



Evaluación y cartografía del riesgo de aludes en el camino PR-PNPE 21 de acceso a la Vega de Urriellu, Picos de Europa (Noroeste de España)

Assessment and mapping of snow avalanche risk on the walking track to access to Vega de Urriellu, Picos de Europa (NW of Spain)

Vada, J.A.⁽¹⁾; Frochoso, M.⁽²⁾; Vilaplana, J.M.⁽¹⁾

(1) Grup RISKNAT, Dept. de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona.

(2) Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander

Resumen

El creciente interés en espacios naturales de áreas de montaña vinculado a actividades de ocio invernales hace conveniente la elaboración de estudios que evalúen cuantitativamente el riesgo de aludes. En el presente trabajo se han aplicado varias metodologías destinadas a localizar y delimitar las zonas de aludes y valorar el riesgo a partir de un Índice de Riesgo de Aludes (IRA) en una de las rutas de montaña más frecuentadas de los Picos de Europa, el camino de acceso a la Vega de Urriellu desde el Collado Pandébano, el PR-PNPE 21. Una vez definidas las zonas de aludes según criterios geomorfológicos, de vegetación e históricos se ha estimado la frecuencia de los aludes a partir de la observación de secuencias temporales de fotografías aéreas, observaciones de campo, encuesta a la población y pendiente media del recorrido de los aludes. En cuanto al cálculo del riesgo se han planteado varios escenarios probables en relación a la variabilidad de los datos tenidos en cuenta en el análisis del riesgo, obteniendo como resultado un IRA en general bajo para el conjunto de la temporada invernal, moderado en determinadas situaciones de exposición prolongada al peligro, y alto en la Semana Santa debido al especial tránsito de visitantes. Además, se propone la información al usuario como medida mitigadora del riesgo.

Palabras clave: Zona de aludes; Frecuencia de aludes; Exposición al riesgo; Riesgo de aludes; Picos de Europa.



Abstract

The growing interest in natural mountain areas related to winter recreation activities requires the elaboration of studies which quantify the risk of avalanches. In this work the main goal has been to assess the avalanche hazard and associate risk from an Avalanche Hazard Index (AHI) in one of the most popular mountain routes in Picos de Europa, the access walking track to Vega de Urriellu from Collado Pandébano, the PR-PNPE 21. Firstly, it has been necessary to locate and identify the avalanche path crossing the mountain route using different information: morphological, vegetation and historical. The frequency of the avalanches was estimated from the comparison of temporal sequences of aerial photographs, field observations, survey population and average slope of avalanche path. As regards to the risk assessment, several possible scenarios in relation to the variability of the data have been considered. The AHI obtained by this procedure is generally low for the entire winter season, moderate in certain situations when the factor exposure is high, and finally this Index is high at Easter due to the special visitors traffic. Also, information to the user is proposed as a means of mitigating risk.

Keywords: Avalanches path, Frequency of avalanches, Risk exposure, Avalanches risk, Picos de Europa.

1. Introducción

Las áreas y rutas de montaña se están convirtiendo en espacios cada vez más transitados debido al creciente interés social en los entornos naturales y la mayor accesibilidad de la población a la práctica de deportes de montaña. Muchas de estas rutas transcurren por zonas afectadas por avalanchas de nieve, lo que hace recomendable desarrollar estudios que permitan localizar el peligro y analizar el riesgo que asumen sus usuarios. Como señalan Cappabianca *et al.* (2008) excepto en el caso de Islandia los mapas de riesgo de aludes en Europa generalmente están basados en la valoración del peligro sin una evaluación explícita de las posibles consecuencias sobre los elementos expuestos, no reflejando por tanto su objetivo explícito, el riesgo. Recientemente, el *Govern de la Generalitat de Catalunya* ha aprobado el *Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya (Protecció Civil de Catalunya [en línea])* el cual establece el marco orgánico y funcional para afrontar todas las emergencias por aludes que se produzcan dentro del ámbito territorial de Catalunya a escala municipal, incluyendo en el análisis del riesgo un estudio de elementos vulnerables: carreteras, vías de comunicación y servicios básicos.

El presente trabajo pretende identificar las zonas probables de aludes en una de las rutas de alta montaña más transitadas del Macizo Central de los Picos de Europa, el camino de Pandébano a la Vega de Urriellu (PR-PNPE 21) que da acceso al refugio de montaña Delgado Úbeda. Una vez delimitadas estas zonas el objetivo será evaluar cuantitativamente, mediante un índice, el riesgo de aludes a que están sometidos quienes lo transitan, y detectar aquellos tramos y sectores de camino con mayor riesgo.

1.1. Estudios previos

El estudio y desarrollo de metodologías que permiten analizar el riesgo de aludes se viene realizando desde hace décadas en países y áreas de montaña donde las avalanchas han ocasionado importantes daños a lo largo de su historia, poniendo en evidencia su necesidad. En este sentido, un hito fundamental en el estudio del fenómeno a nivel mundial lo constituye el caso de Canadá, donde en 1899 en Roger Pass, Columbia Británica, un alud provocó 7 víctimas mortales y destruyó la estación de tren, volviéndose a repetir la tragedia en 1910 causando esta vez la muerte a 62 personas (Schleiss, 1990).

Mientras que en la delimitación de zonas probables de aludes y análisis de la peligrosidad existen multitud de trabajos, el número de ellos en relación a la evaluación cuantitativa del riesgo es mucho menor, refiriéndose en gran parte a vías de comunicación. Con respecto a la evaluación del riesgo de aludes para el tráfico de vehículos, los trabajos anteriores se han basado principalmente en la consideración del *Avalanche Hazard Index (AHI)* y la *Probability of Death for Individuals (PDI)*. El *AHI* fue desarrollado en 1974 para carreteras de la Columbia Británica, Canadá (Avalanche Task Force, 1974). Posteriormente fue utilizado en otras vías de comunicación de Canadá (Shaerer, 1989; Stethem *et al.*, 1995), en los Estados Unidos de América (Armstrong, 1981) y en Nueva Zelanda (Fitzharris y Owens, 1980; Hendrikx *et al.*, 2006). Owens y Fitzharris (1989) modificaron dicho índice para evaluar el riesgo de aludes en dos rutas de montaña para excursionistas del área de Fiorland, Nueva Zelanda.

Schaerer (1989) define el *AHI* como el número que refleja la severidad del peligro de avalancha en el tránsito de vehículos para el conjunto de una vía de comunicación o para un segmento de vía afectado por un alud individual. En el presente trabajo, teniendo en cuenta que el *AHI* considera la capacidad de un alud de producir daños sobre elementos vulnerables que se desplazan en un camino, lo denominaremos Índice de Riesgo de Alud (IRA).

Hasta el momento, los trabajos desarrollados en la Cordillera Cantábrica, y en Picos de Europa, en relación al estudio de los aludes de nieve son muy escasos y han sido desarrollados mayoritariamente con un enfoque de tipo morfológico (Ej: Castañón, 1984; González, 2006; González y Serrano 2010a, 2010b). Desde una perspectiva del riesgo el Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio de la Universidad de Oviedo (INDUROT) realizó un estudio en el que incluyen un mapa de susceptibilidad por aludes de nieve a escala regional en Asturias (Marquínez *et*

al., 2003; Wozniak y Marquínez, 2004). Los criterios tenidos en cuenta en la elaboración del mapa de susceptibilidad fueron de tipo geomorfológico y de cubierta vegetal, modelos numéricos de zonas de salida y llegada, y el modelo de máximo alcance propuesto por Lied y Toppe (1989). Como resultado se obtuvieron cinco clases de susceptibilidad relativa: “muy alta, alta, media, baja y sin riesgo”; validando los resultados con datos históricos de encuesta y prensa regional. Además se hizo una aproximación al riesgo de manera no cuantitativa, según la distribución de las edificaciones e infraestructuras (carreteras y pistas de montaña). Posteriormente, Fernández y Villar (2006) realizaron un estudio en la Cuenca Alta del río Duje en el cual se analizó la susceptibilidad del territorio al desencadenamiento de aludes teniendo en cuenta los siguientes criterios: altitud, pendiente, orientación y vegetación. Se obtuvieron cuatro clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta. En él además aparecen cartografiados los aludes producidos durante las temporadas 2003/04 y 2004/05 mediante uso de técnicas SIG y fotointerpretación.

