



**El riesgo de aludes en el Alto San Isidro (Macizo Central Asturiano):
la vulnerabilidad de la carretera AS-253**

*The snow avalanches risk in the Upper San Isidro Valley (Asturian Central Massif):
the vulnerability of the AS-253 road*

Poblete Piedrabuena, M.Á.; Beato Bergua, S.; Marino Alfonso, J.L.

Dpto. de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Oviedo, Campus de El Milán,
C/Amparo Pedregal s/n, 33011-Oviedo (Asturias), Spain. mpoblete@uniovi.es

Resumen

Se analiza el riesgo de aludes en el Alto San Isidro, en concreto, los factores desencadenantes, la identificación de las zonas probables de aludes y la vulnerabilidad de la carretera AS-253 que asciende al puerto de San Isidro, con la finalidad de contribuir a mitigar el impacto y los daños causados por las avalanchas de nieve de forma recurrente. La metodología empleada combina las observaciones de campo, la fotointerpretación de series temporales de imágenes aéreas, la consulta de fuentes hemerográficas y encuestas a los lugareños del concejo de Aller; así como el estudio de los datos climáticos históricos, en especial, de los temporales de nieve y el comportamiento reciente de la niviosidad mediante el seguimiento horario de las últimas nevadas. Como resultado, se establece la evolución histórica de los temporales de nieve y se precisa la correlación con los aludes. En efecto, se reconocen 63 zonas de aludes, de las cuales 24 afectan al trazado de la carretera, presentando el 14% de su longitud una alta vulnerabilidad. Además, se han detectado 10 tramos de la vía con un elevado riesgo de aludes, al carecer de cualquier medida de protección, por lo que es necesaria la inmediata ejecución de acciones preventivas, entre otras, la instalación de hileras de barreras flexibles antialudes.

Palabras clave: aludes; riesgo; susceptibilidad; vulnerabilidad; Alto San Isidro; Macizo Central Asturiano.

Abstract

The snow avalanches risk in the Upper San Isidro Valley is analysed, in particular, the factors that contribute to its triggering, the identification of probable snow avalanches areas and the vulnerability of the AS-253 road that climbs to the Port of San Isidro, in order to mitigate the impact and damage caused by snow avalanches on a recurring basis. The methodology used combines field observations, the photointerpretation of aerial



images, analysis of hemerographic sources and surveys of the inhabitant of the council of Aller. Additionally historical climatic data, especially of snowstorms and the behaviour of recent nivosity through the hourly monitoring of the last snowfalls was studied. As a result, the historical evolution of snowstorms is established and correlation with snow avalanches is specified. Effectively, 63 snow avalanche areas were identified, 24 of which affect the road, presenting a 14% of its length high vulnerability. In addition, 10 reaches of road show a high risk of snow avalanches, lacking any protection measure, so it is necessary to immediately carry out preventive actions, among others, the installation of several rows of snow nets.

Key words: snow avalanches; risk; susceptibility; vulnerability; Upper San Isidro Valley; Asturian Central Massif.

1. Introducción

Los aludes constituyen uno de los principales procesos nivoperiglaciares que actúan sobre la dinámica y la evolución de los entornos de montaña en todo el mundo (Luckman, 1978; Butler, 1985; Schweizer *et al.*, 2003). Desempeñan un papel fundamental tanto en las zonas árticas como en los ámbitos de alta y media montaña de latitudes templadas, con pendientes comprendidas entre 30 y 50°, que permiten la acumulación de una importante capa de nieve susceptible de movilización. Por tanto, tienen una influencia decisiva en la configuración del paisaje de montaña, pues afectan a muchos procesos geoecológicos de los pisos forestal y supraforestal (Patten y Knight, 1994; Rixen *et al.*, 2007; Bebi *et al.*, 2009). Además, su rápida movilidad y virulencia incrementan notablemente la celeridad y la capacidad morfogenética de la dinámica de vertientes, convirtiéndose así las canales de aludes en auténticos cordones umbilicales que desplazan la nieve y los derrubios de las franjas alpinas hasta los fondos de los valles, donde se concentran las vías de comunicación y las actividades antrópicas. De este modo, el riesgo de los aludes se transfiere desde los tramos alpinos a las laderas medias y los fondos de valle, afectando especialmente a carreteras, ferrocarriles y asentamientos humanos (Butler *et al.*, 1992).

A nivel internacional existe una extensa investigación científica que analiza las perturbaciones que producen los aludes en la estructura y composición de los ecosistemas de montaña (Bebi *et al.*, 2009), en el aumento de la

biodiversidad (Patten y Knight, 1994; Rixen *et al.*, 2007), en la regeneración y modificación de la estructura del bosque (Kajimoto *et al.*, 2004; Kulakowski *et al.*, 2006), su relación con el cambio de uso del suelo y el cambio climático (Kulakowski *et al.*, 2011; Muntán, 2016; Schläppy *et al.*, 2016; Beato *et al.*, 2019a), así como el aumento reciente de los aludes húmedos (Naa'im *et al.*, 2016; Ballesteros-Cánovas *et al.*, 2018).

En España, la mayor parte de la investigación sobre aludes se ha llevado a cabo en los Pirineos y, en menor medida, en el Sistema Central (Muñoz, 1988; Furdada *et al.*, 1995; Molina *et al.*, 2004; Muntán *et al.*, 2004, 2009, 2010; Muntán, 2012; Fernández-Cañadas, 2014). Cabe destacar los trabajos relacionados con la elaboración de mapas de riesgo y susceptibilidad, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de la estructura social (Mases y Vilaplana, 1991) y el grado de probabilidad de su formación respectivamente (Furdada *et al.*, 1995; Julián y Chueca, 1999; Chueca y Julián, 2010). Por su parte, en la Cordillera Cantábrica se pueden distinguir dos tipos de investigaciones: por un lado, los de naturaleza geomorfológica (Castañón, 1984; González y Serrano, 2010) y, por el otro, aquellos que abordan el riesgo, susceptibilidad y peligro de las avalanchas de nieve. En el Macizo Asturiano sobresale el trabajo de Marquínez *et al.* (2003), en el que a escala regional se elabora un mapa de susceptibilidad de aludes. Dicho estudio toma como criterios básicos los rasgos geomorfológicos, la cubierta vegetal, modelos numéricos de la zona de salida y de llegada y el método de máximo alcance

propuesto por Lied y Toppe en 1989. Por otro lado, Santos *et al.* (2010) realizan una cartografía de detalle del riesgo de aludes en el Alto Sil, basándose en el trabajo de campo, encuestas a la población local y la utilización de un SIG. Vada *et al.* (2012) evalúan cuantitativamente las áreas de riesgo de aludes en el Macizo Central de los Picos de Europa (senda de Pandébano a Vega Urriellu, PR-PNPE 21) a partir de la elaboración del Mapa de Zona de Aludes (MZA) y el cálculo del Índice de Riesgo de Aludes (IRA). Serrano *et al.* (2016) analizan el riesgo de aludes en el Alto Carrión, en concreto, el alud de placa y flujo seco de Cardaño de Arriba, acaecido entre el 9 y 13 de febrero de 2015, que movilizó unos 50.000 m³ de nieve y produjo, entre otros daños, la destrucción total del refugio del Club Espigüete. A través de SIG y trabajo de campo, Beato *et al.* (2018) realizan un mapa de susceptibilidad de aludes, identificando más de cien canales y zonas de caída de aludes en la vertiente oriental de la Sierra del Aramo.

También se han estudiado los aludes desde la perspectiva histórica destacando el trabajo sobre la nevada de 1888 de Puente (2006) y la tesis doctoral de García-Hernández (2018), en los que se abordan los eventos catastróficos producidos por grandes nevadas, fundamentándose en las noticias aparecidas en prensa desde el siglo XIX. Desafortunadamente, todavía no hay un estudio dendrogeomorfológico en el Macizo Asturiano que pueda arrojar luz sobre la recurrencia de las avalanchas de nieve antiguas, a pesar de su utilidad y relevancia (Stoffel y Hitz, 2008; Muntán, 2016). Por último, García-Hernández *et al.* (2017) relacionan la reforestación y el descenso del riesgo de aludes, mientras que Beato *et al.* (2019a) observan la continuidad de su fuerte impronta a pesar de los cambios de uso de suelo y las nuevas tendencias climáticas en la montaña media asturiana.

Así pues, numerosos sectores del Macizo Asturiano están afectados por aludes, los cuales tienen una repercusión manifiesta en los ecosistemas de montaña y ponen en riesgo la vida de las personas que transitan por ellos.

En dichas zonas, entre los elementos más vulnerables sometidos al impacto de los aludes sobresalen, sin duda, las carreteras de alta montaña. Por ello, Poblete *et al.* (2016) abordaron de forma preliminar los aludes en el Macizo de San Isidro, analizando los desencadenados en la carretera AS-253 que asciende al puerto homónimo. Se trata de la única vía de acceso, desde la vertiente asturiana, a las estaciones de esquí de Fuentes de Invierno y San Isidro y, por tanto, una de las carreteras de montaña de Asturias de mayor riesgo durante la temporada alta de invierno, toda vez que se estima un tráfico de 15.000 vehículos en dicho periodo (Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Principado de Asturias, 2015).

Pese a las medidas adoptadas para reducir el riesgo de aludes en la AS-253, consistentes en la instalación de unas 20 barreras flexibles antialudes en 2008 y tres viseras en 2009, se han seguido produciendo aludes casi todos los años especialmente muy peligrosos en 2013, 2015, 2018 y 2019; que han bloqueado la carretera, destruido las mallas antialudes y los quitamiedos o guardarraíles, dejando atrapados a varios vehículos. Por tanto, los objetivos de esta investigación se centran en profundizar en el conocimiento de la formación de los aludes en la cabecera del río San Isidro, a saber, los factores que contribuyen a su desencadenamiento, la identificación y cartografía de las zonas probables de aludes, así como el análisis y cartografía de los elementos vulnerables, en especial, los tramos de carretera más afectados por el impacto de tales fenómenos y aún desprotegidos; a fin de contribuir a paliar la exposición de las infraestructuras y especialmente de los usuarios, y al mismo tiempo sirva de documento base para una adecuada y correcta protección frente a dichas amenazas.

2. Área de estudio

La zona de estudio se sitúa en la cabecera del río San Isidro (Macizo Central Asturiano), concretamente, en la carretera AS-253 de acce-



Figura 1: Localización de la zona de estudio.

Figure 1: Location of the study area.

so al puerto de San Isidro (Figura 1), entre la población de Cuevas (localizada en el km 15) y las brañas de El Fielato (km 22,5). El Macizo Asturiano constituye el sector occidental de la Cordillera Cantábrica, que recorre más de 220 km en paralelo a la costa del Norte de España en el extremo noroeste de la península Ibérica. Está conformado fundamentalmente por materiales paleozoicos carbonatados y siliciclásticos que han sido plegados y fracturados por las orogénias Varisca y Alpina (Aramburu y Bastida, 1995). Con una superficie de casi 18.000 km² (Muñoz y Sanz, 1995), el macizo consta de tres unidades: Occidental, Central y Oriental. La cabecera del río San Isidro, cuyas aguas drenan a la cuenca del Aller, se encuentra en el sector central y forma parte, desde el punto de vista geológico, de la Región de Mantos. Esta se caracteriza por una sucesión litoestratigráfica repetitiva de dos unidades de desigual resistencia frente a la erosión: una masiva y resistente de cuarcitas ordovícicas y calizas de montaña; y otra menos resistente de pizarras carboníferas con intercalaciones de areniscas y en ocasiones de calizas grises. Desde el punto de vista tectónico, la Región de Mantos está formada por mantos alóctonos desplazados de

oeste a este, organizados en torno a las escamas cabalgantes de Laviana y Rioseco.

Constituye un área montañosa de grandes desniveles, con altitudes comprendidas entre los 750 m del fondo en Cuevas y los 2.100 m del Pico Torres. El valle está delimitado por dos alineaciones montañosas: al Norte, por las elevaciones de Peñas del Hombre (1.191 m), Peñas Agúa (1.633 m) y Pico Negro (1.849 m); al Sur por las de Peña Cotelbu (1.589 m) y Peña Lagarello (1.649 m). Tales cordales actúan como barreras ante la llegada de las borrascas polares procedentes del norte, favoreciendo la acumulación de nieve a sotavento. Asimismo, los picos de los Fueyos (1.891 m), Valverde (1.967 m) y Torres (2.100 m) situados al este y sureste configuran un fondo de saco para los frentes del oeste y noroeste. Además, las fuertes pendientes explican la capacidad morfogenética de la nieve acumulada, toda vez que las laderas entre 30 - 50° de inclinación constituyen más de la mitad de la superficie estudiada.

