauciones extras incluso con el nivel mínimo de peligro de aludes (débil, nivel 1), y con nivel de peligro igual o superior a 3 (notable) nos recomendaría no transitar por esa ruta.

### 2. Evaluador alemán (ENGLER, 2012).

Este evaluador considera únicamente la pendiente del terreno, la concavidad o convexidad de este y la información proporcionada por el Boletín de peligro de aludes (BPA).

El evaluador alemán tiene la

Partiendo de esta información se ha obtenido un conjunto de cinco mapas, uno para cada nivel de riesgo de la Escala europea de riesgo de aludes, obtenidos a partir del evaluador alemán con las modificaciones y matices sugeridos por los datos de aludes observados y los valores de los parámetros del mapa de clasificación del terreno por nivel de peligro de desencadenamiento (figura 7).

En estos mapas el terreno aparece clasificado en tres tipos de zonas:

- zonas con precaución normal (color verde): son aquellas en las que la exposición a los aludes es pequeña y por las que, por tanto, se puede circular sin tomar ningún tipo de medida extra;
- zona de precaución extra (color amarillo): son aquellas en las que la exposición a los aludes ha de ser tenida en cuenta y, por lo tanto, exigen de la toma de ciertas precauciones para minimizar el riesgo;
- zonas no recomendadas (color rojo): son aquellas por las que en ningún caso se recomienda transitar debido a su alta exposición a los aludes.

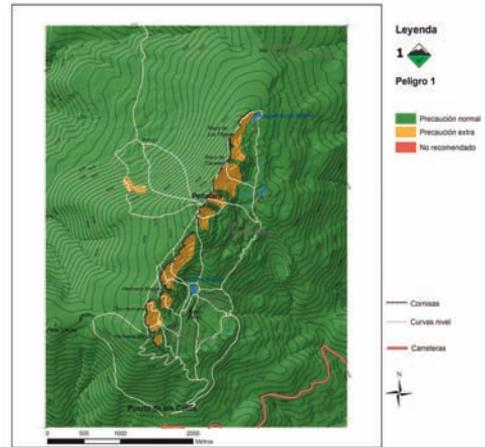


Figura 9. Mapa para BPA con Peligro 1.

### 3. RESULTADOS

En el caso concreto de la aplicación al macizo de Peñalara, la cartografía obtenida se presenta en las figuras 9 a 13.

#### Peligro 1

No existe en el macizo ninguna zona en la que no se recomiende el tránsito.

En los itinerarios que atraviesen las vertientes orientales del macizo, los nichos nivales y las paredes de las cabeceras glaciares se recomienda tomar una precaución extra.

El resto de las zonas no presentan problemas de tránsito.

#### Peligro 2

No existe en el macizo ninguna zona en la que no se recomiende el tránsito.

Se recomienda tomar precauciones extraordinarias en los itinerarios que atraviesen las zonas más escarpadas de las vertientes orientales, paredes de las cabeceras glaciares, nichos nivales,

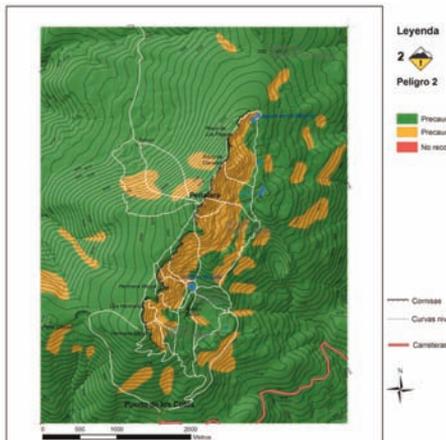


Figura 10. Mapa para BPA con Peligro 2.

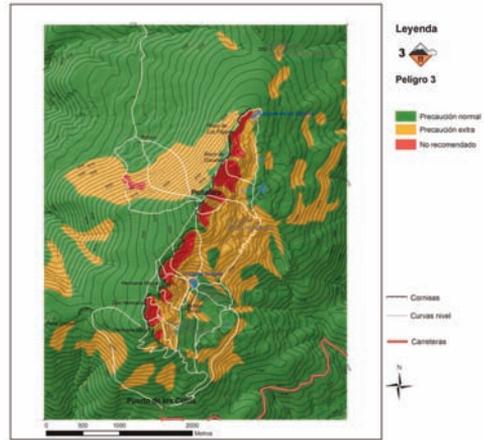


Figura 11. Mapa para BPA con Peligro 3.

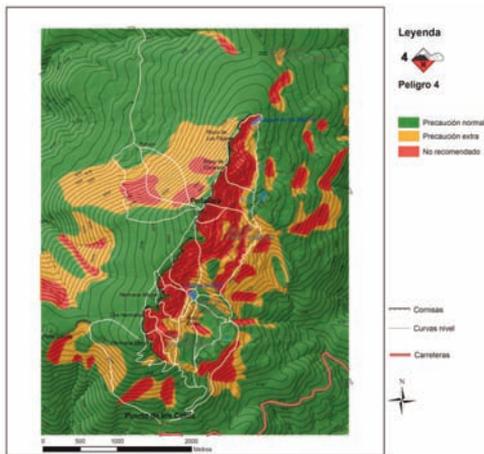


Figura 12. Mapa para BPA con Peligro 4.