1.2. El área de estudio

El PR-PNPE 21 constituye una de las rutas de montaña más emblemáticas del Macizo Central de los Picos de Europa, conjunto montañoso situado íntegramente en la vertiente norte de las Montañas Cantábricas Centrales, a unos 20 km del mar Cantábrico. Su apertura tiene lugar en 1986, hecho que desbancó el hasta entonces tradicional acceso norte a la Vega de Urriellu desde el pueblo de Bulnes por la Canal de Balcosín. El segmento de PR-PNPE 21 objeto de estudio salva un desnivel de 835 m desde la Portiella del Vao Liesprón (1.125 m) hasta el refugio Delgado Úbeda (1.950 m), y una distancia aproximada de 6 km que en condiciones estivales se recorre en unas 2 h 30 min (Fig. 1). En su primer tramo, el camino presenta dos alternativas utilizadas indistintamente, una que pasa por el Canero y otra que sale de la misma Portiella del Vao

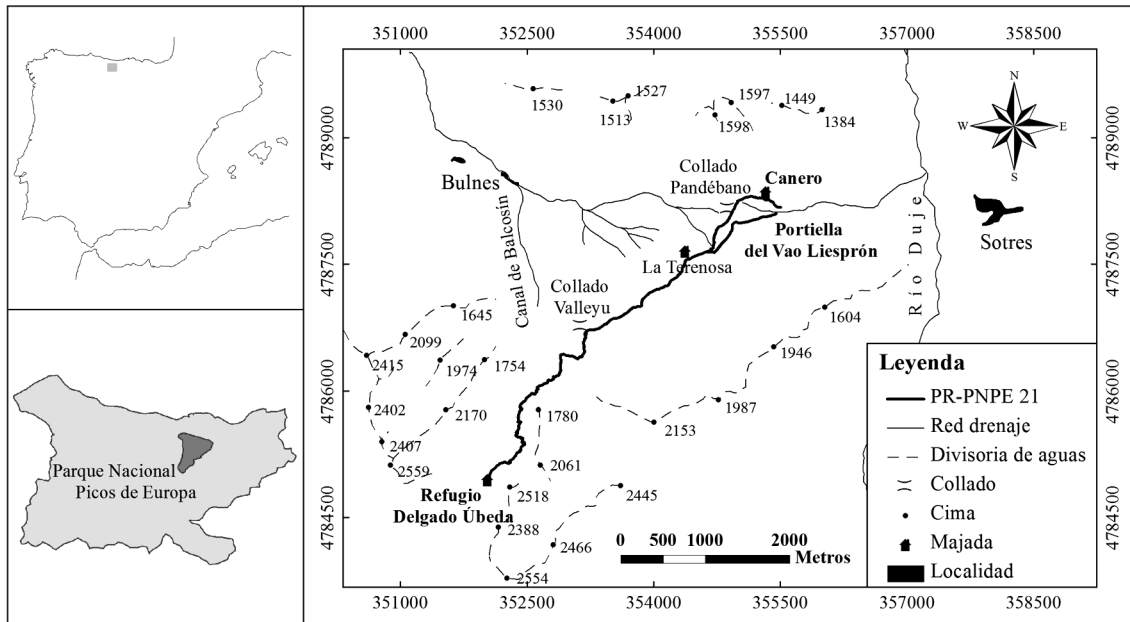


Figura 1. Localización del área de estudio y camino de acceso a la Vega de Urriellu desde el Collado Pandébano (PR-PNPE 21) dentro del Parque Nacional de Picos de Europa, norte de la Península Ibérica.

Figure 1. Location of study area and access road to Vega de Urriellu from Collado Pandébano (PR-PNPE 21) within the National Park Picos de Europa, northern Iberian Peninsula.

Liesprón, concurriendo ambas al llegar a La Terenosa. A partir de aquí, discurre de forma casi paralela por encima del límite supraforestal hasta Collado Valleyyu, momento en el que se adentra en el macizo para concluir en el refugio Delgado Úbeda (Fig. 1). La existencia de tramos expuestos y el cruce con numerosas zonas de alud han provocado graves incidentes a las personas que lo transitaban. Históricamente existía aquí una senda de itinerario similar frecuentemente transitada por pastores y ganado (comunicación oral de Tomás Fernández). Se encuentra dentro del Parque Nacional de los Picos de Europa (Fig. 1) declarado en 1995 (antes Parque Nacional de la Montaña Covadonga del macizo de Peña Santa desde el 22 de Julio de 1918), el primero en cuanto a número de visitantes en territorio peninsular con más de 1.800.000 visitas en 2009, y unas 312.000 en el sector de Cabrales al cual pertenece el área de estudio (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

El relieve del área está guiado por la estructura geológica, en la que las calizas carboníferas, masivas y de gran potencia, han sido acortadas disponiéndose en escamas de rumbo genérico E-O. El frente de las escamas es escarpado y mira hacia el sur, mientras que sus dorsos se desarrollan con vertientes regulares de fuerte pendiente que caen hacia el norte. La morfología abrupta actual se debe fundamentalmente al retoque y modelado ejercido por los glaciares pleistocenos y la karstificación. El resultado son zonas deprimidas y encajadas que en algunos casos dificultan la canalización de las aguas de escorrentía, *jous*, mientras que en otros la facilitan, *canales*, siendo estas últimas además áreas de circulación de aludes, desprendimientos de rocas canalizados y corrientes de derrubios entre otros. Estas zonas alternan con otras más planas derivadas de un menor efecto erosivo. Las altitudes máximas están por encima de los 2.400 m (Fig. 1).

El clima está caracterizado por una fuerte influencia marítima, con precipitaciones abundantes que en la zona de cumbres pueden superar los 2.500 mm anuales (Muñoz, 1982) y con frecuentes oscilaciones térmicas en torno a los 0°C, principalmente durante la temporada invernal (noviembre - mayo). Episodios de abundantes nevadas (>100 cm acumulados a partir de 1.000 m) vinculadas a entradas de masas de aire frío en altura de componente norte tienen lugar varias veces por temporada, pudiendo acumular e incluso superar de manera excepcional los 3 m de espesor a 1.000 m de altitud. Por el contrario, las situaciones de componente sur, que dan lugar a un efecto *foehn* sobre la vertiente cantábrica, generan subida de temperaturas y fusión repentina de la cubierta nival (Rasilla, 1999) generando en ocasiones episodios de aludes como el acontecido en marzo de 2005. Los datos que se recogen en el Programa ERHIN (1994, 1995, 1997, 1998) muestran una distribución y espesor del manto nivoso variables según la altitud, orientación, morfología del terreno y época del año desde 1991 a 1995 en los Picos de Europa. A finales de abril comienzos de mayo es cuando se registran los espesores máximos de la temporada. En esta época a 2.200 m el manto nivoso tiene un espesor medio de entre 130-260 cm, mientras que a 1.800 m varía de 30 a 120 cm.

La vegetación se caracteriza, de forma general, por la presencia de bosques de hayas (*Fagus sylvatica*) en el área de Bosque Pandébano y Monte La Varera hasta aproximadamente los 1.400 m. Por encima de esta altitud, la inexistencia del piso forestal subalpino de coníferas en la montaña cantábrica, hace que hasta alrededor de 2.100 m la vegetación sea de tipo herbácea y subarborescente, con predominio del matorral y pastizal de montaña.

El paisaje se encuentra antropizado por el uso ganadero que lo ha modelado, incluso por encima del límite superior del bosque, de manera continuada durante siglos. Encontramos

gran número de cabañas tradicionales, *majadas*, diseminadas por el territorio en zonas de suaves pendientes, rodeadas de prados de pasto y siega. Debido a una menor presión antrópica y ganadera desde los años 50-60 del siglo XX, la superficie arbolada está aumentando en extensión (Fernández-Pello *et al.*, 1988; González, 2006; Ruiz *et al.*, 2008).

2. Metodología

Para la localización del peligro se ha elaborado un mapa en el que se han identificado las zonas probables de alud (CEMAGREF, 1981; Furdada *et al.*, 1995; Furdada, 1996; Oller *et al.*, 1998). El IGC [en línea] define el Mapa de Zonas de Aludes (MZA) como un mapa temático en el que se representan las áreas propensas al desencadenamiento de aludes a partir principalmente de las características del terreno y las zonas susceptibles de ser afectadas en su trayecto y llegada. En ningún caso se representa la intensidad ni la frecuencia del fenómeno. Se entiende por Zona de Alud (ZA) el área en la que a lo largo del tiempo se han producido desencadenamientos de aludes de diferentes dimensiones. Su límite viene dado a partir del máximo alud que permiten determinar los indicios existentes actualmente (geomorfológicos, de vegetación e históricos). En caso de ausencia de indicios de vegetación e históricos las probables ZA se definen a partir de sus características geomorfológicas. Las fases definidas para elaborar el MZA son tres: fotointerpretación, interpretación de campo y encuesta a población.

En la fase de fotointerpretación las ZA han sido definidas con ayuda de un Sistema de Información Geográfico (ArcGis 9.2.), observación estereoscópica de series temporales de fotografía aérea (vuelo americano, 1957 e IGN, 1986; y vuelos del Principado de Asturias, 1970, 2003) y análisis de ortofotos (Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias, 1995-96, 2007). La base cartográfica empleada ha sido el Mod-

elo Digital de Elevaciones (MDE) del Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias (2005) con una resolución de 5 x 5 m, a partir del cual se han obtenido diversas salidas (mapa de pendientes y altimetría con curvas de nivel cada 5 m). Los parámetros tenidos en cuenta en la delimitación de las ZA han sido: cota, pendiente, orientación, morfología del terreno, rugosidad, vegetación y construcciones tradicionales.

En la fase de interpretación de campo se ha verificado la cartografía realizada durante la fotointerpretación, además se ha incorporado nueva información que ha permitido definir mejor las ZA. La observación de la morfología del terreno con ausencia y presencia de nieve ha permitido acabar de delimitar las ZA, sobretodo en la zona de salida y trayecto de los aludes. En cuanto a la zona de detención se ha efectuado un análisis de la vegetación existente en 1957 según la fotografía aérea, además de realizado un inventario de las construcciones tradicionales existentes (cabañas y refugios para animales).