En cuanto a los rasgos geomorfológicos, cabe destacar la presencia de superficies aborre-

gadas y estrías en los alrededores del umbral rocoso de Riofrío, modelados por el glaciar alpino que, durante la fase álgida, descendía desde el Pico Toneo, a lo largo de 4 km (Rodríguez, 1995). También sobresale la abundancia de formas y depósitos periglaciares, en concreto, de *grèzes litées* que tapizan las laderas meridionales próximas a Cuevas (Poblete *et al.*, 2016), así como taludes de derrubios situados bajo los escarpes rocosos y, finalmente, canales de aludes en forma de tobogán (Rodríguez, 2017) y conos de aludes a la salida de estos (Beato *et al.*, 2019b). Esto se corresponde con el tipo de aludes dominantes, esto es, los de nieve húmeda que tienen mayor capacidad erosiva y de incisión, transportando materiales ladera abajo. Máxime si tenemos en cuenta que las laderas meridionales están deforestadas y, por tanto, la vegetación no impide el desencadenamiento de aludes.

Desde el punto de vista climático, disfruta de condiciones típicamente atlánticas, con temperaturas suaves y lluvias abundantes distribuidas a lo largo del año. Muñoz (1982) diferencia tres tipos de variantes climáticas de acuerdo con los cambios de temperatura generados por el gradiente altitudinal: entre 700 y 1.000 msnm, un clima Cfsb₃ de transición a fresco; entre 1.000 y 1.500 msnm un clima auténticamente fresco (Cfsc) y, por encima de los 1.500 msnm, un clima frío (Dfsc) de alta montaña con la mitad de la precipitación en forma de nieve. En definitiva, las condiciones climáticas propias de estas áreas de montaña se caracterizan por precipitaciones muy copiosas, por encima de 1.500 mm de media anual, y temperaturas frías, con un promedio anual inferior a 6°C, a partir de 1.500 m de altitud (Muñoz, 1982; Quirós y Fernández, 1996). Además, la entrada de masas de aire húmedo y frío de origen polar son muy frecuentes en invierno e incluso también acontecen en primavera (abril), ocasionando temporales de nieve durante los cuales se originan del orden de tres o cuatro nevadas copiosas. Según los datos de la estación meteorológica de Aller se pueden superar con creces los 30 mm en 24 horas, a apenas 750 m de altitud, originándose mantos nivales

con espesores significativos (superiores a 1 m a partir de 980 m de altitud) según nuestras mediciones efectuadas en la Central de Rioseco (Poblete *et al.*, 2016).

Por último, el paisaje presenta un mosaico de prados cerrados en los fondos de los valles, bosques, matorrales y pastizales abiertos en las laderas y cumbres, creados por una economía de subsistencia agropecuaria tradicional, altamente diversificada. Así, la cubierta vegetal se caracteriza por la fuerte antropización secular del territorio y por su pertenencia a la subprovincia biogeográfica Orocantábrica, definida por formaciones potenciales dominadas por hayas (*Fagus sylvatica*) y robles (*Quercus petraea*), así como por los sauces a lo largo de las riberas de los ríos y arroyos. Ya en la zona subalpina destacan los abedulares (*Betula celtiberica*) y las formaciones arbustivas dominadas por el enebro rastrero (*Juniperus alpina*).

3. Metodología

La metodología ha consistido en el análisis de formas y procesos de vertientes (Butler, 1985; Stoffel *et al.*, 2006), acercamiento biogeográfico (Butler y Malanson, 1985), la revisión de fotografías aéreas (Lambert, 2009); así como el estudio del factor climático a partir de series antiguas y recientes (Teich *et al.*, 2012b), los registros históricos de aludes (Sawyer y Butler, 2006) y la topografía, fundamentalmente orientaciones y pendientes (Teich *et al.*, 2012a). Además, se ha consultado la bibliografía y cartografía sobre los cambios en los usos del suelo y el calentamiento global a nivel regional, toda vez que son los factores más importantes que están modificando los ecosistemas y el comportamiento de los aludes actualmente (Bebi *et al.*, 2009; Kulakowski *et al.*, 2011).

3.1. Recogida de datos de campo

El trabajo de campo consistió en recorrer las laderas en varios transectos, tanto longitu-

dinales (ascendiendo y descendiendo las canales de aludes previamente identificadas) como transversales (cruzando las zonas de arranque y de llegada), para identificar las zonas de los aludes y sus impactos geocológicos (geoformas erosivas y de acumulación, perturbaciones en la cubierta edáfica y vegetal). En efecto, todos los árboles arrancados, decapitados o dañados fueron examinados, inventariados y localizados por GPS.

Durante los transectos también se llevó a cabo el reconocimiento de las formas y procesos de origen nival, así como el análisis biogeográfico mediante la realización de croquis sobre fotografías aéreas de todas las cubiertas vegetales (en todo el territorio, incluyendo las canales de aludes) y la comprobación de la información contenida en los mapas de vegetación. Igualmente, se obtuvieron datos sobre la orientación, la pendiente, la situación geomorfológica, el sustrato litológico y las características edáficas con la ayuda del GPS y las fuentes cartográficas (mapas temáticos del Gobierno del Principado de Asturias a escala 1:25.000, Mapa Forestal de España a escala 1:25.000).

Además, se llevó a cabo un seguimiento desde 2014 de la actividad de los aludes basado en la observación visual y en el recorrido de los lugares cercanos al desencadenamiento de las avalanchas de nieve después de los temporales.

3.2. Fotointerpretación y cartografía

Los elementos geomorfológicos y las cubiertas del suelo (formaciones vegetales y afloramientos rocosos) identificados y constatados por el trabajo de campo han sido corroborados por fotointerpretación. Hemos utilizado las fotografías aéreas en blanco y negro a escala 1:30.000 de 1980-1986 y las ortofotos a color del PNOA 2015, ambas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Posteriormente, dichos elementos han sido digitalizados para el diseño de la cartografía. Así pues, la información obtenida en el trabajo de campo se incorporó a una base de datos georreferen-

ciada que fue procesada a través de un Sistema de Información Geográfica gestionado mediante el software ArcGIS de ESRI. El SIG nos ha permitido realizar cálculos de superficies, comparar nuestros datos mapeados con otras fuentes digitales disponibles (mapas geológicos, de suelos y de vegetación) y usar el modelo digital de terreno (malla de resolución de 5 x 5 m) del IGN (datos abiertos: http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/locale?request_locale=en) para efectuar análisis de orientación, pendientes y altitud, a fin de precisar los sectores que reúnen las condiciones más favorables para la formación de aludes. A partir de dicho análisis, de la identificación de las zonas potenciales de aludes y de los aludes documentados mediante trabajo de campo y de las encuestas se procedió, también mediante dicho software, a la elaboración de una cartografía de susceptibilidad de desencadenamiento de aludes. En ella se distinguen cuatro categorías, a saber, alta, media, baja y muy baja, teniendo en cuenta los siguientes criterios: pendiente, orientación, altitud y tipo de formación vegetal. En alta susceptibilidad se incluyen las áreas situadas por encima de 1.000 m de altitud, con pendientes superiores a 30°, sin formaciones boscosas ni arbolado disperso y donde los aludes han sido observados en varias ocasiones, al menos, 8 veces en lo que va de siglo. En las zonas de media susceptibilidad se hallan los terrenos con más de 1.000 m de altitud, con pendientes superiores a 30°, con arbolado disperso y aludes detectados mediante fotointerpretación. En las zonas de baja se integran las vertientes por encima de 900 m, con pendientes superiores a 30°, sin atender a la vegetación y excluyendo los rangos anteriormente mencionados. Por último, las áreas de muy baja susceptibilidad ocupan los terrenos con pendientes inferiores a 30° y situados a cualquier altitud (Poblete *et al.*, 2016).

También se ha estudiado el grado de vulnerabilidad de la carretera AS-253, distinguiéndose, a tenor del impacto y frecuencia de los aludes, cuatro grados: alta, media, baja y muy baja. Los de alta vulnerabilidad corres-

ponden a aquellos tramos donde los aludes inciden varias veces en la misma temporada, rompiendo los quitamiedos y bloqueando la carretera, por lo que a veces hay que rescatar a los usuarios. Los de media afectan a los tramos de la carretera sometidos a frecuentes aludes, pero de menos potencia, pues, aunque inciden en ella no rompen las biondas. La baja peligrosidad atañe a los sectores de la calzada en los que los aludes caen ocasionalmente, pero con escasa fuerza, sin causar ningún daño. Finalmente, el último nivel engloba aquellos tramos no alcanzados por los aludes.

Asimismo, la fotointerpretación y el SIG nos han servido para la comparación diacrónica de la cubierta vegetal y, especialmente, de las construcciones e infraestructuras antrópicas. En concreto, se realizó un análisis comparativo de los fotogramas aéreos de 1945, 1957, 1970 y 1985 (después de su digitalización y restitución), así como de las fotos y ortofotografías del PNOA 2003 y 2015.

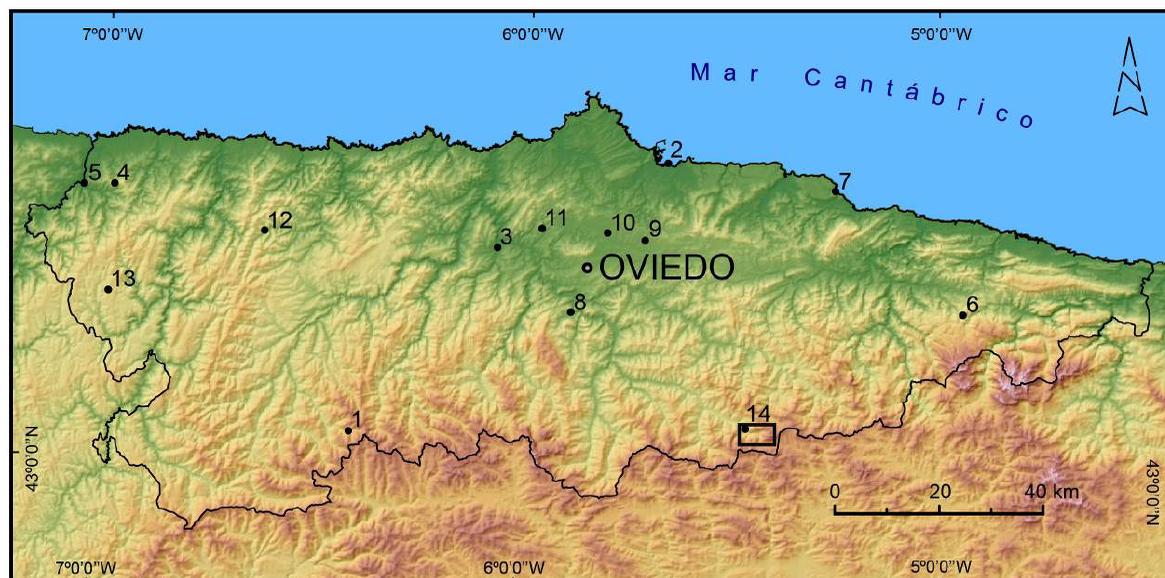
3.3. Datos climáticos

El número de estaciones meteorológicas situadas en zonas de montaña en el Macizo Asturiano es muy reducido, lo que limita y dificulta enormemente las investigaciones. Además, las pocas existentes son relativamente recientes y, por tanto, cuentan con series temporales termopluviométricas muy escasas y poco significativas, a lo que se suma con mucha frecuencia la carencia de datos concretos sobre precipitaciones en forma de nieve o de días de nieve. Por esta razón, hemos seleccionado la estación de Genestoso de la Agencia Estatal de Meteorología, pues no sólo cuenta con registros de temperaturas y precipitaciones, sino que además recoge información sobre días de nevadas y dispone de una serie temporal superior a 30 años (1961-2017). Otra ventaja es que está situada en una zona de media montaña, esto es, a 1.170 msnm en el SW del Macizo Asturiano, a 17 km al SE de Cangas de Narcea y 75 al oeste de San Isidro (Figura 2). Además, se han consultado las nevadas acaecidas en 1945 en las estaciones meteorológicas del antiguo Instituto

Nacional de Meteorología, de series cortas, pero que recogieron dicho meteoro, en concreto, en Gijón, Grado, Castropol y Vegadeo; así como las de las nevadas acontecidas en 1954 cuyas mediciones fueron tomadas en las estaciones de Onís, Lastres, Gijón, Morcín, Anés-Pañeda, Lugo de Llanera, Santullano de las Regueras, Rellanos, San Martín de Oscos y Vegadeo (las únicas estaciones disponibles). Ambos años han sido destacados como de especial incidencia de nevadas en España (Font, 1957; Olcina, 1994) y, especialmente, en Asturias, donde además se produjeron numerosos aludes (La Nueva España, 11/02/2019). Finalmente, también hemos utilizado para las fechas más recientes los registros termopluviométricos de la estación de Aller-Felechosa de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), serie de datos disponible desde 2008, situada en la localidad de Cuevas (750 msnm), a la entrada de la cabecera del valle de San Isidro, donde comienza el ascenso al puerto homónimo. Los datos han sido obtenidos en línea, pues está automatizada y proporciona información cada hora, la cual se ha recabado desde 2015 hasta 2019, especialmente los días afectados por temporales de nieve.