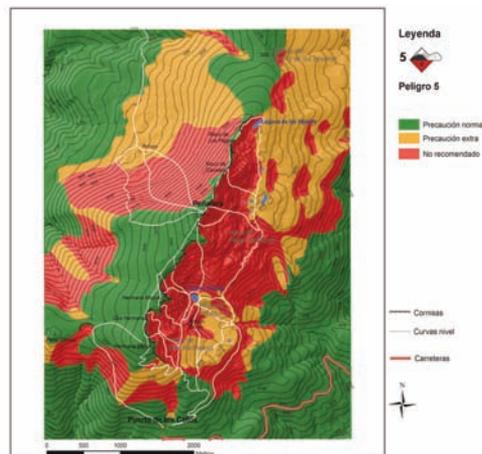


Figura 13. Mapa para BPA con Peligro 5.

vertientes orientales de las morrenas glaciares y otras zonas de pendiente elevada. También precisan una precaución extra los itinerarios que atraviesen las zonas de mayor pendiente de las vertientes norte del macizo.

El resto de las zonas no presentan problemas de tránsito.

### Peligro 3

No se recomiendan los itinerarios que atraviesen las zonas altas de las vertientes orientales del macizo, las paredes de las cabeceras glaciares y los nichos nivales situados inmediatamente debajo de las zonas de cumbre. Tampoco se recomiendan los itinerarios que recorren las zonas de mayor pendiente del circo glaciar situado al norte del macizo.

Es necesario tomar precauciones extraordinarias en los recorridos que atraviesen zonas con pendientes medias en el macizo, las partes bajas de las cabeceras glaciares, las laderas orientales de las morrenas y los pequeños nichos nivales que aparecen en estas laderas así como en todo el circo glaciar situado al norte y en las incisiones torrenciales.

En el resto de las zonas solo hay que tomar precauciones ordinarias.

### Peligro 4

No se recomiendan itinerarios que atraviesen zonas con pendiente media y alta del macizo, como las paredes de las cabeceras glaciares, los nichos de nivación, las incisiones torrenciales y las laderas orientales de las morrenas glaciares.

Hay que tomar precauciones extraordinarias en los recorridos que presenten pendientes medias y medias-bajas.

No es necesario tomar precauciones extraordinarias en los itinerarios que recorran zonas llanas o con pendientes bajas, como los fondos de las hoyas glaciares o las zonas en las que la acumulación de nieve es menor como las zonas de cumbre situadas ligeramente al oeste de la línea de cumbres y las vertientes sur de las morrenas terminales.

### Peligro 5

No se recomienda el tránsito por itinerarios que atraviesen las paredes glaciares, las morrenas, tanto terminales como de retroceso, los nichos de nivación y las incisiones torrenciales.

Es necesario tomar precauciones extraordinarias en los recorridos que discurran por zonas con pendiente media y media-baja, los fondos de las hoyas glaciares y las zonas con menos pendiente de las vertientes de las morrenas.

Los recorridos en los que solo hay que tomar precauciones ordinarias se limitan a aquellos en los que las acumulaciones nivosas son pequeñas, como las zonas bajas del macizo, las vertientes orientadas al sur y, en las zonas altas, las laderas orientadas al oeste y con poca pendiente.

#### 4. CONCLUSIONES

En la sierra de Guadarrama la ocurrencia de aludes no es un fenómeno descartable.

El macizo de Peñalara, que forma parte de la sierra de Guadarrama, recibe durante el invierno un elevado número de visitantes que desarrollan distintas actividades deportivas (montañismo, escalada, senderismo, esquí de montaña) o lúdicas en su territorio. La exposición de este público a la ocurrencia de aludes depende de dos variables, las características del terreno y del grado de evolución del manto de nieve existente.

Los mapas de clasificación del terreno en función de las precauciones que hay que tomar frente al desencadenamiento de aludes permiten determinar las medidas que son necesarias al transitar por un espacio concreto que se encuentra expuesto a un peligro dado de desencadenamiento. De esta forma, la consulta de estos mapas facilita la toma de decisiones en lo que respecta al diseño de un itinerario, el material adecuado para el desarrollo de una actividad o la pertinencia de su realización.

La elaboración de estos mapas es un proceso dinámico ya que se realizan a partir de factores (climatológicos, nivológicos, geomorfológicos) que son cambiantes. Esto exige su revisión periódica.

Los sistemas de información geográfica facilitan la creación de cartografías de estas características de gran aplicación práctica.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CAMPBELL, C. y P. MARSHALL, 2010. Mapping exposure to avalanche terrain. Canadian Avalanche Center. [Consulta: enero 2015]. Disponible en: <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/442>.
- ENGLER, M., 2012. Der schnelle Risikocheck zur Beurteilung der Lawinengefahr [Consulta: junio 2015]. Disponible en: <http://www.av-snowcard.de/>.
- FERNÁNDEZ-CAÑADAS, J. A., 2014. Los aludes de nieve en el Macizo de Peñalara. [Consulta: enero 2015]. Disponible en: [http://www.aemet.es/es/conocermas/publicaciones/detalles/NT\\_14\\_AEMET](http://www.aemet.es/es/conocermas/publicaciones/detalles/NT_14_AEMET).
- PALACIOS, D. y N. ANDRÉS, 2006. El significado geográfico de la nieve en la dinámica natural de la Sierra de Guadarrama. Madrid, Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña de la Universidad Complutense de Madrid. [Consulta: enero 2013]. Disponible en: <https://portal.ucm.es/web/gfam/recursos>.
- STATHAM, G. y B. MACMAHON, 2004. Avalanche terrain exposure scale. (v.1-04). Parks Canada Agency. [Consulta: enero 2015]. Disponible en: <http://www.sunrockice.com/docs/Avalanche%20Terrain%20Exposure%20Scale%202007.pdf>.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Andrés Chazarra, a Esther Miquel y a Juanjo Rodríguez sus aportaciones y su apoyo.