La encuesta a la población ha sido realizada a nueve personas, con edades comprendidas entre 50 y 90 años, vecinos de las cercanas localidades de Sotres y Bulnes (Fig. 1), y a personas que desarrollan su actividad profesional en la montaña invernal (pastores, guardas del refugio Delgado Úbeda y del Parque Nacional, y guías de montaña). Para recabar la información se ha elaborado un modelo de encuesta en el que además de aparecer los datos personales del encuestado se recoge información referente a los aludes (topónimo de canal, última observación, frecuencia, cota de salida, cota de llegada, espesor previo acumulado, situación meteorológica, daños ocasionados...). La información obtenida se ha incorporado en una base de datos para su posterior análisis y contraste.

Una vez elaborado el MZA se ha procedido a la evaluación cuantitativa del riesgo de aludes a partir del Índice de Riesgo de Alud (IRA) es-

tablecido por la *Avalanche Task Force* (1974) y modificado por Owens y Fitzharris (1989) y Schaerer (1989). Dicho índice ha permitido determinar la gravedad de la problemática de los aludes en el PR-PNPE 21, así como localizar las partes del camino que presentan mayor riesgo, con la finalidad de llevar a cabo respuestas apropiadas de mitigación del riesgo. Los factores que se han tenido en cuenta en el análisis del riesgo son:

- Intensidad de los aludes.
- Frecuencia de ocurrencia de los aludes.
- Número de zonas probables de encuentro alud/persona.
- Tiempo de exposición de los montañeros a la probabilidad de alud.
- Número de usuarios del camino.

3. Resultados

3.1. Elaboración del MZA

La delimitación de las ZA se ha realizado teniendo en cuenta los criterios que a continuación se detallan:

Cota: La encuesta a la población y la observación directa sitúan la zona de salida de los aludes en torno a los 1000 m. Por tanto, todas las altitudes del área de estudio son susceptibles al desencadenamiento de aludes.

Pendiente: En base a Oller *et al.* (1998), posteriormente modificado en la elaboración del MZA de *Catalunya*, y McClung y Schaerer (1996) las pendientes se han clasificado de forma general en los siguientes intervalos: <8, 8-18, 18-25, 25-35, 35-45, >45°; a excepción de aquellos sectores en los que el PR-PNPE 21 discurre por zonas con una pendiente superior a 45°, en los cuales se han considerado pendientes de hasta 60° (Tabla 1). La mayor parte del área situada por encima del segmento de PR-PNPE 21 objeto de estudio en altitud, tiene una pendiente muy favorable (entre 25°-60°) al desencadenamiento de aludes de diferentes frecuencias.

Tabla 1. Intervalo de pendientes en zona de inicio, trayecto y llegada. Basado en Oller *et al.* (1998) y McClung y Schaerer (1996)

Table 1. Slope inclination intervals in the starting zone, track zone and runout zone. Based on Oller *et al.* (1998) and McClung and Schaerer (1996).

Intervalo pendiente (°)	Interpretación
*45-60	Purgas de nieve reciente que pueden provocar sobre las personas peligro de caída en tramos expuestos del camino.
>45	Purgas de nieve reciente en pequeñas cantidades.
35-45	Pendiente muy favorable al desencadenamiento de aludes de alta frecuencia.
25-35	Pendiente favorable al desencadenamiento de aludes con frecuencia media-baja.
18-25	Pendientes típicas de zonas de trayecto. Sólo en pendientes próximas a los 25° pueden tener lugar desencadenamientos de aludes de nieve muy húmeda.
8-18	Los 18° son el inicio de la parada de los aludes pequeños o aludes de nieve húmeda.
<8	Las pendientes inferiores a los 8° son el inicio de la parada de los grandes aludes.

Orientación: Se han considerado favorables todas las orientaciones debido a la acumulación de nieve reciente en momentos de calma o viento flojo, principalmente las norte y oeste, sobreacumulaciones de nieve a sotavento o el metamorfismo del manto asociado a la acción de los agentes meteorológicos.

Morfología: Las áreas cóncavas acumulan mayor cantidad de nieve mientras que las convexas pueden favorecer la inestabilidad del manto nivoso al ser puntos de tracción. En zonas canalizadas el recorrido de los aludes es mayor mientras que en vertientes planas el recorrido es mucho menor.

Rugosidad: La existencia de anclajes naturales es efectiva hasta que quedan cubiertos por el

manto nivoso. Las superficies lisas cubiertas o no por vegetación, la pradera alpina y las vertientes regulares rocosas son más propensas al desencadenamiento de aludes.

Vegetación: La observación de secuencias de fotografías aéreas ha permitido conocer la evolución del bosque en los últimos 50 años, observándose una clara recuperación del mismo hasta 2003. Este hecho ha permitido una primera aproximación a las distancias de máximo alcance por alud observables en la fotografía de 1957.

Construcciones tradicionales: Su distribución según si presentan indicios de haber sido afectadas o no por aludes (Fig. 2), muestra una relación directa con la ocurrencia de episodios y eventos avalanchosos de grandes dimensiones. De este modo, mientras que en zonas deprimidas y más cercanas a las áreas de origen de los aludes coincidentes con su trayectoria se encuentran cabañas con claros síntomas de afección, en las zonas más distales, sobreelevadas y/o al abrigo de elementos naturales que ofrecen protección, tales como elevaciones o escarpes del terreno, las cabañas no han sido afectadas por aludes, aunque en muchos casos también estén derruidas debido al abandono de las prácticas ganaderas.

La presión antrópica hasta mediados del siglo XX hace que la presencia de árboles de edad avanzada se limite a pequeños reductos y ejemplares individualizados que presentan indicios de afectación por aludes, por lo que la interpretación de campo destinada a definir las zonas de máximo alcance de los aludes se ha centrado en el análisis (estado, grado de afectación, colonización por vegetación, etc.) de las numerosas construcciones tradicionales. Durante las jornadas de campo se ha podido constatar la existencia de cabañas y refugios para animales no identificados en la fase de fotointerpretación, así como la inexistencia de algunas construcciones por tratarse de elementos naturales (bloques de piedra y roquedo). En total se

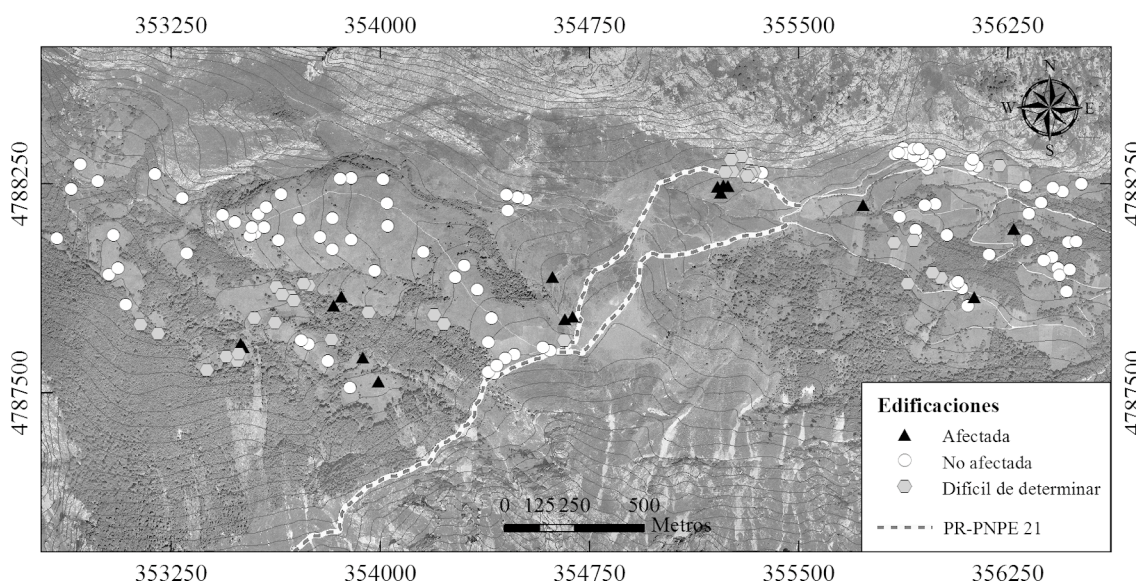


Figura 2. Localización y afección por alud de las construcciones tradicionales en el área del Monte La Varera y Bosque Pandébano a partir de observaciones de campo y encuesta a la población.

Figure 2. Location and avalanche disease of traditional buildings in the area of Monte La Varera and Bosque Pandébano from field observations and survey of the population.

han inventariado 158 construcciones tradicionales (Fig. 2), la mayoría de ellas *majadas* a excepción de dos refugios para animales, que se corresponden con al menos dos generaciones: anteriores al siglo XX y de la 1ª mitad del siglo XX. Algunas de ellas presentaban indicios claros de afección por aludes debido a la morfología lobular del depósito asociado a ellos o la dirección del derrumbe, e incluso se encontraron restos de cabañas afectadas por el episodio de aludes de marzo de 2005, las cuales ya habían sido afectadas con anterioridad. En aquellos casos en los que los restos de construcciones se limitaban a formas cuadradas o rectangulares de piedra en el suelo, sin muros, en ocasiones colonizadas por árboles que incluso podían ser maduros, su interpretación se hacía más difícil, hecho que requería corroborarlas mediante encuesta.