3.4. Datos de eventos de aludes

El estudio de los episodios de avalanchas de nieve se ha realizado mediante la combinación del trabajo de campo, en el que se han detectado árboles y diversos edificios con claros indicios de afección o impacto de aludes, con la fotointerpretación diacrónica de imágenes aéreas, junto con la consulta de fuentes hemerográficas (La Nueva España y El Comercio), así como la realización de entrevistas a la población local. Tales encuestas se han realizado en el concejo de Aller en las poblaciones de Pola del Pino, El Pino, Felechosa, Cuevas y puerto de San Isidro. La búsqueda de información sobre lugares específicos por los cuales descienden los aludes y la cantidad o número de ellos, y fecha en que ocurrieron, se ha completado con reuniones con personal de la Guardia Civil, mantenimiento de carreteras (obras, reparaciones, quitanieves) y Central Hidroeléctrica de Rioseco, de edades



1. Genestoso. 2. Gijón. 3. Grado. 4. Castropol. 5. Vegadeo. 6. Onís. 7. Lastres. 8. Morcín. 9. Añes-Pañeda. 10. Lugo de Llanera. 11. Santullano de las Regueras. 12. Rellanos. 13. San Martín de Oscos. 14. Cuevas de Felechosa.

Figura 2: Estaciones meteorológicas mencionadas en este artículo (área de estudio en el recuadro gris).

Figure 2: Weather stations mentioned in this paper (study area in the grey box).

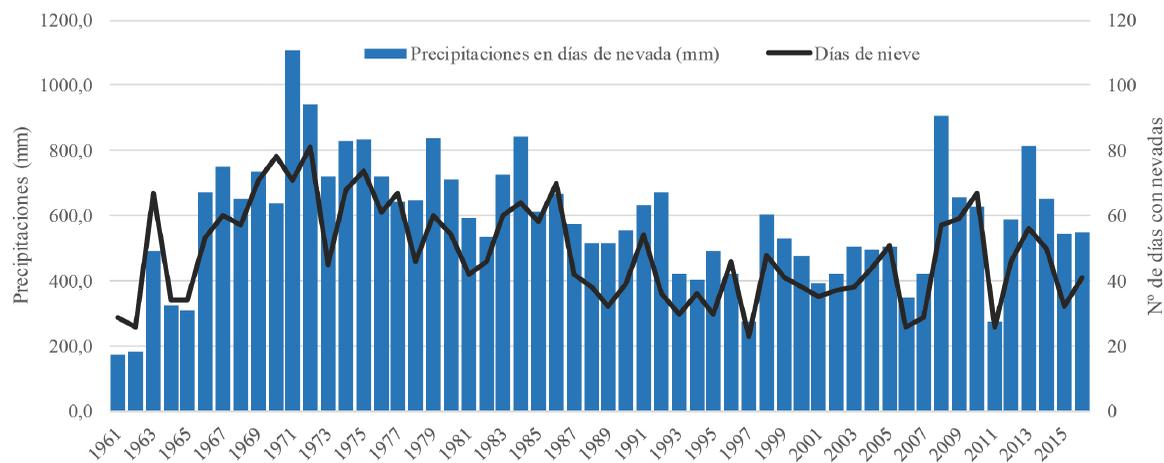


Figura 3: Precipitaciones (mm) en los días de nevada y días de nieve en Genestoso (anual) desde 1961 hasta 2016.

Fuente de los datos: AEMET.

Figure 3: Precipitation (mm) on snowy days and snowy days on Genestoso (annual) from 1961 to 2016.

Data source: AEMET.

comprendidas entre los 40 y los 90 años. También se ha buscado en Internet (sitios web, foros) cualquier noticia sobre eventos de aludes en esta zona montana.

La cronología de los acontecimientos no es homogénea, pues entre 1944 y 2013 se elabora con las noticias de prensa y los testimonios aportados por los entrevistados, corroborados además con datos climáticos de las nevadas; mientras que a partir de 2014 se basa fundamentalmente en nuestras propias observaciones de campo tras el paso de los temporales de nieve.

4. Resultados

4.1. Reconstrucción histórico-climática de los temporales de nieve y la nivinidad reciente en Asturias

De los 22 grandes temporales de nieve registrados en Asturias durante el siglo XX (1905, 1906-1907, 1917-1918, 1933, 1935, 1937-

1938, 1944, 1945, 1946, 1953, 1954, 1956, 1957, 1963-1964, 1968, 1970-1971, 1978, 1983, 1985, 1986-1987, 1993 y 1996), con precipitaciones a lo largo de varios días e incluso semanas, cabe destacar, por su persistencia y magnitud, los acaecidos en enero de 1945 y entre enero y febrero de 1954. Sendos episodios están considerados, por las fuentes hemerográficas consultadas, como los mayores del siglo XX. Se trata, en efecto, de auténticas nevadas, como se denominan en Asturias a las grandes nevadas, que provocaron además importantes aludes. No obstante, los registros climáticos históricos no permiten un conocimiento preciso de su comportamiento, toda vez que se carece de mediciones en las zonas de montaña. En efecto, todos los datos obtenidos se corresponden con poblaciones costeras o cercanas al litoral (Gijón, Grado, Castropol y Vegadeo). A pesar de esto, se puede observar la importancia de las precipitaciones en forma de nieve y su concentración en un periodo de quince días del mes de enero de 1945 (Tabla 1). En las zonas de montaña, tales temporales serían aún más

Tabla 1: Precipitaciones (mm) en enero de 1945. En gris los días de nevada. Fuente: AEMET.
Table 1: Precipitation (mm) in January 1945. In gray the days of snowfall. Data source: AEMET.

Día	Gijón, La Merced (22 msnm)	Grado (60 msnm)	Castropol (25 msnm)	Vegadeo (10 msnm)
3	9,1	21,3	5,4	14,5
4	11,3	19,5	7,9	3,4
5	10,4	11,0	11,4	14,4
6	4,6	6,4	15,2	29,0
7	21,2	8,5	3,8	40,0
8	22,0	31,2	6,7	20,5
9	16,1	17,6	4,2	18,0
10	58,7	29,0	5,2	27,0
11	16,5	17,0	8,4	13,0
12	0	0	12,5	0
13	0,2	4,0	0,6	0
14	13,5	18,4	21,3	37,8
15	3,2	18,0	5,7	18,1
16	21,7	0	3,1	0
17	3	0	0,8	0
18	5,4	3,5	10,9	7,0

rigurosos e intensos como lo demuestra el hecho de que en Felechosa, situado a 650 msnm en el valle de San Isidro, la nevada se prolongó ininterrumpidamente desde el 26 de diciembre de 1945 hasta el 19 de enero del año siguiente, alcanzando el manto de nieve un espesor de 1,8 m (según el cronista del Centro Asturiano de Oviedo, Pedro Rodríguez Cortés, comunicación oral). Por tanto, en el puerto de San Isidro se superarían con creces los 2 m de espesor y el número de aludes es probable que fuese muy elevado. De hecho, como consecuencia de este mismo temporal se desencadenó un alud en Tarna (concejo de Caso) que desplazó una vivienda y causó la muerte de tres personas. En cuanto a las nevadas de enero y febrero de 1954 disponemos de más estaciones meteorológicas (Cangas de Onís, Lastres, Gijón, La Foz de Morcín, Anes-Pañeda, Lugo de Llanera, Santullano de las Regueras, Rellanos, S.Martín de Oscos, Vegadeo) con registros de las precipitaciones en forma de nieve (Tabla 2) pero alejadas del área de estudio. Es muy llamativa la existencia de dos periodos: uno a comienzos de enero de 1954, entre los días primero y octavo, con nevadas durante tres días consecutivos (Cangas de Onís) o cinco (La Foz de Morcín) y una acumulación de precipitaciones en forma de nieve cercana en varios lugares a los 100 mm; otro en los últimos días de enero y primeros de febrero. En este último, las nevadas se produjeron durante 7 u 8 días seguidos (Cangas de Onís, La Foz de Morcín, Lastres, San Martín de Oscos), superándose con creces los 100 mm de nieve en el periodo (Tabla 2). En cuanto a los espesores que alcanzaron las nevadas, hay que señalar que en Oviedo (296 msnm) superaron con creces los 50 cm de espesor, en Tineo (650 msnm) entre 1,15 y 1,5 m y en el puerto de Pajares (1.360 msnm) se acumularon más de 5 m, interrumpiéndose las comunicaciones con la Meseta durante una semana. Fueron, por tanto, auténticas nevadonas que generaron grandes aludes e importantes infortunios para la región, tal y como recoge la prensa asturiana.

Durante el siglo XXI se han producido en Asturias, al menos, 15 grandes temporales de

nieve (diciembre de 2004, enero y febrero de 2005, diciembre de 2008, enero de 2010, febrero de 2013, enero y febrero de 2015, febrero de 2016, noviembre de 2016, enero y febrero de 2018, octubre de 2018, enero, febrero y noviembre de 2019), de los cuales cabe destacar los ocurridos en 2004, 2005, 2008, 2010, 2013, 2015, 2018 y 2019, pues generaron en la zona de estudio aludes muy numerosos y repetitivos. En efecto, se trata de aludes muy recurrentes, los cuales bloquearon en numerosas ocasiones la carretera AS-253, precisando en, al menos, cuatro ocasiones la intervención de los servicios de urgencias del Principado para rescatar a los usuarios (26/02/2005, 5/12/2008, 14/12/2008 y 11/02/2013). Aunque los actuales temporales de nieve no alcanzan las enormes magnitudes y proporciones de los acontecidos a mitad del siglo XX (tanto en cantidades de nieve como en número de días), no obstante, siguen siendo numerosos y frecuentes, sin constreñirse temporalmente a los meses de invierno (enero y febrero) sino que pueden adelantarse al otoño y extenderse incluso hasta finales de la primavera (mayo-junio).

En la actualidad, la cantidad de precipitaciones en forma de nieve en las montañas asturianas (según los datos de Genestoso en la serie 1987-2016) es de 526,52 l/m² de media anual, en tanto que el número de días de nieve al año alcanza un promedio de 40,9¹ (Figura 3). Estas cifras revelan que en los últimos 30 años, respecto al resto de la serie (1961-1986) con 649,68 l/m² en 56,77 días², se ha producido un descenso tanto en la cuantía media de las precipitaciones en forma de nieve como en el número medio de días de nieve, de 123,16 l/m² y 15,87 respectivamente. Por otro lado, en los últimos cinco años (en los que se han

1 Ambas medias son representativas pues los coeficientes de variación de Pearson para las precipitaciones en forma de nieve y los días de nevada alcanzan valores de 25,89% y 26,01%.

2 También ambas medias son significativas pues los coeficientes de variación de Pearson para las precipitaciones en forma de nieve y los días de nevada representan el 32,71% y el 26,12% respectivamente.

Tabla 2: Precipitaciones (mm) en enero y febrero de 1954. En gris los días de nevada. Fuente: AEMET.
 Table 2: Precipitation (mm) in January and February 1954. In grey the days of snowfall. Data source: AEMET.

Día	Cangas de Onís (80 msnm)	Lastres (93 msnm)	Gijón, La Merced (22 msnm)	La Foz de Morcín (260 msnm)	Anes-Pañeda (200 msnm)	Lugo de Llanera (160 msnm)	Santullano de las Regueras (180 msnm)	Rellanos (340 msnm)	S.Martín de Oscos (697 msnm)	Vegadeo (10 msnm)
1	29,4	13,4	0,8	7,0	16,3	0,2	10,9	10,0	2,0	3,6
2	1,7	2,4	5,3	0,9	10,1	10,2	7,7	4,6	8,0	3,2
3	10,5	2,9	3,6	16,0	10,6	0	4,5	0	12,0	6,1
4	28,5	8,9	9,5	23,1	16,9	2,4	6,7	13,5	7,0	8,2
5	37,0	7,9	16,6	32,0	27,1	27,3	11,0	16,2	6,0	10,0
6	37,1	13,0	9,3	22,3	15,0	21,3	25,0	19,0	26,0	9,2
7	25,0	3,7	8,1	18,0	13,1	6,8	21,0	25,0	6,0	3,5
8	1,1	0,3	0	2,1	1,6	7,0	7,0	13,0	0	0
9	1,8	0,2	-	-	1,1	0,2	1,5	0	0	0
10	7,7	3,0	1,4	4,0	4,8	2,4	0,7	1,2	12,0	5,3
...
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	14,0	19,0	20,5	17,9	16,2	4,0	0	0	11,0	11,0
26	56,8	42,0	45,3	22,0	34,7	26,0	25,5	25,5	14,0	22,5
27	5,5	2,2	12,7	3,4	9,8	16,0	26,0	34,0	38,0	5,0
28	6,4	11,8	13,8	2,4	12,1	2,0	5,5	9,0	25,0	9,3
29	361	29,9	18,6	44,0	21,6	32,0	7,5	43,5	31,0	35,2
30	35,7	12,2	19,0	40,8	18,3	40,0	40,0	46,6	15,0	13,0
31	4,8	12,5	4,0	18,4	0	18,0	28,9	22,5	7,0	16,0
1	39,4	4,3	2,0	12,5	0	22,0	13,0	15,0	20,0	35,1
2	8,3	3,4	4,1	17,3	0	18,0	7,0	6,5	10,0	13,0
3	8,6	0,7	0,8	6,0	0	10,0	12,8	20,0	7,0	6,3
4	8,8	1,8	2,4	2,9	0	10,2	5,7	9,0	3,0	4,3
5	22,9	12,0	5,7	1,0	0	-	3,2	4,0	0	6,5
6	2,8	5,0	9,2	5,8	0	1,4	3,5	4,4	0	2,6
7	8,2	2,1	1,7	0,5	68,7	0	3,9	1,0	0	1,1
8	8,8	2,0	2,0	2,5	5,1	3,0	1,3	3,7	0	2,2

seguido los temporales diariamente y hora a hora) la niviosidad tiene lugar de forma muy concentrada y copiosa, en episodios del orden de 5 o 6 días (con 2 o 3 muy intensos) y con cantidades que superan en ocasiones los 30 mm en 24 h. Cabe destacar, entre otros, los acontecidos en la estación de Aller-Felechosa entre los días 1 y 7 de febrero de 2018, en los que cayeron un total de 203,8 mm de nieve (el 2 de febrero se alcanzaron 40,2 mm de nieve).

Entre los días 24 y 25 de marzo de 2018 volvieron a caer un total de 102,6 mm de nieve. El 29 de octubre de ese mismo año se registró una nevada de 38,2 mm y en 2019, finalmente, se acumularon 61,4 mm de nieve entre los días 1 y 2 de febrero y 69,2 el 15 de noviembre (Tabla 3). Días después, con el fin de los temporales y la mejora térmica, se produjeron aludes que cortaron la carretera (p.e. La Nueva España, 20/11/2019).

Tabla 3: Principales temporales de nieve en los últimos cinco años en Aller-Felechosa (750 m). Fuente: AEMET.

Table 3: Main snowstorms in the last five years in Aller-Felechosa (750 m). Data source: AEMET.

Año	Mes	Día	Precip. (l/ m ²)		Año	Mes	Día	Precip. (l/ m ²)
2015	Enero	18	35,2		2018	Enero	6	2,8
		19	26,2				7	34
		20	24,6			Enero	26	38,6
		21	34,2				27	5,4
		22	25,6			Febrero	1	17,6
	Febrero	1	18,8				2	38,6
		2	20,4				3	30,2
		3	34,8				4	40,2
		4	11,2				5	22,8
		5	20				6	29,4
		6	11				7	15,4
2016	Febrero	26	23		Marzo	19	22,6	
		27	40,2			20	19,8	
		28	35,8		Marzo	24	48	
	Noviembre	5	25,2			25	54,6	
		6	40,4		Octubre	27	25,4	
		7	38,4			28	14,9	
	Noviembre	23	27,2			29	38,2	
		24	11,6		2019	Enero	21	13,8
Enero	13	14,4		22			51,4	
	14	21,2		23			30,6	
	15	14		Febrero		1	15,2	
	16	15,4				2	46,2	
	17	12		Noviembre		14	28,2	
Noviembre	29	14,8				15	69,2	
	30	11			16	10,2		
	1	38,4			17	6,4		
	2	10,4						
Diciembre	11	18,4						
	12	12,4						

4.2. Reconstrucción espacial de la zona de aludes

En el mapa de aludes, donde se delimitan las áreas en las que se ha producido su desencadenamiento a lo largo del tiempo, se identifican y representan un total de 63 zonas, de las cuales 37 se hallan orientadas al N y NO, 15 al S y SO y finalmente 11 al O (Figura 4). Tales zonas de aludes se caracterizan, en su mayo-

ría, por su forma alargada y estrecha al estar encauzadas siguiendo los canales, alcanzando recorridos máximos de 800 m. A excepción de Los Cálmaros y Fueyos, cuyas zonas de llegadas no están canalizadas y se caracterizan por su forma en abanico (otros aludes como los de El Aspra también han generado depósitos con esta morfología aunque de menor entidad) y distancias máximas de 1,6 y 1,2 km respectivamente. Precisamente ambas zonas

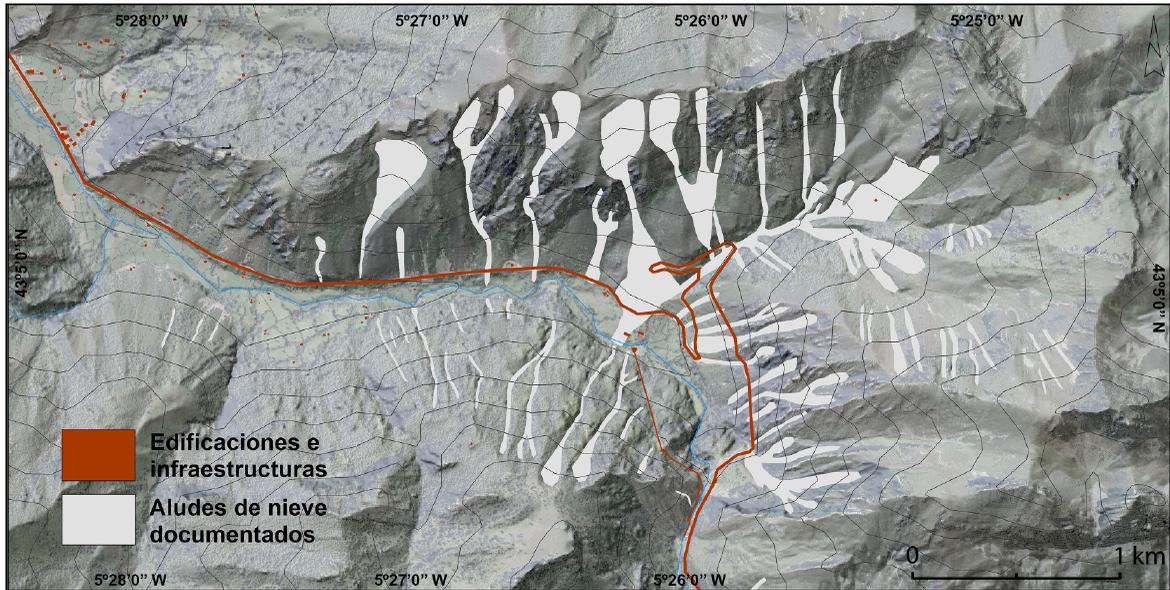


Figura 4: Aludes documentados.

Figure 4: Documented snow avalanches.

han sido las más difíciles de identificar y cartografiar, dada la falta de evidencias geomorfológicas, por lo que han sido reconstruidas a través de los impactos en edificaciones y especialmente de los testimonios de los encuestados, los cuales señalan la trascendencia de un evento acontecido a mediados del siglo XX, muy probablemente entre enero y febrero de 1954. Los informantes confirman que un alud de nieve en polvo de proporciones extraordinarias se desplazó por el valle del arroyo de los Fueyos, acopiando la nieve de las canales que lo alimentan e incluso capturando la de la canal de grandes dimensiones procedente de Los Cálmaros, alcanzando el fondo del valle e incluso la ladera opuesta. En su camino destruyó infraestructuras y edificios, destacando las viviendas y cuadras de la Central Hidroeléctrica de Rioseco, edificada entre 1918 y 1922. En efecto, cuando en 1956 los obreros llegaron a la Central para reconstruirla (durante la Guerra Civil, el edificio principal era un objetivo militar y fue incendiado en la huida de las tropas gubernamentales) lo primero que tuvieron que hacer, durante meses, fue sacar los escombros de las edificaciones destruidas por el alud. No fue hasta el

verano de 1958 cuando se consiguió terminar esta tarea y comenzar la reconstrucción de la Central calcinada.

Una vez puesta en funcionamiento se comprobó que los inviernos eran muy duros, toda vez que los obreros pasaban semanas incomunicados, por lo que tenían que autoabastecerse. Por esto, se reconstruyeron algunas edificaciones para servir de cuadras y albergar animales. En 1963 se construyó también una pared en la cara este de la Central para facilitar ciertos trabajos y protegerla de los aludes. Así mismo, en los 70 se levantó un nuevo edificio para viviendas del que salían caminando por las ventanas de la primera planta (2,5 m) durante las grandes nevadas. En la parte trasera de la Central, se edificó también un pequeño búnker en el que se refugiaban durante días los trabajadores y sus familias.

En torno al año 1985 (año no concretado) un alud de nieve en polvo proveniente de la canal de Los Cálmaros destruyó por completo una cabaña ganadera al norte de la instalación hidroeléctrica (Figura 5). Ciertamente,

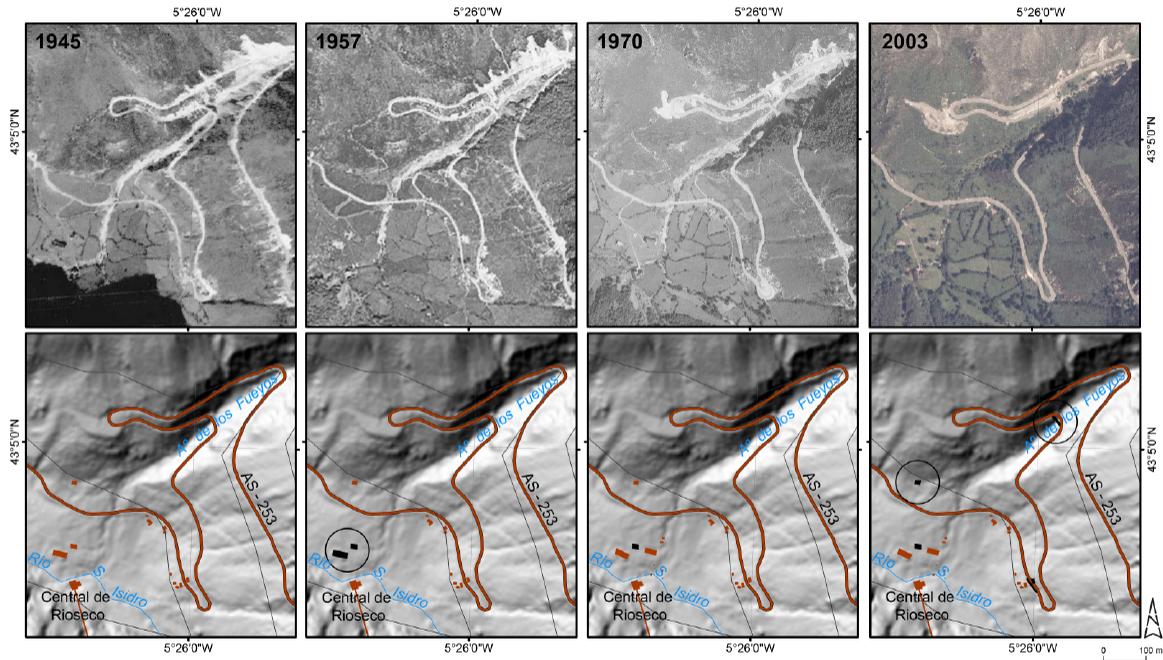


Figura 5: Secuencia temporal de fotografías aéreas mostrando la destrucción de edificaciones e infraestructuras por los aludes. En negro los elementos desaparecidos o modificados y en un círculo los desaparecidos por alud.