En cuanto a la encuesta a la población se ha obtenido información en relación a 53 aludes. Todos los encuestados afirman haber visto o escuchado a terceras personas que los aludes

llegan hasta el fondo de valle e incluso pueden remontar la vertiente contraria. La memoria de los lugareños muestra una clara tendencia a recordar con relativa exactitud eventos de aludes extremos causantes de importantes daños que afectan tanto a la masa forestal como a la actividad ganadera. Tal es el caso del alud de *El Reguerón*, del 11 de enero de 1945, el cual arrasó dos cabañas, una de las cuales estaba ocupada por un pastor y su ganado en el momento del alud. En cuanto a aludes más frecuentes los encuestados que proporcionan mayor volumen de información son aquellos que desarrollan su actividad profesional en la montaña. En este caso, los daños producidos afectan tanto a la parte superior del bosque como al PR-PNPE 21, causando incidentes a las personas que lo transitan tal y como ocurrió a un grupo de quidores a su paso por Cuesta Sierra el 9 diciembre de 1990, siendo arrastrado hasta el mismo Monte La Varera. A pesar de la valiosa información aportada al estudio, la encuesta a la población presenta limitaciones derivadas de la falta de precisión en el origen

topográfico del alud en el caso de aludes extremos, además de proporcionar una perspectiva histórica que excepcionalmente supera los 100 años.

En aquellas zonas donde la actividad agraria es más intensa, Bosque Pandébano y Monte La Varera, la información proporcionada por la encuesta contrastada con la información

obtenida de la fotointerpretación e interpretación de campo han sido el criterio principal a la hora de establecer las distancias de máximo alcance de los aludes. Sin embargo, en aquellos sectores con ausencia de vegetación arbórea y construcciones tradicionales el criterio principal ha sido el geomorfológico. En el MZA resultante se ob-

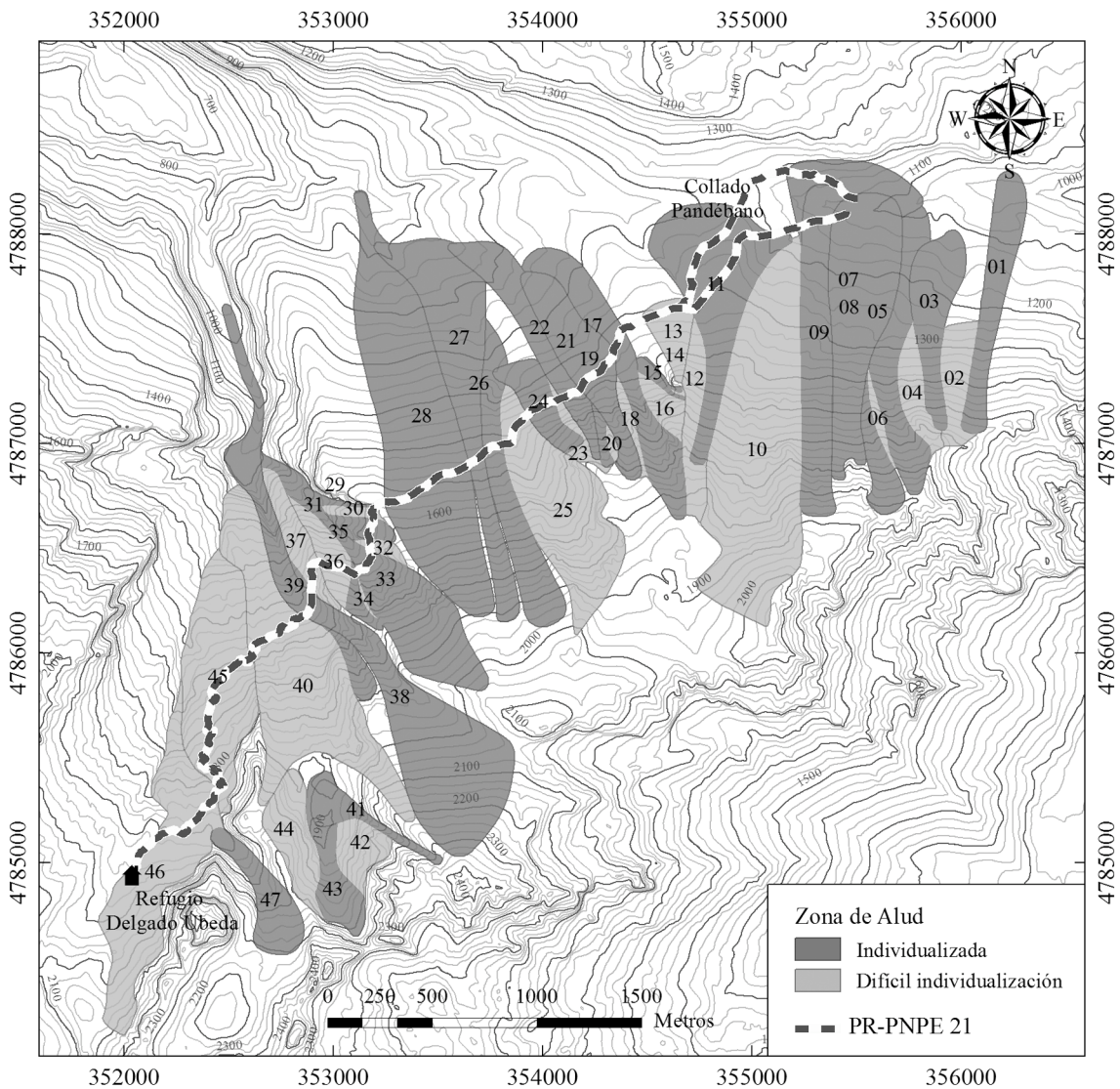


Figura 3. Mapa de Zonas de Aludes y Zonas de Aludes numeradas en sentido ascendente del camino de acceso a la Vega de Urriellu desde el Collado Pandébano (PR-PNPE 21).

Figure 3. Map of Avalanches Paths and Avalanches Paths numbered upstream along the access walking track to Vega de Urriellu from Collado Pandébano (PR-PNPE 21).

servan las 47 ZA identificadas en todo el área de estudio, 27 de las cuales individualizadas y 20 de difícil individualización (Fig. 3). Destacan las ZA individualizadas por su forma alargada en el sentido de la máxima pendiente, alcanzando distancias máximas que superan los 2000 m (ZA 26, 28, 38). Por el contrario, las ZA de difícil individualización presentan menor desarrollo longitudinal como consecuencia de que la energía liberada en el alud no se concentra en una canal, sino que tiende a disiparse en una vertiente por lo general plana o convexa. De los 7.335 m totales de segmento de PR-PNPE 21 objeto de estudio, teniendo en cuenta la variante del Canero y Portiella del Vao Liesprón, 6.676 m, es decir, el 91% del camino, está afectado directamente por 28 ZA, lo que supone un riesgo para los usuarios que lo transitan que se debe analizar.

3.2. Análisis del riesgo

3.2.1 Análisis de la frecuencia

Conocer la frecuencia de los aludes es esencial para poder estimar la probabilidad de que una avalancha alcance una posición determinada en un periodo de tiempo especificado (McCLung y Schaerer, 1996). La ausencia de observaciones directas a largo plazo como mejor procedimiento método para determinar la periodicidad de los aludes (McCLung y Schaerer, 1996) ha motivado la utilización de diferentes métodos en combinación para cada una de las nueve clases de frecuencia anual de alud establecidas en base a los datos de frecuencias (muy baja: <0.01-0.1; baja: 0.1-1; moderada: 1-2.5; alta: 2.5-10; y muy alta: 10-25).

En cuanto a aludes con frecuencia muy baja y baja, la fuente de información utilizada ha sido la observación de secuencias temporales de fotografía aérea y encuesta a la población, cotejadas con la observación en el campo de las construcciones tradicionales y la vegetación. Además, en aludes con frecuencia

baja la altura de la vegetación (Schaerer, 1972; McCLung y Schaerer, 1996) combinada con la datación de cicatrices y roturas en la vegetación (McCLung y Schaerer, 1996) ha permitido establecer la relación entre las características de la vegetación-y la frecuencia anual de alud expuesta en la tabla 2. Para ello, se han realizado transectos preferentemente de forma paralela al PR-PNPE 21 con el fin de extrapolar la información resultante al camino.

En cuanto a aludes con frecuencia moderada, alta y muy alta los métodos utilizados han sido la encuesta y la observación directa de aludes de la temporada 2009/10, observándose 15 depósitos de alud en 10 ZA, 13 de los cuales afectaban el PR-PNPE 21. Cuando no se disponía de información suficiente para estimar la recurrencia de los aludes con frecuencia de clase moderada, alta y muy alta el método aplicado ha sido la inclinación media

Tabla 2. Estimación de la frecuencia anual de alud en base a las características de la vegetación Basado en McCLung y Schaerer, 1996.

Table 2. Estimated annual frequency of snow avalanches based on vegetation characteristics. Based in McClung and Schaerer, 1996.

Frecuencia anual	Características de la vegetación
1-0.5	Herbácea, subarborescente y arbustiva de hayas. No hay árboles más altos de 2-3 m.
0.5-0.1	Árboles maduros tumbados y jóvenes rectilíneos con indicios. No hay árboles más altos de 4-5 m.
0.1-0.02	Árboles jóvenes-maduros y maduros no tumbados con indicios y tumbados con rebrotes. Árboles jóvenes rectos sin indicios. No hay árboles más altos de 5-6 m.
0.02-0.01	Árboles jóvenes-maduros rectilíneos de > 50 cm de circunferencia, y rebrotes de características similares. Árboles de > 6 m.
<0.01	Árboles maduros con indicios de > 100 cm de circunferencia. Árboles de > 8 m.