Figure 5: Temporal sequence of aerial photographs showing the destruction of buildings and infrastructure by snow avalanches. In black the elements destroyed (buildings) or modified (road and bridge), within a circle those destroyed by snow avalanches.

esta canal afecta de forma recurrente a la curva de La Rebollosa, emplazada sobre un gran depósito de aludes en forma de abanico.

Del mismo modo, los aludes que se concentran en Los Fueyos han ocasionado destrozos en los puentes que cruzan este vallejo, que actúa como canal llegando incluso a desplazarlos en bloque obligando a la construcción de una nueva infraestructura. Según los operarios de la carretera y las propias observaciones, en todo el recorrido de la carretera, especialmente desde la curva de La Rebollosa y hasta Riofrío, los daños a señales, quitamiedos e incluso a los propios elementos antialudes son constantes en los periodos invernales. En definitiva, la reconstrucción espacial de la zona de aludes del Alto San Isidro desvela que buena parte del trazado de la carretera discurre por depósitos de aludes, así como zonas de tránsito y de llegada de, al menos, 24 zonas de aludes muy activos a lo largo del tiempo.

4.3. El desencadenamiento de aludes y la vulnerabilidad de la carretera AS-253

Los aludes que en los últimos 15 años se han producido en el Alto San Isidro y han incidido con especial recurrencia en la AS-253, casi de manera ininterrumpida, salvo en 2011 y 2012, se generan mayoritariamente en laderas orientadas al S, SO y al O; y en menor medida en las situadas al N y NO. Pese a que las vertientes septentrionales representan el 44,8% del territorio analizado (Tabla 4), sin embargo, los aludes procedentes de ellas son escasos y de pequeñas dimensiones, debido fundamentalmente a que se hallan colonizadas en un 63% por un denso hayedo perteneciente al Monte de Utilidad Pública número 184, lo que dificulta su formación. Por el contrario, las laderas meridionales, sometidas a una mayor radiación solar, disponen no sólo de pendientes acentuadas y propicias, sino que además están desprovistas de vegetación arbórea

Tabla 4: Superficie según orientaciones y pendientes en el Alto San Isidro.

Table 4: Area in relation to aspects and slopes in the Upper San Isidro.

Orientación	Superficie		< 10°	10 - 30°	30 - 50°	> 50°
	(ha)	% total				
Norte	303,1	18,6	3,5	26,5	63,2	6,8
Nordeste	155,1	9,5	4,0	29,8	56,7	9,5
Este	107,9	6,6	2,0	39,6	51,5	6,9
Sureste	96,2	5,9	1,6	29,1	59,6	9,7
Sur	246,1	15,1	1,4	24,3	64,9	9,4
Suroeste	246,1	15,1	3,9	33,1	58,7	4,3
Oeste	202	12,4	7,3	41,9	46,1	4,7
Noroeste	272,2	16,7	4,3	34,1	54,5	7,1
Total	1628,7	100	3,68	31,66	57,61	7,05

(Tabla 5). De hecho, el 74,6% de la roca desnuda del área de estudio aflora en las orientaciones de solana. Cabe señalar que el análisis evolutivo de la cubierta vegetal realizado entre 1945 y 2015 no ha proporcionado cambios reseñables. Además, en estas vertientes se produce una importante acumulación de nieve debido a que se encuentran a sotavento de los vientos del N asociados a las borrascas polares de aire frío marítimo. Por otro lado, los aludes procedentes de las vertientes orientadas al O se forman por encima de la escasa cubierta forestal y se encauzan por canales bien definidas, lo cual permite que descendan ladera abajo hasta casi alcanzar el fondo del valle.

Las pendientes más propensas para la formación de aludes oscilan entre los 30 y 50°, que ocupan más de la mitad del territorio, esto es,

el 57,6% (Tabla 4) y alcanzan su máxima proporción en la franja altitudinal situada entre 1.000 y 1.200 m, representando el 65,5% de ese tramo altitudinal (Tabla 6). Esta es una de las razones que explica, junto con la abundante niviosidad, que los aludes se produzcan a apenas 1.000 msnm. No obstante, los aludes más destacados tienen su punto de partida en torno a 1.600 m de altitud aunque hay zonas de salida por debajo incluso de 1.200 m. Por otro lado, las de tránsito se sitúan entre los 1.150 y 1.200 msnm, por la que transcurre un buen tramo de la carretera. Por último, las áreas de llegada descenden hasta los 900 m. En cuanto al tipo de aludes, cabe destacar, a tenor de las observaciones de campo, el predominio de los de nieve húmeda, que se desencadenan tras el paso de las borrascas polares, por la irrupción de vientos más cálidos procedentes del

Tabla 5: Orientaciones y distribución de la cubierta del terreno en el Alto San Isidro (porcentaje).

Table 5: Aspects and distribution of the land cover in the Upper San Isidro (percentage).

Orientación	Roca	Matorral y Roca	Herbaza/Pastizal	Matorral/Arbustos	Bosque	Total
N	2,58	0,29	2,92	22,17	72,05	100
NE	10,78	0,05	8,79	19,17	61,21	100
E	10,72	0,00	5,11	35,83	48,33	100
SE	33,45	0,03	3,17	44,03	19,32	100
S	30,66	0,94	4,93	51,41	12,05	100
SO	14,09	5,40	7,79	57,24	15,48	100
O	4,50	4,56	5,42	50,97	34,55	100
NO	1,45	2,31	6,38	34,73	55,13	100

SO (Boletines Mensuales Meteorológicos) que producen la fusión del manto nival y un incremento de la inestabilidad.

Según el mapa de susceptibilidad, la distribución resultante pone de manifiesto que nos hallamos ante un territorio en el que prima una alta susceptibilidad de formación de aludes. En concreto, esta asciende a un 39,6%, mientras que la media es de apenas un 2,08%, la baja supone un 21,8% y la muy baja un 36,52% (Figura 6).

Por su parte, la carretera tiene asimismo una alta vulnerabilidad debido a que el trazado discurre tanto por las zonas de llegada de los aludes como por las de tránsito, en concreto, los sectores más expuestos al impacto de

los aludes suman un total de 1 km, lo que representa un 14% (Figura 7). En concreto, los lugares de mayor vulnerabilidad se sitúan en torno a el Carrozal (p.k. 17), El Aspra (p.k. 18), Rioseco (p.k. 18+500m), la curva de La Rebollosa (p.k. 19+900 y 20), Los Arenales (p.k. 20+200) y Puente Cimero (Los Fueyos) (p.k. 20+300), que suman un total de 10 tramos de calzada carentes además de cualquier medida defensiva; así como el punto kilométrico 20+900 y la curva de Valverde (p.k. 21+500), cuyas barreras flexibles son incapaces de evitar la formación de los aludes y de detenerlos. Esto conlleva un grave riesgo tanto para las personas como para las infraestructuras y revelan que las disposiciones preventivas adoptadas a partir de 2008 no han sido lo suficientemente eficaces (Figura 8).

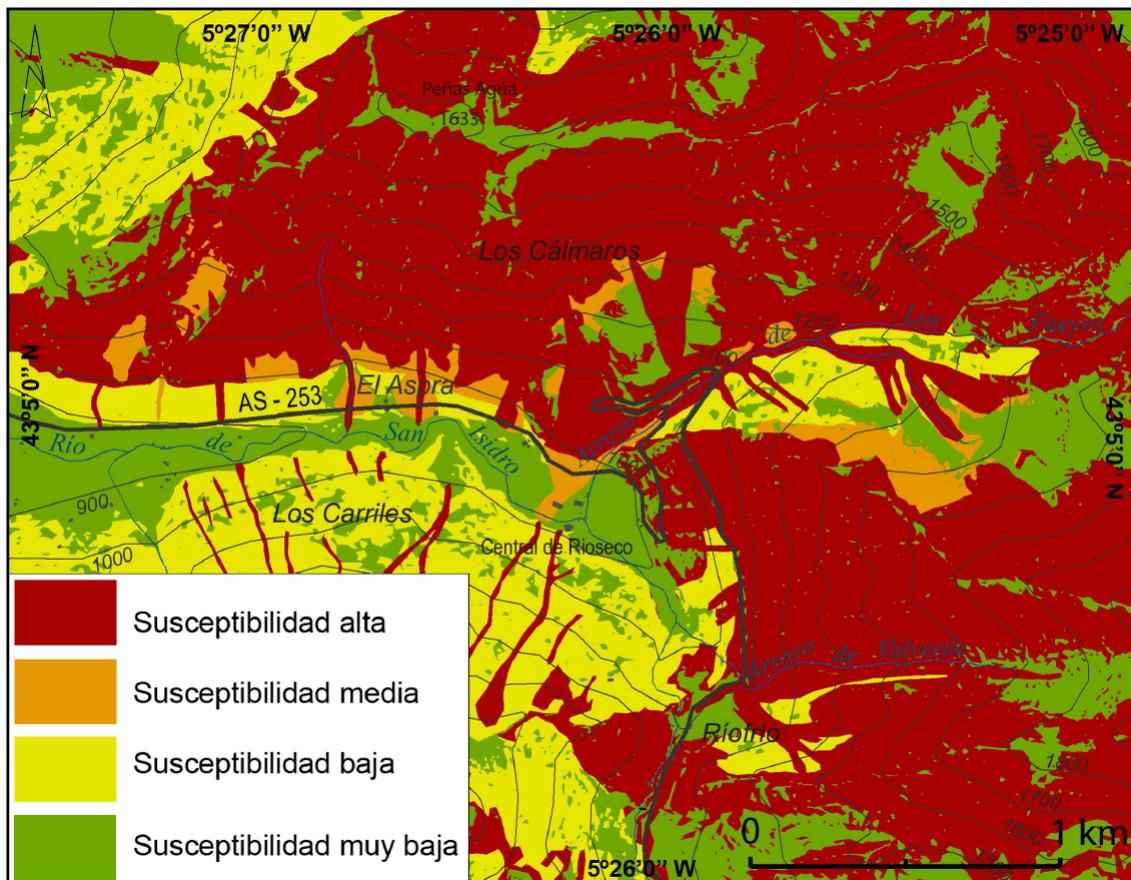


Figura 6: Mapa de susceptibilidad de aludes (modificado a partir de Poblete *et al.*, 2016).

Figure 6: Snow avalanches susceptibility map (modified from Poblete *et al.*, 2016).

Tabla 6: Pendientes según rangos altitudinales en el Alto San Isidro.
 Table 6: Slopes in relation to altitudinal ranges in the Upper San Isidro.