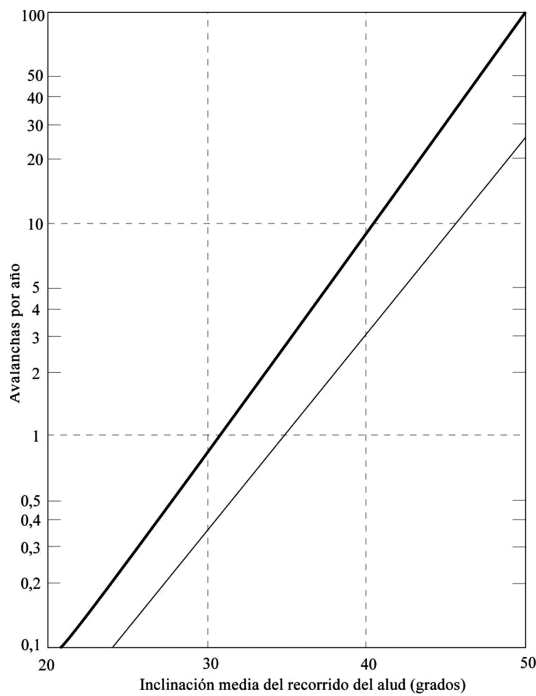


Figura 4. Frecuencia anual de aludes en zonas canalizadas (trazo grueso) y no canalizadas (trazo fino) como una función de la inclinación media del recorrido medida en grados. Basado en Schaerer (1972) y McClung y Schaerer (1996).

Figure 4. Annual frequency of snow avalanches in channeled track (thick line) and open track (thin line) as a function of mean angle of the track measured in degrees. Based on Schaerer (1972) and McClung and Schaerer, (1996).

del recorrido del alud medida desde la zona de inicio hasta el inicio de la zona de detención de los aludes (Schaerer, 1972). Los criterios seguidos para determinar el inicio de la zona de detención han sido el cambio de pendiente, los indicios en la vegetación y/o contraste con aludes observados en la temporada 2009/10. En la figura 4 se establece la relación entre la inclinación media del recorrido del alud y su frecuencia anual de ocurrencia según una función de tipo lineal, diferenciando aludes de recorrido canalizado y no canalizado. En todos los casos analizados el recorrido del alud tenía una inclinación media ³ 30°, dando como resultado

una frecuencia anual que por lo general va de 1 a 25.

Las zonas de camino en las que se registra una frecuencia moderada, alta y muy alta son aquellas en las que discurre junto a escarpes rocosos con una pendiente media > 30°, principalmente sector de Peña Los Corrales y sector del Valleyu. En las zonas canalizadas de estos sectores la frecuencia se incrementa por encima de 5. La inclinación del terreno junto a las características climáticas, hacen que estas zonas sean las más propicias al desencadenamiento de aludes estableciéndose una relación inversa frecuencia-intensidad. En cuanto a las amplias y largas canales de Pistañón, Canal Sierra, y canales de Cuesta Sierra, se observa un incremento de la frecuencia hacia el centro de las mismas que en raras ocasiones supera un evento por temporada.

3.2.2. Análisis de la intensidad

El concepto de intensidad hace referencia al conjunto de características de un alud con incidencia en su capacidad de producir daño (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002). En los trabajos originales de la Avalanche Task Force (1974) para el tránsito de vehículos en carreteras se utilizaron valores ponderados de la

Tabla 3. Valores de W según la gravedad de encuentro alud/persona. Basado en Schaerer (1989), Owens y Fitzharris (1989) y *European Avalanche Warning Services*.

Table 3. Values of W depending on the severity of match avalanche / person. Based on Schaerer (1989), Owens and Fitzharris (1989) and European Avalanche Warning Services.

	<50	Longitud (m) 50-100	>100
Recorrido canalizado	1	10	10
Recorrido no canalizado	1	5	10

intensidad (W) de 1, 4 y 10, mientras que en Owens y Fitzharris (1989) se asumió un valor máximo de $W = 10$ al ser el más apropiado en la aplicación del IRA para excursionistas en el área de Fiorland, Nueva Zelanda, ya que incluso las avalanchas más pequeñas podían causar la muerte o daños graves a las personas. En base a Schaerer (1989) y en definiciones del *European Avalanche Warning Services* [en línea], en este trabajo se ha establecido que $W = 1, 5$ y 10 (Tabla 3) según la longitud del alud desde la zona de inicio hasta el camino, tipo de recorrido y daños potenciales que pueden ocasionar. $W = 1$ en aquellas zonas en las que se producen purgas, aludes de intensidad baja con un recorrido inferior a 50 m y un volumen menudo de nieve movilizada, que aunque son relativamente inofensivas para las personas representan un riesgo de daños mínimo el cual se debe considerar. $W = 5$ en aquellas zonas del camino afectadas por aludes pequeños, de entre 50-100 m de longitud, con una intensidad media derivada de un recorrido no canalizado como consecuencia del tránsito por vertientes planas y que comienzan a ser capaces de enterrar, lesionar o matar a una persona. $W = 10$ en aquellas zonas en las que los aludes son capaces de enterrar, lesionar o matar a una persona, siendo de intensidad alta debido a un recorrido canalizado y/o grandes dimensiones, tanto en longitud como en volumen de nieve movilizado.

3.2.3. Análisis de la exposición

Ayala-Carcedo y Olcina (2002) señalan que el concepto de exposición o elementos en riesgo hace referencia al conjunto de bienes (humanos, económicos, estructurales, ecológicos) a preservar que pueden ser dañados por la acción de un peligro. El presente trabajo alude únicamente a los daños directos sobre las personas (atrapadas por un alud) de manera que un mayor número de personas susceptibles de sufrir daños implica mayor riesgo.

La mayor parte de visitantes en temporada invernal que accede a la Vega de Urriellu lo hace por el PR-PNPE 21 (según el guarda del refugio, Tomás Fernández, comunicación oral). Según datos del refugio, en la temporada invernal de 2009 (de enero a mayo y de noviembre a diciembre) el total de pernотas fue de 209, pero el número de personas que transita por el camino es aún mayor debido a que un importante volumen de personas no pernотa en el refugio haciendo en el mismo día el recorrido de ida y vuelta. El fin de semana del 6 y 7 de marzo de 2010 se contabilizaron un total de 9 personas, mientras que durante el periodo vacacional de Semana Santa (jueves 1, viernes 2, y sábado 3 de abril de 2010) fueron un total de 197. A partir de estos datos se ha constatado una clara concentración de los visitantes hacia el fin de semana, destacando el viernes y sábado por ser los días cuando se producen más pernотaciones. Este hecho implica que el PR-PNPE 21 tenga un mayor tránsito de personas durante todo el fin de semana: viernes, sábado y domingo. El volumen total mínimo de transeúntes estimado por temporada (noviembre-mayo) es de 500, mientras que el volumen medio para los fines de semana es de 9.

El riesgo que asumen los usuarios del camino depende entre otros factores del tiempo de exposición al peligro, el cual disminuye a medida que aumentamos la velocidad de paso. Las condiciones de la nieve, el tipo de actividad que se realice (raquetismo, alpinismo, esquí...), las condiciones meteorológicas, la topografía del terreno y la preparación físico-técnica, entre otros factores, hacen variar la velocidad de paso de las personas. El tiempo que emplea un montañero medio en realizar un trayecto del camino puede variar desde las 3 horas, en condiciones idóneas de nieve dura, hasta más de 6 horas en condiciones de nieve reciente o profunda que exija apertura de huella, en función del peso que se transporte, etc. Basándonos en estos datos se ha estimado el tiempo de exposición a los aludes para cada uno de los tramos de camino afec-