Altitud	Superficie (ha)	%	< 10°	10 - 30°	30 - 50°	> 50°	% de bosque
<1000	264,8	16,3	4,2	39,9	38,5	17,4	42,9
1000-1200	276,3	17	1,3	24,6	65,5	8,6	60,3
1200-1400	322,8	19,8	0,9	26,9	63,4	8,9	56,5
1400-1600	414,3	25,4	1,2	36,2	57,7	4,8	39,1
1600-1800	248,9	15,3	0,8	33	58,5	7,7	1,1
1800-2000	95,7	5,9	0,3	27,3	61,4	11	0
>2000	5,6	0,3	0,4	8,1	61,1	30,4	0
Total	1628,4	100	3,7	31,7	57,6	7,0	41,25

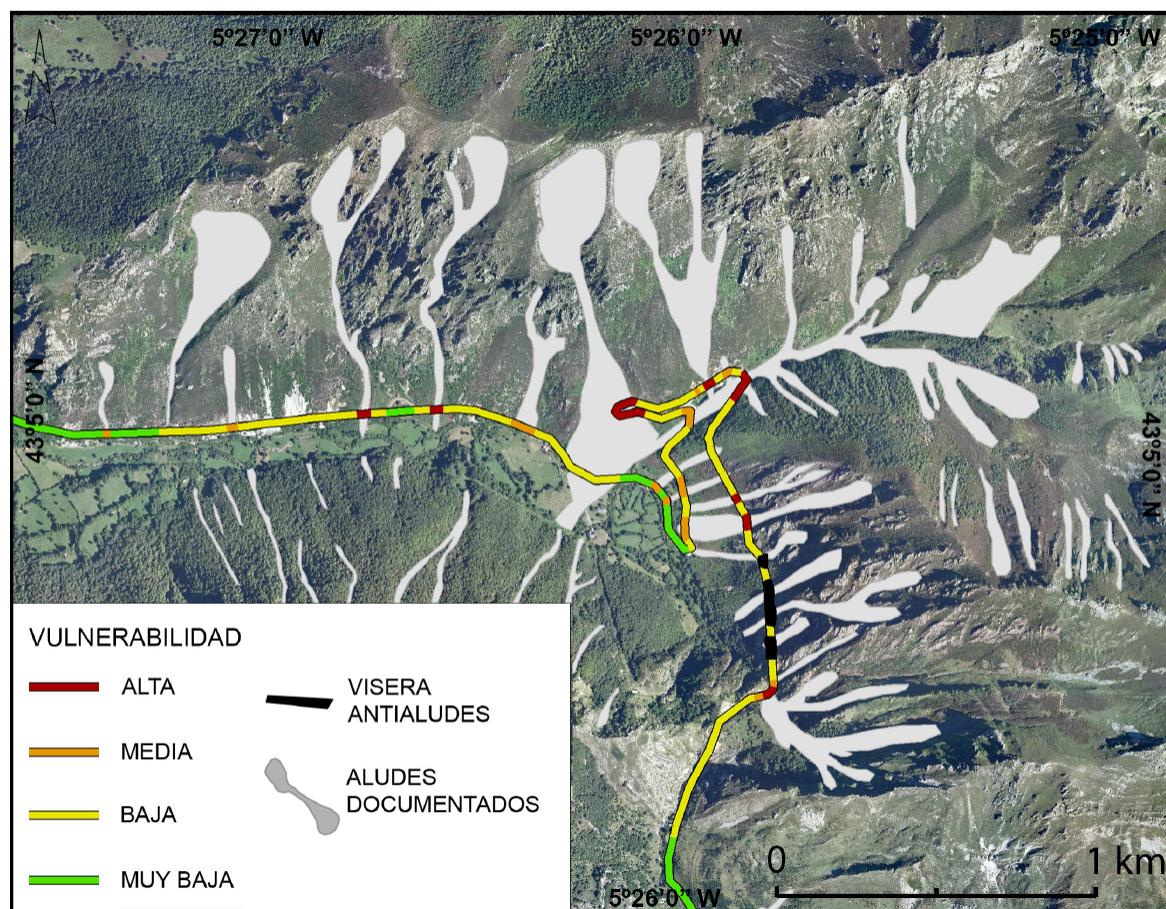


Figura 7: Mapa de vulnerabilidad de la carretera AS-253 (modificado a partir de Poblete et al., 2016).

Figure 7: Vulnerability map of AS-253 road (modified from Poblete et al., 2016).

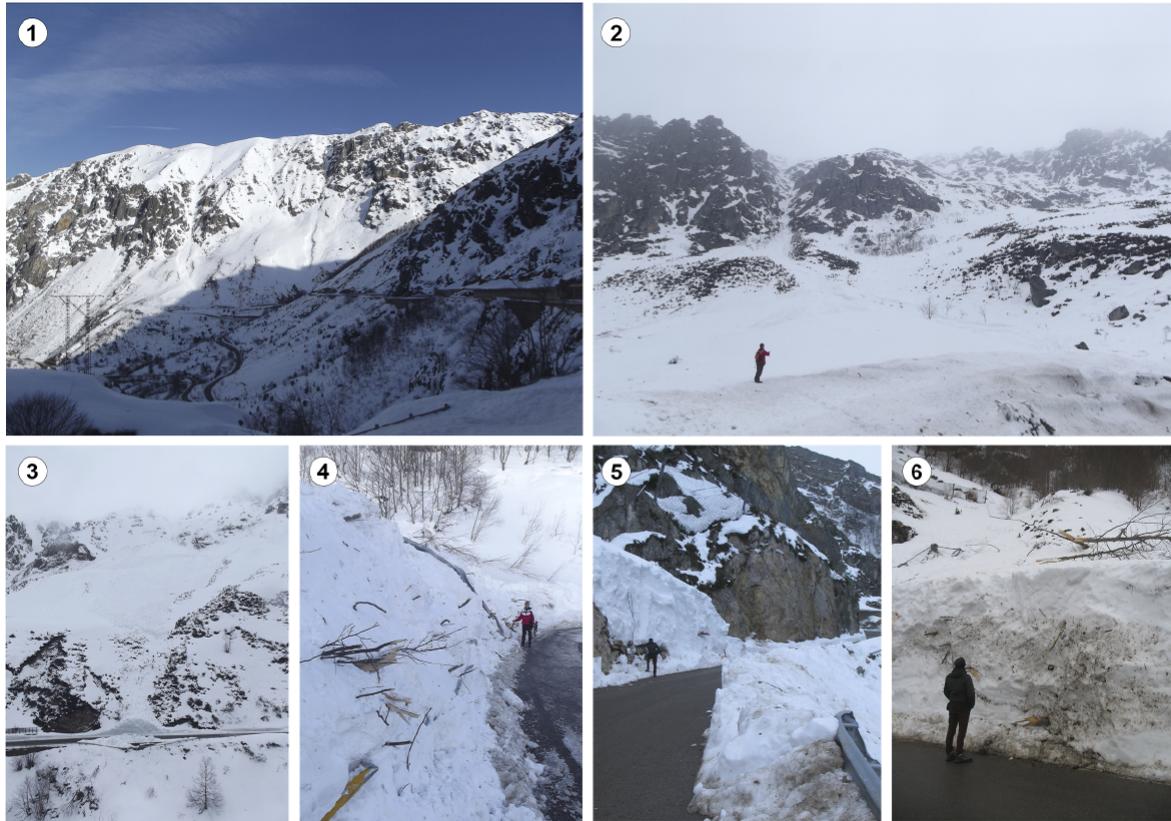


Figura 8: 1. Trazado de la carretera AS-253 en su ascenso al Puerto de San Isidro (15/03/2016). 2. Alud de Los Cálmaros en la curva de La Rebollosa (28/01/2015). 3. Alud en Los Arenales (25/02/2015). 4. Alud en Puente Cimero (9/02/2015). 5. Alud en el punto kilométrico 20+900 (28/01/2015). 6. Alud en la canal de Valverde (28/01/2015).

Figure 8: 1. AS-253 road to Puerto de San Isidro (15/03/2016). 2. Snow avalanche of Los Cálmaros on the La Rebollosa road curve (28/01/2015). 3. Snow avalanche on Los Arenales (25/02/2015). 4. Snow avalanche of Puente Cimero (9/02/2015). 5. Snow avalanche on the 20+900 km (28/01/2015). 6. Snow avalanche of the Valverde path (28/01/2015).

5. Discusión

El cambio climático está afectando al Macizo Asturiano, en especial, a las zonas de montaña, y se manifiesta no sólo en un aumento medio de la temperatura de $0,21^{\circ}\text{C}$ por década (igualmente si observamos las temperaturas media, máxima y mínima estacionales de invierno) desde los años 60 (Álvarez *et al.*, 2009), sino también en un descenso de las precipitaciones en forma de nieve. Según se deduce del análisis de la serie de Genestoso, en los últimos treinta años la disminución alcanza un promedio de $123,16 \text{ l/m}^2$ y de 15,87 días de nevadas. Pese a ello, y contrario a lo que podría inferirse, los grandes temporales

de nieve siguen siendo muy frecuentes (15 en lo que va de siglo) y, aunque no se conoce todavía con exactitud el comportamiento de las precipitaciones nivales en el pasado, podemos inferir que en la actualidad presentan registros menores. Además, esta niviosidad se concentra en pocos días (incluso más de 100 mm en sólo dos días y a apenas 750 m de altitud en la estación de Aller-Felechosa) acumulándose grandes espesores que causan la formación de numerosos y significativos aludes en el Alto San Isidro y en las montañas medias en general (Beato *et al.*, 2019b); por cuanto que un criterio clásico para definir escenarios de aludes es tomar los valores de precipitación de nieve reciente (en 72 h) como espesor

de nieve movilizable (Burkard y Salm, 1992). Además, los aludes en San Isidro se ven favorecidos por el efecto de barrera que desempeñan las alineaciones montañosas asociadas a la escama cabalgante de Laviana, dispuestas en dirección E a O, esto es, perpendicular a las borrascas polares procedentes del N, que producen grandes acumulaciones de nieve en las vertientes a sotavento; así como por las adecuadas pendientes (entre 30 y 50°) concentradas entre 1.000 y 1.200 m de altitud, la carencia de vegetación arbórea y posterior irrupción de vientos más cálidos. El hecho de que tales vertientes carezcan prácticamente de formaciones vegetales se debe a la intensa actividad agrosilvopastoril tradicional que conllevó una fuerte deforestación y desprotección frente a los aludes, incrementándose su frecuencia y efectividad sobre las zonas más bajas tal y como ocurre en otros enclaves cantábricos como los Picos de Europa (González, 2007). El proceso de expansión del matorral y de evolución de la sucesión vegetal generalizado en el Macizo Asturiano (Beato *et al.*, 2019b) es también evidente aquí, no obstante, los cambios en la cubierta vegetal no son reseñables ni parecen influir en la dinámica de las laderas.

Cabe añadir además que el aumento de las temperaturas medias durante el invierno y la primavera, fruto del cambio climático, favorece la fusión de la nieve y la inestabilidad de los mantos nivales (Ballesteros-Cánovas *et al.* 2018; Naaim *et al.* 2016). Así pues, de manera recurrente se generan capas inestables en los mantos nivales que explican el predominio de las avalanchas de nieve húmeda en San Isidro (un hecho común en la Cordillera Cantábrica por su clima húmedo y templado), cuyo incremento se ha constatado en los Alpes (Martin *et al.*, 2001; Naaim *et al.* 2016) e Himalaya (Ballesteros-Cánovas *et al.* 2018).

La aplicación de una metodología combinada basada en observaciones de campo, fotointerpretación de series temporales de fotografías, consulta de fuentes hemerográficas y encuestas a los lugareños nos ha permitido reconstruir las zonas de aludes, en especial, de los

menos conocidos, esto es, los acaecidos en 1954 y 1985, los cuales fueron aludes de nieve seca y alcanzaron dimensiones excepcionales. Tales eventos, aunque inusuales, han de ser tenidos en cuenta para llevar a cabo una adecuada protección de la zona ante el riesgo de aludes, así como las 24 zonas de aludes que afectan al trazado de la carretera AS-253. Si bien es cierto que los encuestados tienen una memoria selectiva, sin embargo, tienden a recordar con relativa precisión sucesos de aludes extremos, lo cual ha sido fundamental para que pudiéramos llevar a cabo la reconstrucción de los más antiguos. La información proporcionada ha sido posteriormente corroborada con las observaciones de campo y, en especial, con las huellas o impactos en las edificaciones, así como en las series temporales de las fotografías aéreas. Con respecto a los archivos de prensa, conviene subrayar que este método de análisis tiende a subestimar las avalanchas de nieve de pequeña magnitud que no afectan a infraestructuras importantes, causan lesiones o muertes (Sawyer y Butler, 2006). Por esta razón, tienden a recoger aquellos que tienen mayor relevancia y, por tanto, los datos de esta fuente deben tomarse con mucha cautela y utilizarse más bien de forma complementaria. García-Hernández *et al.* (2017) recogen entre los años 1800 y 2015 un total de 273 noticias de prensa referidas a aludes en todo Asturias y, sin embargo, sólo en la vertiente oriental de la Sierra del Aramo se registraron más de un centenar de aludes en 2015 (Beato *et al.*, 2019b) y en el mismo año decenas en el Alto Aller (Poblete *et al.*, 2016). En efecto, las referencias hemerográficas a los eventos de aludes acontecidos en la zona analizada son básicamente recientes (ver, por ejemplo, El Comercio Digital de Asturias, 11/02/2013, 22/02/2015, 16/01/2018, 04/02/2018 y 23/01/2019) y no permiten ni siquiera conocer lo sucedido durante el siglo XX.