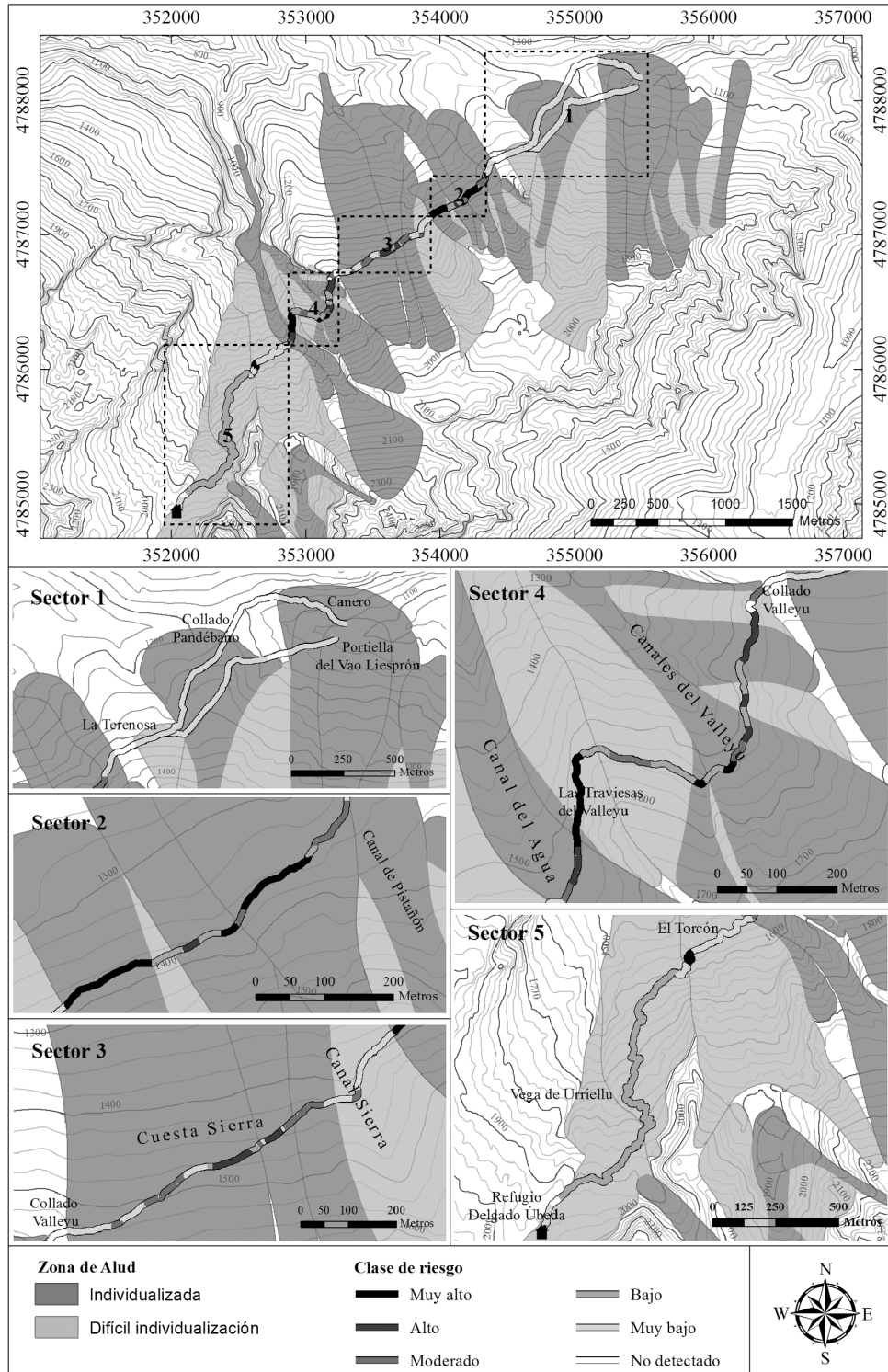


Figura 5. Mapa de riesgo de aludes (imagen superior) y sectores de riesgo diferenciados en el PR-PNPE 21.
 Figure 5. Avalanche risk map (higher picture) and different risk sectors in the PR-PNPE 21.

Tabla 4. IRA (I_x) variando periodo de tiempo considerado (t_x), número de usuarios (N_x) y tiempo de exposición calculado a partir de tiempo por trayecto en horas (t_e).

Table 4. AHI (I_x) varying period of time considered (t_x), number of users (N_x) and exposure time calculated from the time in hours each way (t_e).

Escenario	t_e	t_x	N_x	I_x
1	3 h	7 meses (noviembre-mayo)	500	6
2	3 h	fin de semana (3 días)	9	7
3	4.5 h	7 meses (noviembre-mayo)	500	8
4	4.5 h	fin de semana (3 días)	9	10
5	6 h	fin de semana (3 días)	9	13
6	4.5 h	Semana Santa (3 días)	200	220

tados por una misma frecuencia anual de alud con tiempos por trayecto de 3, 4.5 y 6 horas, de tal manera que se intenta abarcar las diferentes circunstancias en las que puede encontrarse un montañero.

3.2.4. Evaluación cuantitativa del riesgo

El cálculo de la probabilidad de encuentro alud/persona para cada una de las zonas del camino afectadas por una misma frecuencia de alud ha permitido identificar los segmentos del PR-PNPE 21 con diferente riesgo según la clasificación: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto (Fig. 5). La ecuación empleada para ello ha sido (Owens y Fitzharris, 1989):

$$P_x = \frac{t_e}{t_x} * f_x * W$$

donde P_x es el producto de la intensidad (W) y probabilidad de encuentro alud/persona en el periodo x ; t_e es el tiempo durante el cual el caminante está expuesto al peligro, función de la velocidad de paso y distancia de camino afectada por una misma f_x ; t_x es el periodo

de año considerado; f_x es la frecuencia de alud en el periodo x ; W hace referencia a la intensidad o gravedad de encuentro alud/persona.

A lo largo del segmento PR-PNPE 21 objeto de estudio se han diferenciado cinco sectores de riesgo (Fig. 5), definidos a partir del nivel de riesgo más alto, y/o combinación de clases de riesgo más representativo y las características geomorfológicas, de cara a la aplicación de futuras medidas de mitigación del riesgo. Los sectores de riesgo diferenciados en sentido ascendente del PR-PNPE 21 son:

Sector 1: Portiella del Vao Liesprón/Canero - Canal de Pistañón. Caracterizado por tener un riesgo muy bajo de manera continuada, únicamente interrumpido por dos sectores del camino fuera de zona de alud, y por tanto, sin riesgo detectado, Collado Pandébano y La Tenrosa.

Sector 2: Peña Los Corrales. A pesar de encontrar tramos con riesgo de varias clases, se caracteriza por tener tres zonas con riesgo muy alto, dos de ellas situadas en laderas de pendientes pronunciadas a lo largo de más de 100 m de camino, y una tercera en el tramo de camino que pasa por una zona canalizada.

Sector 3: Canal Sierra-Cuesta Sierra. Caracterizado por la alternancia de riesgo moderado en el centro de las canales y muy bajo en el resto. Únicamente encontramos riesgo alto en el centro de las canales en sentido ascendente 2 y 3 de Cuesta Sierra.

Sector 4: Collado Valleyu-Canal del Agua. Se trata del punto intermedio del camino. Al inicio del sector encontramos dos zonas sin riesgo detectado distantes entre sí unos 30 m. El resto se caracteriza por la alternancia de tramos cortos con niveles de riesgo de bajo a muy alto. Destacan por el riesgo alto y muy alto de las canales y el tramo expuesto de Las Traviesas de Valleyu.

Sector 5: Canal del Agua-Refugio. Caracterizado por dos tramos, El Torcón y Vega de

Urriellu, con riesgo bajo y muy bajo, separados por un segmento con riesgo alto. Aproximadamente a 150 m del refugio encontramos una zona sin riesgo de aludes detectado. El cálculo del Índice de Riesgo de Aludes (IRA) ha permitido valorar la gravedad del riesgo de aludes para el conjunto del PR-PNPE 21, además de establecer las medidas apropiadas de mitigación del riesgo. La fórmula empleada ha sido (Owens y Fitzharris, 1989):

$$I_x = N_x * \sum P_x$$

donde N_x es el número de personas en el periodo x y \sum es la suma de las probabilidades de encuentro alud/persona a lo largo del camino.

La variabilidad de los elementos tenidos en cuenta en el análisis del riesgo ha planteado diferentes escenarios de riesgo en base a la estacionalidad de los visitantes durante la temporada invernal, fines de semana (viernes, sábado y domingo) y Semana Santa (Jueves, Viernes y sábado), tiempos de exposición al peligro (basado en 3, 4.5 y 6 horas por trayecto) y número de personas (Tabla 4). Los resultados obtenidos están basados en trayectos de ida y vuelta, número de pernoctaciones en el Refugio (datos de 2009), número de transeúntes en el camino observados durante las jornadas de campo (2009) y frecuencia de aludes en el periodo de tiempo considerado. El IRA es proporcional a

la variación del número de personas (N_x) y el tiempo de exposición (t_e), de manera que si por ejemplo se dobla el tiempo de exposición el IRA lo hace en la misma proporción. Para aquellos escenarios en los que el tiempo de exposición ha sido calculado en base a 3 y 4.5 horas por trayecto (escenarios 1, 2, 3 y 4) el valor del IRA es bajo, a excepción del escenario 6 en el que el IRA es alto según la clasificación expuesta en la tabla 5. Sin embargo, cuando el tiempo por trayecto es de 6 horas el IRA aparece clasificado como moderado (escenario 5).

4. Discusión

La aplicación de la metodología adoptada por el IGC (Oller *et al.*, 1998) ha permitido localizar satisfactoriamente las zonas probables de aludes. Sin embargo, se han realizado algunas modificaciones en los criterios de delimitación de las ZA con el objetivo de adaptarlos tanto al área como al objeto de estudio. En el caso de las pendientes, los intervalos establecidos por Oller *et al.* (1998) excluían aquellas áreas con una inclinación $>45-50^\circ$ debido a que la fuerte pendiente hace deslizar la nieve en forma de purgas durante las nevadas. Teniendo en cuenta a McClung y Schaefer (1996) se han considerado pendientes de hasta 60° al haber tramos del PR-PNPE 21 que discurren por zonas con una inclinación del terreno de entre $45-60^\circ$ (Las Traviesas del Valleyu), en los que la caída de pequeños volúmenes de nieve puede implicar graves consecuencias al tratarse de tramos expuestos.

La observación de la vegetación (McClung y Schaefer, 1996) permite constatar la acción modeladora de los aludes sobre los árboles cuando tienen una frecuencia anual de 0.5-0.1. A diferencia de lo afirmado por Muntán *et al.* (2003) para el Pirineo catalán, en el área de estudio es relativamente frecuente encontrar árboles viejos en el centro de las canales hacia la parte superior del bosque, debido seguramente a una perfecta combinación de frecuencia, intensidad y naturaleza

Tabla 5. Respuestas destinadas a mitigar el riesgo según la clasificación del IRA (Avalanche Task Force, 1974; Owens y Fitzharris, 1989).

Table 5. Responses to mitigate the risk by classification of AHI (Avalanche Task Force, 1974; Owen and Fitzharris, 1989).

Clasificación	IRA	Medida de mitigación
Muy bajo	<1	Ninguna.
Bajo	1-10	Señales de aviso, cierre ocasional.
Moderado	10-100	Cierre, restricciones.
Alto	>100	Programa de control total.

Tabla 6. Comparación del IRA con estudios previos de carreteras, vías de ferrocarril y caminos excursionistas (Avalanche Task Force, 1974; Fitzharris y Owens, 1980; Armstrong, 1981; Fitzharris et al., 1984; Owens y Fitzharris, 1985, 1989; Parks Canada, 2010; Lewis y Bob, 2007).

Table 6. Comparison of the AHI with previous studies on roads, rail tracks and walking tracks (Avalanche Task Force, 1974, Fitzharris and Owens, 1980; Armstrong, 1981; Fitzharris et al., 1984; Owens y Fitzharris, 1985, 1989; Parks Canada, 2010; Bob and Lewis, 2007).

Área	IRA	IRA residual
<i>Riesgo alto</i>		
Roger Pass, Canadá	1004	27
Roger Pass, Canadá	335	-
Milford Road, NZ	187	3
Fraser Canyon, Canadá	140	-
Carretera 550, EUA	16	-
<i>Riesgo moderado</i>		
Pine Pass, Canadá	53	-
Routeburn Track, NZ	47	-
Milford Road, NZ	46	-
Bear Pass, Canadá	37	-
Bridge River, Canadá	14	-
Milford Track, NZ	12	-
<i>Riesgo bajo</i>		
PR-PNPE 21, P.N. Picos de Europa, España	10	-
Ball Hut Road, NZ	9	-
Bella Coola, Canadá	5	-
Manganui Gorge Track, Mount Egmont, NZ	2	-
Nelson Lakes N.P. tracks, NZ	1	-
<i>Riesgo muy bajo</i>		
Laidlaw, Canadá	0.4	-
Ningusaw Pass, Canadá	0.2	-
Chilkoot Trail, Canadá	0.1	-

flexible del haya (*Fagus sylvatica*) como especie caducifolia. A medida que los ejemplares crecen y reciben impactos de nieve, aire u otros elementos naturales (piedras, tierra, bloques de roca y/o restos de vegetación) se inclinan de manera que aludes sucesivos pasan sobre ellos sin causar daños graves.

La estimación de la frecuencia de ocurrencia por el método de Schaerer (1972) ha proporcionado valores muy próximos a los aportados por la encuesta allí donde se disponía de información, excepto en el caso de una de las canales del Valleyu y en la Canal de Agua. Para dichas canales los resultados obtenidos a partir de Schaerer (1972) proporcionaban una frecuencia anual de 3-3.5 y 1.5-2 mientras que la información empírica proporcionada por la encuesta hacía referencia a >5 y >3 aludes anuales respectivamente. Esta incongruencia se debe seguramente a la influencia de ciertos factores derivados de las características climáticas y geomorfológicas del área de estudio, como es la acción lubricante del agua de escorrentía procedente de surgencias y de la propia fusión nival, no presente, o al menos con tanto significado en otras zonas.

En cuanto al cálculo de intensidad de los aludes, valor de W , Schaerer (1989) establece un método basado en la fuerza de impacto, cuantía de daños y características de los aludes, fijando cinco categorías con valores de W entre 0 y 12. Descarta dos de ellas con valores de $W = 0$ debido a que el riesgo que conllevan es mínimo. Owens y Fitzharris (1989) asumen que $W = 10$ justificando que incluso los aludes más pequeños pueden causar la muerte o graves lesiones a las personas. Los valores de W ($= 1, 5, 10$) en el presente trabajo se corresponden con tres clases de intensidad relativa cualitativa: baja, media, alta; de manera que se intenta no desvirtuar el riesgo representado por una mayor frecuencia y equiparación de aludes de diferentes dimensiones y daños potenciales que puedan ocasionar.

La existencia de diferentes combinaciones de frecuencia e intensidad de alud ha motivado plantearse en la evaluación cuantitativa del riesgo si el riesgo representado era el máximo en función de la Peligrosidad (Frecuencia x Intensidad). En base a los datos de los que se disponen se ha comprobado el mayor peso de la variable frecuencia en la Peligrosidad.

La incorporación de nuevos datos de intensidad y frecuencia, a partir de observaciones directas, encuesta u otros métodos (ej.: estudio de la vegetación, datos nivometeorológicos) podría hacer variar esta relación.

El cálculo del IRA para diferentes escenarios probables (Tabla 4) permite detectar en qué circunstancias se producen niveles de alto riesgo con la finalidad de llevar a cabo medidas de mitigación (Tabla 5) y una gestión correcta del riesgo de aludes (Avalanche Task Force, 1974; Schaerer, 1989; Hendrikx y Owens, 2008). En general, el riesgo para el PR-PNPE 21 es bajo (escenarios 1, 2, 3, 4), pasando a moderado cuando se produce una situación de exposición prolongada al peligro (escenario 5), y alto cuando se produce una gran concentración de personas en poco tiempo (escenario 6). En estas circunstancias las medidas destinadas a mitigar y gestionar el riesgo de aludes durante toda la temporada invernal deben ir en la línea de informar y concienciar al usuario del riesgo existente, con el fin de reducir la vulnerabilidad y la exposición ante el peligro. alguna de estas medidas puede ser la instalación de paneles informativos permanentes situados a ambos extremos del PR-PNPE 21, y señales de aviso de entrada y salida de los sectores del camino con alto riesgo de alud con el fin de no detenerse en dichas zonas. Estas medidas podrán ir acompañadas de otras de carácter temporal, como es el cierre del camino o la sugerencia de caminos alternativos con menor riesgo trazados según estudios como el presente, apoyados en una predicción temporal del peligro de aludes.

En la tabla 6 se observa los resultados del IRA para carreteras, vías de ferrocarril y caminos excursionistas de Canadá, Estados Unidos de América (EUA), y Nueva Zelanda (NZ), destacando el caso de Roger Pass. Si comparamos los resultados del IRA aplicado en caminos excursionistas, el PR-PNPE 21 (según el escenario más probable, el 4) está situado en un nivel de riesgo intermedio entre Chilkoot Trail, Canadá, con un riesgo muy bajo, y

Routeburn Track, Nueva Zelanda, con un riesgo moderado, siendo equiparable al riesgo en Milford Track, en Nueva Zelanda, con un tránsito de 7000 personas en 1983 (Owens y Fitzharris, 1989).

El cálculo del IRA en diferentes momentos permite detectar variaciones temporales del índice del riesgo. Diversos estudios realizados en Roger Pass y en Milford Road muestra un incremento del IRA de 335 a 1.004 y de 46 a 187 respectivamente (Tabla 6), como consecuencia del aumento del volumen de tráfico en las últimas décadas (Owens y Fitzharris, 1989), debido seguramente a la generalización del uso de vehículos particulares. Sin embargo, la aplicación de medidas destinadas a mitigar el riesgo, obras de defensa activa y pasiva, y desencadenamiento de aludes (Hendrikx *et al.*, 2006) han reducido el IRA hasta un valor de 27, en el caso de Roger Pass, y de 3 en el caso de Milford Road (IRA residual en Tabla 6). En este sentido, es previsible que en el caso de que no se realice una correcta gestión del riesgo en el PR-PNPE 21 el valor del IRA aumente como consecuencia de un incremento del número de personas que practican actividades deportivas en la montaña invernal.

5. Conclusiones

En este trabajo se han identificado las zonas de aludes que afectan al camino de acceso a la Vega de Urriellu desde el Collado Pandébano y se ha analizado el riesgo por alud que presenta. Por lo general, los sectores de camino con mayor riesgo son aquellos en los que hay una mayor frecuencia anual de alud, independientemente de su intensidad, ya que incluso los aludes más pequeños pueden causar graves daños a las personas. El momento de máximo riesgo es durante la Semana Santa, registrándose entonces un valor alto del IRA, mientras que para los fines de semana y el conjunto de la temporada invernal es en general bajo salvo en situaciones excepcionales.

La elaboración del mapa de riesgo de aludes en el PR-PNPE 21 junto con la identificación de diferentes sectores de riesgo ha permitido detectar qué zonas del camino son las que concentran mayor riesgo. Del segmento de PR-PNPE 21 objeto de estudio un 43.8% presenta un riesgo muy bajo, un 26.6% riesgo bajo, un 7.5 % riesgo moderado, un 5 % riesgo alto, un 8.1 % riesgo muy alto, y sólo un 9% sin riesgo detectado.

Con el objetivo de mejorar la información actual y extender este trabajo a otras áreas del Parque Nacional sería conveniente disponer de datos de estaciones nivometeorológicas automáticas de montaña que registren, además de las variables meteorológicas normales, la altura total de nieve y la altura de nieve reciente entre otras, así como contar con la ayuda de profesionales que registren la actividad de aludes observados mediante la cumplimentación de formularios de recogida de datos sobre aludes .