La elevada susceptibilidad del territorio a la formación de aludes en San Isidro pone de manifiesto, en realidad, la importancia que dicho fenómeno tiene en todo el conjunto del Macizo Asturiano, no sólo en la alta sino tam-

bién en la media montaña. En efecto, Beato *et al.* (2019b) han calculado que las montañas medias afectadas potencialmente por aludes ascienden a una superficie de 173,1 km², lo que representa el 9,6% de dicho macizo. El papel en la configuración del paisaje y el riesgo que constituyen son de una gran relevancia y no puede ser pasado por alto, especialmente en las montañas medias situadas entre 1.000 y 1.800 m y con pendientes entre 30 y 50° en las que se localizan infraestructuras y desarrollan actividades socioeconómicas. Las razones que explican el alto riesgo que corren las montañas medias del Macizo Asturiano son las siguientes: el tamaño medio de los recorridos de los aludes se halla entre 300 y 400 m (Marquínez *et al.*, 2003), el predominio de los aludes de nieve húmeda (Castañón, 1984; Wozniak y Marquínez, 2004), el desencadenamiento tiene lugar a unos 200 m por enci-

ma del *treeline* generado por la actividad antrópica agrosilvopastoril (Beato *et al.* 2019a) y afectan a numerosos tramos de carreteras regionales, comarcales y locales (Wozniak y Marquínez, 2004).

Del análisis de la vulnerabilidad de la carretera AS-253 se infiere que las medidas anti-aludes realizadas entre 2008 y 2009 no han sido lo suficientemente eficaces, de modo que, aunque han atenuado el riesgo de los aludes, sin embargo, siguen existiendo 24 tramos afectados por ellos con una frecuencia casi anual. Por otro lado, las actuaciones preventivas se aplicaron exclusivamente en la ladera occidental del Pico Torres (donde se instalaron 20 barreras flexibles y 3 viseras), a fin de aminorar el impacto y el número de aludes que afectan este tramo de la carretera, subestimando los que se producen en la

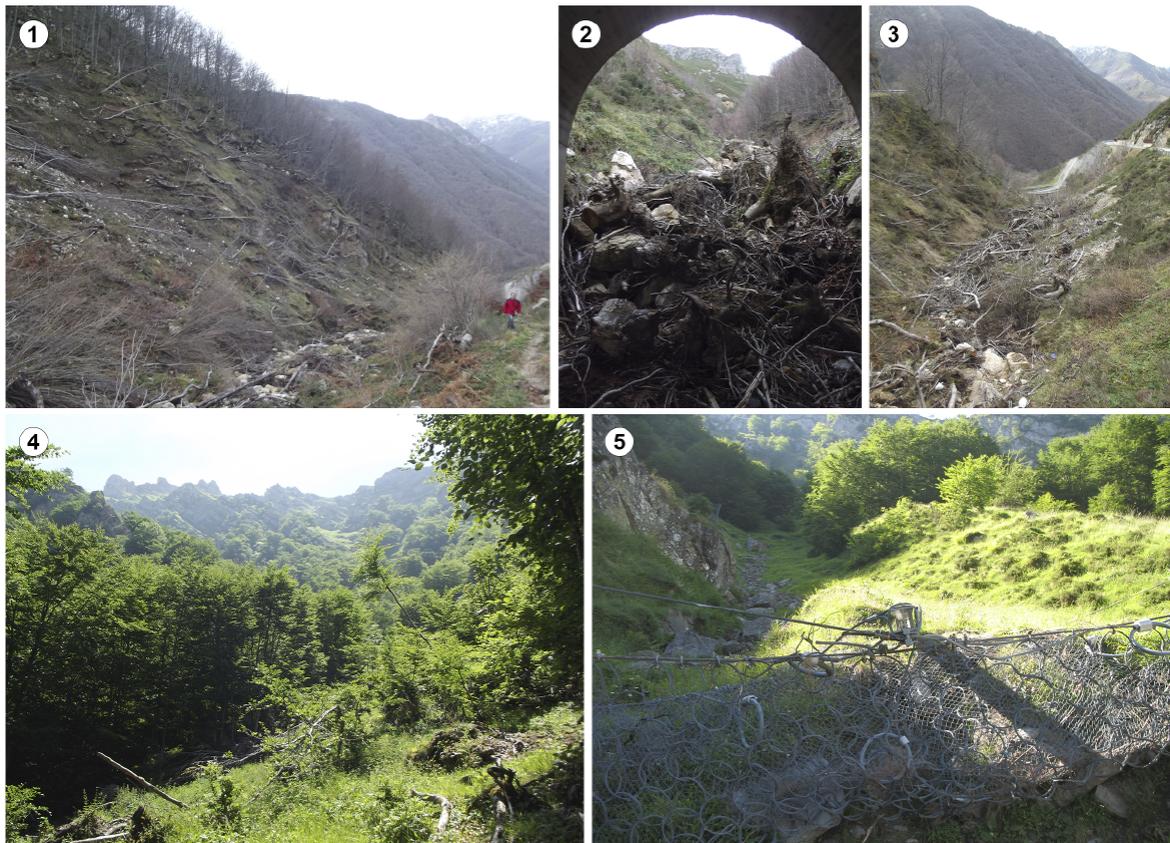


Figura 9: 1, 2 y 3. Valle de Los Fueyos. 4. Canal de Valverde. 5. Barrera antialudes derribada en la canal de Valverde.

Figure 9: 1, 2 and 3. Los Fueyos valley. 4. Valverde path. 5. Felled Snow avalanche net.

vertiente meridional y en especial, los que se canalizan por el valle de Los Fueyos, los cuales suman un total de 10 zonas y tienen también una recurrencia anual. Además, hemos comprobado que las hileras de barreras antialudes colocadas en las canales que interceptan los puntos kilométricos 20+900 y 21+500 no son capaces de impedir la movilización de la nieve y son destruidos o inutilizados todos los años, por lo que es necesario que se instalen mayor número de hileras de barreras y se implanten a mayor altitud, esto es, en las zonas de salida, con la finalidad de anclar el manto nival. De lo contrario, una vez movilizados los aludes tienen la suficiente envergadura y energía para pasar por encima de las barreras o simplemente destruirlas, pues van cargadas con gran número de pies de hayas, arrancadas de cuajo, que incrementan aún más su capacidad de destrucción y, por tanto, su peligrosidad (Figura 9).

Aunque la reforestación, ya sea espontánea o antrópica, puede realizar un trabajo de protección a través de la reducción de la velocidad y la energía de las avalanchas de nieve, especialmente en el caso de las pequeñas (Schneebeli y Bebi, 2004), se ha demostrado que se puede descartar su papel protector en pendientes muy pronunciadas (Beato *et al.*, 2019a). De hecho, algunos intentos de repoblación forestal como el de Rioseco (bajo Los Cálmaros) han resultado totalmente infructuosos pues los aludes arrancan o dañan irremediablemente los plantones. Además, los aludes también ocurren dentro del bosque (Teich *et al.*, 2012b) y buen ejemplo son los que se desencadenan bajo la cubierta forestal del hayedo umbrío sobre la Central Hidroeléctrica de Rioseco, con una actividad poco enérgica pero recurrente que ha conseguido labrar profundas canales en el bosque y afectar a las conducciones y construcciones de la central.

6. Conclusiones

El estudio sobre la formación de los aludes en el Alto San Isidro nos ha permitido conocer cuáles son los factores que intervienen de

manera decisiva en su desencadenamiento, en concreto, la fuerte nivosisidad concentrada en pocos días durante los temporales de nieve (se han llegado a registrar por encima de 100 mm en sólo 48 h), las propensas pendientes comprendidas entre 30 y 50º prevalentes en la franja altitudinal situada entre los 1.000 y 1.200 m y la carencia de cubierta forestal en las vertientes especialmente meridionales y occidentales, resultado de la secular actividad agrosilvopastoril. También hemos identificado las zonas de aludes que afectan a la carretera AS-253 que asciende al puerto de San Isidro, donde se hallan las estaciones de esquí de Fuentes de Invierno y San Isidro, por las que transitan 15.000 vehículos en temporada alta. Se trata, en concreto, de 24 zonas por las que transcurren fundamentalmente aludes de nieve húmeda, los cuales bloquean la carretera y destruyen los guardarraíles. Por tanto, la AS-253, pese a las medidas antialudes tomadas entre 2008 y 2009 (instalación de tres viseras y 20 barreras flexibles), tiene en la actualidad una alta vulnerabilidad que representa el 14%, esto es, compromete a un 1 km de dicha vía. A esto hay que añadir el agravante de que buena parte del trazado de la carretera por la ladera meridional, afectado recurrentemente por el impacto de los aludes (Carrozal, El Aspra, curva de La Rebollosa, Los Arenales y Puente Cimero), carece hoy en día de cualquier medida de defensa o protección, lo que representa un alto riesgo para los usuarios de esta vía. Así pues, es necesario abordar lo antes posible la implantación de varias hileras de barreras flexibles en las zonas de aludes actualmente desprotegidas por completo, esto es, en el Carrozal (dos tramos, en torno al p.k. 17), El Aspra (dos tramos, en torno al p.k. 18), Rioseco (un tramo, p.k. 18+500 m), curva de La Rebollosa (p.k. 19+900 y 20), Los Arenales (tres tramos, p.k. 20+200) y Puente Cimero (Los Fueyos) (p.k. 20+300), así como acometer el reforzamiento de los puntos kilométricos 20+900 y 21+500.

La investigación también desvela la relevancia de los aludes acontecidos desde, al menos, la segunda mitad del siglo XX y especialmente el alud acontecido entre enero y febrero de

1954 que destruyó dos edificaciones anexas a la Central Hidroeléctrica de Rioseco. Así pues, cabe subrayar el interés que presentan los estudios sobre los aludes en las montañas medias y la necesidad de continuarlos en el futuro a través de la aplicación de nuevas técnicas, en concreto, de análisis dendrogeomorfológicos con la finalidad de reconstruir con fiabilidad los episodios acontecidos en el pasado y estudiar la recurrencia de los eventos más dañinos y extremos para prevenir sus posibles efectos. Igualmente, es crucial disponer de más estaciones meteorológicas de montaña y series completas y homogéneas de datos, así como investigaciones precisas sobre el comportamiento de las precipitaciones nivales y los episodios de concentración de estas.

Agradecimientos

A María Ángeles del Restaurante Cuevas (Aller), a Pedro Rodríguez (cronista del Centro Asturiano de Oviedo), a todos los informantes de El Pino, Felechosa y Cuevas, especialmente a Severino González, Ángel Rodríguez Saavedra, Mario González Velasco, Marcos Lastra y al personal de mantenimiento y seguridad de la carretera AS-253 y de la Central Hidroeléctrica de Rioseco. También queremos expresar nuestra gratitud por los comentarios y sugerencias realizados por dos revisores anónimos y el equipo editorial, los cuales han contribuido a mejorar el manuscrito.

Bibliografía

Álvarez, M.Á.; Castro, M. de; Cruz, R.; Gómez, A.; Pérez, V.; Stöll, H. (2009). Clima. En: *Evidencias y efectos potenciales del cambio climático en Asturias* (R. Anadón, coord.). Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Oviedo, 30-65.

Aramburu, C.; Bastida F. (Eds.) (1995). *Geología de Asturias*. Editorial Trea, Gijón, 314 pp.

Ballesteros-Cánovas, J.A.; Trappmann, D.; Madrigal-González, J.; Eckert, N.; Stoffel, M. (2018). Climate warming enhances snow avalanche risk in the Western Himalayas. *PNAS*, 115 (13), 3410-3415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716913115>

Beato Bergua, S.; Poblete Piedrabuena, M.Á.; Marino Alfonso, J.L. (2018). Snow avalanche susceptibility in the eastern hillside of the Aramo Range (Asturian Central Massif, Cantabrian Mountains, NW Spain). *Journal of Maps*, 14(2), 373-381. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1480974>

Beato Bergua, S.; Poblete Piedrabuena, M.Á.; Marino Alfonso, J.L. (2019a). La dinámica del paisaje en la Sierra del Aramo (Macizo Central Asturiano): procesos naturales y antrópicos. *Pirineos*, 174, 1-16. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2019.174001>

Beato Bergua, S.; Poblete Piedrabuena, M.Á.; Marino Alfonso, J.L. (2019b). Snow avalanches, land use changes, and atmospheric warming in landscape dynamics of the Atlantic mid-mountains (Cantabrian Range, NW Spain). *Applied Geography*, 107, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.04.007>

Bebi, P.; Kulakowski, D.; Rixen, C. (2009). Snow avalanche disturbances in forest ecosystems-State of research and implications for management. *Forest Ecology and Management*, 257(9), 1883-1892. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.050>

Burkard, A.; Salm, B. (1992). Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d_0 zur Berechnung von FlieSSLawinen. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 32 pp.

Butler, D.R. (1985). Vegetational and geomorphic change on snow avalanche paths, Glacier National Park, Montana, USA. *The Great Basin Naturalist*, 45(2), 313-317.

Butler, D.R.; Malanson, G.P. (1985). A reconstruction of snow-avalanche characteristics in Montana, USA, using vegetative indicators. *Journal of Glaciology*, 31(108), 185-187. <https://doi.org/10.3189/S0022143000006444>

Butler, D.R.; Malanson, G.P.; Walsh, S.J. (1992). Snow-avalanche paths: conduits from the periglacial alpine to the subalpine depositional zone. In: *Periglacial Geomorphology* (A. Abrahams; J. Dixon, eds.). Wiley, London, 185-202.

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

Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (2015). *Plan Director de Infraestructuras para la movilidad de Asturias 2015-2030. Plan de Actuación Territorial-Carreteras 2015-2030*. Gobierno del Principado de Asturias, Oviedo, 167 pp.

- Chueca, J.; Julián, A. (2010). Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el Alto Gállego (Pirineo Central Aragonés) mediante el empleo de SIG. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 36 (1), 27-41. <https://doi.org/10.18172/cig.1225>
- Fernández-Cañadas, J.A. (2014). *Los aludes de nieve en el Macizo de Peñalara*. Agencia Estatal de Meteorología, Nota técnica 14, Madrid, 58 pp.
- Font Tullot, I. (1957). Periodos fríos en la Península Ibérica. *Revista de Geofísica*, 61, 41-60.
- Furdada, G.; Martí, G.; Oller, P.; García, C.; Mases, M.; Vilaplana, J.M. (1995). Avalanche mapping and related G.I.S. applications in the Catalan Pyrenees. *Survey in Geophysics*, 16(5-6), 681-693. <https://doi.org/10.1007/BF00665748>
- García-Hernández, C. (2018). *Grandes nevadas y eventos asociados en Asturias: su impacto a lo largo de los siglos XIX y XX*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo.
- García-Hernández, C.; Ruiz-Fernández, J.; Sánchez-Posada, C.; Pereira, S.; Oliva, M.; Vieira, G. (2017). Reforestation and land use change as drivers for a decrease of avalanche damage in mid-latitude mountains (NW Spain). *Global and Planetary Change*, 153: 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.05.001>
- González, J.J. 2007. Geomorfología del Macizo Central del Parque Nacional de Picos de Europa. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid, 231 pp.
- González, J.J.; Serrano, E. (2010). La nieve en los Picos de Europa: implicaciones geomorfológicas y ambientales. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 36(2), 61-84. <https://doi.org/10.18172/cig.1238>
- Julián, A.; Chueca, J. (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el Valle de Ordesa (Pirineo Aragonés). *Geographicalia*, 37, 73-86.
- Kajimoto, T.; Daimaru, H.; Okamoto, T.; Otani, T.; Onodera, H. (2004). Effects of Snow Avalanche Disturbance on Regeneration of Subalpine *Abies mariesii* Forest, Northern Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36(4), 436–445. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2004\)036\[0436:EOSADO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2004)036[0436:EOSADO]2.0.CO;2)
- Kulakowski, D.; Rixen, C.; Bebi, P. (2006). Changes in forest structure and in the relative importance of climatic stress as a result of suppression of avalanche disturbances. *Forest Ecology and Management*, 223, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.058>
- Kulakowski, D.; Bebi, P.; Rixen, C. (2011). The interacting effects of land use change, climate change and suppression of natural disturbances on landscape forest structure in the Swiss Alps. *Oikos*, 120, 216-225. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18726.x>
- Lambert, R. (2009). Cartozonage: de la carte au zonage du risque avalanche. Neige et glace de montagne: Reconstitution, dynamiques, pratique, *Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie*, 8, 233-237. <https://doi.org/10.3406/edyte.2009.1090>
- Luckman, B.H. (1978). Geomorphic work of snow avalanches in the Canadian Rocky Mountains. *Arctic and Alpine Research*, 10, 261-276. <https://doi.org/10.2307/1550759>
- Martin, E.; Giraud, G.; Lejeune, Y.; Boudart, G. (2001). Impact of a climate change on avalanche hazard. *Annals of Glaciology*, 32, 163-167. <https://doi.org/10.3189/172756401781819292>
- Marquín, J.; Menéndez, R.; Lastra, J.; Fernández, E.; Jiménez-Alfaro, B.; Wozniak, E.; Fernández, S.; García, J.; García, P.; Álvarez, M.A.; Lobo, T.; Agradados, L. (2003). *Riesgos Naturales en Asturias*. Principado de Asturias-INDUROT-KRK Ediciones, Oviedo, 136 pp.
- Mases, M.; Vilaplana, J.M. (1991). Zona de aludes en la Vallferrera: clasificación y riesgo geomorfológico. *Pirineos*, 138, 39-52. <https://doi.org/10.3989/pirineos.1991.v138.188>
- Molina, R.; Muntán, E.; Andreu, L.; Furdada, G.; Oller, P.; Gutiérrez, E.; Martínez, P.; Vilaplana, J.M. (2004). Using vegetation to characterize the avalanche of Canal del Roc Roig, Vall de Núria, eastern Pyrenees, Spain. *Ann. Glaciol.*, 38, 159-165. <https://doi.org/10.3189/172756404781814807>
- Muntán, E.; Andreu, L.; Oller, P.; Gutiérrez, E.; Martínez, P. (2004). Dendrochronological study of the avalanche path Canal del Roc Roig: first results of the ALUDEX project in the Pyrenees. *Ann. Glaciol.*, 38, 173-179. <https://doi.org/10.3189/172756404781815077>
- Muntán, E.; García, C.; Oller, P.; Martí, G.; García, A.; Gutiérrez, E. (2009). Reconstructing snow avalanches in the Southeastern Pyrenees. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1599-1612. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1599-2009>
- Muntán, E.; Oller, P.; Gutiérrez, E. (2010). Tracking past snow avalanches in the SE Pyrenees. In: *Tree Rings and Natural Hazards. A State-of-the-Art* (M. Stoffel; M. Bollschweiler; D.R. Butler; B.H. Luckman, eds.). Springer, Dordrecht, 47-50. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2_4

- Muntán, E. (2012). La història de les allaus escrita als arbres. L'exemple de Soberpèra (Val d'Aran). *Neu i Allaus*, 4, 4-9.
- Muntán, E. (2016). Snow avalanches in the Pyrenees: Dendrochronological dating, dendrogeomorphological mapping and detection of past snow-avalanche seasons at a regional scale. Unpublished PhD Thesis. Universitat de Barcelona.
- Muñoz Jiménez, J. (1982). *Geografía de Asturias*. Ayalga Ediciones, Oviedo, 271 pp.
- Muñoz, J.; Sanz, C. (1995). *Las Montañas. Guía Física de España*. Alianza Editorial, Madrid, 476 pp.
- Muñoz, P. (1988). *Prevención y defensa contra aludes, aplicación práctica al Pirineo aragonés*. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Naaim, M.; Eckert, N.; Giraud, G.; Faug, T.; Chambon, G.; Naaim-Bouvet, F.; Richard, D. (2016). Impact du réchauffement climatique sur l'activité avalancheuse et multiplication des avalanches humides dans les Alpes françaises. *La Houille Blanche*, 6, 12-20. <https://doi.org/10.1051/lhb/2016055>
- Olcina Cantos, J. (1994). *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Acción Divulgativa, Madrid, 440 pp.
- Patten, R. S.; Knight, D.H. (1994). Snow Avalanches and Vegetation Pattern in Cascade Canyon, Grand Teton National Park, Wyoming, USA. *Arctic and Alpine Research*, 26(1), 35-41. <https://doi.org/10.2307/1551874>
- Poblete, M.A.; Beato, S.; Marino, J.L. (2016). Los aludes de nieve en el Alto Aller: su incidencia en la carretera AS-253 del Puerto de San Isidro (Macizo Central Asturiano). En: *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro* (J. J. Durán; M. Montes; A. Robador; A. Salazar, eds.). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 751-758.
- Puente, J.M. (2006). La Gran Nevada de 1888 en Cantabria y Asturias. *Revista del Aficionado de la Meteorología*, 46, 1-29.
- Quirós, F.; Fernández, G. (Dirs.) (1996). *Gran atlas del Principado de Asturias. Atlas Geográfico. Tomo I*. Ediciones Nobel, Oviedo, 295 pp.
- Rixen, C.; Haag, S.; Kulakowski, D.; Bebi, P. (2007). Natural avalanche disturbance shapes plant diversity and species composition in subalpine forest belt. *Journal of Vegetation Science*, 18, 735-742. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02588.x>
- Rodríguez Pérez, C. (1995). Estudio geomorfológico del puerto de San Isidro. *Ería. Revista de Geografía*, 36, 63-87.
- Rodríguez Pérez, C. (2017). Glaciarismo y nivoperiglaciarismo en el Puerto de San Isidro (Cordillera Cantábrica). En: *Ambientes periglaciares: avances en su estudio, valoración patrimonial y riesgos asociados* (J. Ruiz-Fernández; C. García-Hernández; M. Oliva; C. Rodríguez Pérez; D. Gallinar, eds.). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, Oviedo, 39-59.
- Santos, J.; Redondo, J.M.; Gómez, A.; González, R.B. (2010). Los aludes de nieve en el Alto Sil (Oeste de la Cordillera Cantábrica, España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 36(1), 7-26. <https://doi.org/10.18172/cig.1224>
- Sawyer, C.F.; Butler, D.R. (2006). A chronology of high-magnitude snow avalanches reconstructed from archived newspapers. *Disaster Prevention and Management*, 15(2), 313-324. <https://doi.org/10.1108/09653560610659856>
- Schläppy, R.; Jomelli, V.; Eckert, N.; Stoffel, M.; Grancher, D.; Brunstein, C.H.; Corona, D.; Deschatres, M. (2016). Can we infer avalanche-climate relations using tree-ring data? Case studies in the French Alps. *Reg Environ Change*, 16, 629-642. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0823-0>
- Schneebeli, M.; Bebi, P. (2004). Snow and avalanche control. En: *Encyclopedia of Forest Sciences* (J. Burley, J. Evans, y J. A. Youngquist, eds.). Elsevier, Oxford, 397-402. <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00271-4>
- Schweizer, J.; Jamieson, J.B.; Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, 41(4), 2-25. <https://doi.org/10.1029/2002RG000123>
- Serrano, E.; Gómez, M.; Pisabarro, A. (2016). Nieve y riesgo de aludes en la Montaña Cantábrica: el alud de Cardaño de Arriba, Alto Carrión (Palencia). *Polígonos. Revista de Geografía*, 28, 239-264. <http://dx.doi.org/10.18002/pol.v0i28.4295>
- Stoffel, M.; Bollschweiler, M.; Hassler, G.-R. (2006). Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity—a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1424-1437. <https://doi.org/10.1002/esp.1363>
- Stoffel, M.; Hitz, O.M. (2008). Snow avalanche and rockfall impacts leave different anatomical signatures in tree rings of Larix decidua. *Tree Physiology*, 28, 1713-1720. <https://doi.org/10.1093/treephys/28.11.1713>

- Teich, M.; Bartelt, P.; Gret-Regamey, A.; Bebi, P. (2012a). Snow avalanches in forested terrain: influence of forest parameters, topography, and avalanche characteristics on runout distance. *Artic, Antartic, and Alpine Research*, 44(4), 509-519. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-44.4.509>
- Teich, M.; Marty, C.; Gollut, C.; Grêt-Regamey, A.; Bebi, P. (2012b). Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. *Cold Regions Science and Technology*, 83-84, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.06.007>
- Vada, J.A.; Frochoso, M.; Vilaplana, J.M. (2012). 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). *Cuaternario y Geomorfología*, 26(1-2), 29-47.
- 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* (G. Benito; A. Díez, eds.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo, 509-518.

Recibido el 10 de abril de 2019

Aceptado el 4 de diciembre de 2019