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de todas las personas que han hecho posible este trabajo: el Grupo de Aludes del Institut Geològic de Catalunya, Glòria Furdada de la Universitat de Barcelona, Peter Schaerer, Director Honorario de la *Canadian Avalanche Foundation*, Tomás Fernández, guarda del refugio Delgado Úbeda, Pedro Fernández, guarda del Parque Nacional de Picos de Europa, Alberto Mediavilla, guía de montaña y observador nivológico, y a todos los vecinos de Sotres, Bulnes y Tielve, en especial a Alfonso, Kika, Esperanza, Rosa y Colás. Este trabajo se ha realizado en el ámbito de las investigaciones del Grupo RISKMAT, subvencionado por la *Generalitat de Catalunya* en el proyecto 2009SGR-520.

Bibliografía

Armstrong, B.R. (1981). A quantitative analysis of avalanche hazard on U.S. Highway 550, Southwestern Colorado. *Proceedings of the Western Snow Conference*, 49, 95-104.

Avalanche Task Force (1974). *Report on Findings and Recommendations, Appendix II*. British Columbia Department of Highways, Victoria, B.C., Canada.

Ayala-Carcedo, F.J.; Olcina, J. (2002). *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel, Barcelona, 1512 pp.

Cappabianca, F.; Barbolini, M.; Natale, L. (2008). Snow Avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. *Cold Regions Science and Technology*, 54, 193 – 205.

Castañón, J.C. (1984). Sobre el modelado originado por los aludes de nieve en el. Prau del Albo (Alto Huerna, Asturias). *Ería*, 6, 106-112.

CEMAGREF (1981). *Plan de zones exposées aux avalanches*. Ministère de l'Agriculture, France.

European Avalanche Warning Services. *Glossary snow and avalanches* [en línea] [fecha de consulta abril 2010]. URL: <http://www.avalanches.org/basics/glossar-en/>

Fernández, A.; Villar, D. (2006). *Desarrollo y validación de un modelo predictivo de aludes en la Cuenca Alta del río Duje. Parque Nacional Picos de Europa*. Informe técnico inédito. Organismo Autónomo Parques Nacionales, MAAMA. Resultados presentados en forma de póster en la IX Reunión Nacional de Geomorfología 2006, Santiago de Compostela.

Fernández-Pello, L.; Frochoso, M.; González, R.; Martínez de Pisón, E.; Quirantes, F. (1988). Tipos de Bosques en los Picos de Europa Asturianos. *Ería*, 15, 5-14.

Fitzharris, B.B.; Owens, I.F. (1980). *Avalanche Atlas of the Milford Road; an Assessment of the Hazard to Traffic*. New Zealand Mountain Safety Council. Avalanche Committee Report, 4, 79 pp., Wellington.

Fitzharris, B.B.; Campbell, D.I.; Smith, G.M.; Blucher, P.R.; Ho, C.W. (1984). *Avalanche atlas of the Ball Hut Road and assessment of the hazard to traffic*. New Zealand Mountain Safety Council. Avalanche Committee Report, 6, Wellington.

Furdada, G. (1996). *Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya: Predicció espacial i aplicacions de la cartografia*. Geoforma ediciones, Logroño, 315 pp.

Furdada, G.; Vilaplana, J.M.; Bosch, X.; Martí, G.; Oller, P.; García, C.; Mases, M. (1995). Avalanche mapping and related G.I.S. Applications in the Catalan Pyrenees (Spain). *Surveys in Geophysics*, 16/5-6, 681-693.

González, J.J. (2006). *El Macizo Central de Los Picos de Europa: Geomorfología y sus implicaciones geoecológicas en la alta montaña cantábrica*. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Santander, 819 pp.

González, J.J.; Serrano, E. (2010a). La nieve en los Picos de Europa: implicaciones geomorfológicas y ambientales. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 36-2, 61-84.

González, J.J.; Serrano, E. (2010b). *Geomorfología del Macizo Oriental del Parque Nacional Picos de Europa*. O.A.P.N., Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 202 pp.

Hendriks, J.; Owens, I. (2008). Modified avalanche risk equations to account for waiting traffic on ava-

- lanche prone roads. *Cold Regions Science and Technology* 51, 214-218.
- Hendrikx, J.; Owens, I.; Carran, W.; Carran, A. (2006). Avalanche risk evaluation with practical suggestions for risk minimisation: a case study of the Milford Road, New Zealand. *Proceedings of the International Snow Science Workshop*, Telluride, Colorado, USA, 757-767.
- Institut Geològic de Catalunya (IGC) [en línea] [fecha de consulta marzo 2010]. URL: http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/allaus/igc_allaus.html
- Lewis, S.; Bob, P.G. (2007). *Avalanche Hazard Assessment & Mitigation Report*. Sylvan Pass, Yellowstone National Park. Decreto Nº P157060030.
- Lied, K.; Toppe, R. (1989). Calculation of maximum snow-avalanche run-out distance by use of digital terrain models. *Annals of Glaciology*, 13, 164-169.
- Marquínez, J.L.; Menéndez, R.A.; Lastra, J.; Fernández, E.; Jiménez-Alfaro, B.; Wozniak, E.; Fernández, S.; González, J.; García, P.; Álvarez, M.A.; Lobo, T.; Adrados, L. (2003). *Riesgos naturales en Asturias*. INDUROT, KRK ediciones, Oviedo, 133 pp.
- McClung, D.M.; Schaerer, P.A. (1996). *Manual de avalanchas*. Ed. Desnivel y SUA, Madrid, 307 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009). *Evolución del número de visitantes en el P.N. Picos de Europa 1996-2009* [en línea] 2009 [fecha de consulta abril 2010] URL: http://reddeparques-nacionales.mma.es/parques/picos/guia_info_visitantes.htm
- Muntán, E.; Oller, P.; Gutierrez, E.; Martínez, P. (2003). Aplicació de la dendrocronologia a l'estudi de la dinàmica de les allaus als Pirineus. *VI Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigües Tortes i Estany de Sant Maurici*. Epot, Pallars Sobirà.
- Muñoz, J. (1982). Geografía Física. El relieve, el clima y las aguas. Geografía de Asturias Quiros En: *Geografía de Asturias* (F. Linares, dir.). Ayalga ediciones, Salinas.
- Oller, P.; Martí, G.; Marturià, J. (1998). New methods applied to avalanche mapping. *Proceedings Second Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems*, Barcelona, 211-215.
- Owens, I.F.; Fitzharris, B.B. (1985). *Avalanche atlas of the Milford Track and assessment of hazard to walkers*. New Zealand Mountain Safety Council. Avalanche Committee Report, 8, Wellington.
- Owens, I.F.; Fitzharris B.B. (1989). Assessing avalanche-risk on walking tracks in Fiorland, New Zeland. *Annals of Glaciology*, 13, 231-236.
- Parks Canadá [en línea] [fecha de consulta noviembre 2010] URL: <http://www.pc.gc.ca/lhn-nhs/yt/chilkoot/activ/activ1a/activ1f.aspx>.
- Programa ERHIN (1994). *La nieve en las cordilleras españolas 1991-1992*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- Programa ERHIN (1995). *La nieve en las cordilleras españolas 1992-1993*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- Programa ERHIN (1997). *La nieve en las cordilleras españolas 1993-1994*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- Programa ERHIN (1998). *La nieve en las cordilleras españolas 1994-1995*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- Protecció Civil de Catalunya. *Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya* (ALLAUCAT) [en línea] 2010 [fecha de consulta marzo 2010]. URL: http://www20.gencat.cat/docs/interior/Home/Areres%20dactuacio/Proteccio%20Civil/Plans%20de%20proteccio%20civil/Plans%20de%20proteccio%20civil%20a%20Catalunya/Documents/Document_Pla_Allaucat.pdf
- Rasilla, D. (1999). *Viento del Sur y efecto Föhn en la Cordillera Cantábrica*. Madrid, Ministerio de Fomento-CEDEX.
- Ruiz, J.; González, J.J.; Poblete, M.A. (2008). La montaña media Cabraliega. En: *De Castilla al Mar. La naturaleza del paisaje en la Montaña Cantábrica (Palencia - Cantabria - Asturias)* (P. Ruiz; E. Serrano; M.A. Poblete; J. Ruiz, eds.). Valladolid, AGE-UVA-UNIOvi, 99-124.
- Schaerer, P.A. (1972). Terrain and vegetation of snow avalanche sites at Rogers Pass, British Columbia. *Mountain geomorphology. British Columbia Geographical*, 14, 215-222.
- Schaerer, P. (1989). The Avalanche-Hazard Index. *Annals of Glaciology*, 13, 241-247.
- Schleiss, V.G. (1990). *Roger Pass Snow Avalanche Control - A Summary*. Glacier National Park, British Columbia, Canada. Canadian Parks Service, Revelstoke, B.C.
- Stethem, C.; Schaerer, P.; Jamieson, B.; Edworthy, J. (1995). Five mountain parks highway avalanche study. *Proceedings of the International Snow Science Workshop, Snowbird*, Utah, USA, 72-79.
- Wozniak, E.; Marquínez, J. (2004). Evaluación de la susceptibilidad por aludes de nieve a escala regional: el caso de Asturias". En: *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología. Volumen II* (G. Benito; A. Díez Herrero, Eds.), Universidad de Castilla-La Mancha, 509-518.