

## GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN NIVOLÓGICA

J.A. Fernández-Cañadas López-Peláez<sup>(1)</sup>, J.J. Rodríguez Velasco<sup>(2)</sup>, L. Pantoja Trigueros<sup>(1)</sup> y A. Chazarra Bernabé<sup>(3)</sup>

- (1) Observatorio de Puerto de Navacerrada (AEMet) [obs08215@aemet.es](mailto:obs08215@aemet.es)
- (2) Climatología Cantabria (AEMet, DT Santander) [jrodriguezv@aemet.es](mailto:jrodriguezv@aemet.es)
- (3) Climatología y aplicaciones (AEMet) [achazarrab@aemet.es](mailto:achazarrab@aemet.es)

### RESUMEN

*Tradicionalmente, la nivología ha sido un campo de trabajo para los hidrólogos, con el objeto de estimar el reservorio hídrico acumulado en invierno en las áreas de montaña.*

*Los aludes son deslizamientos del manto nival. Los problemas asociados con la seguridad de las poblaciones de montaña, la protección de sus bienes y la adaptación de sus actividades a esta realidad han atraído la atención de geomorfólogos, geólogos y geógrafos, entre otros.*

*La nieve es un meteoro cuya aparición se puede anticipar con suficiente precisión a través de los modelos de pronóstico meteorológicos. Cae y se deposita en condiciones determinadas de temperatura, humedad y viento que condicionan su acumulación y su cohesión. Ya sobre el suelo, el manto de nieve acumulado sufre distintas transformaciones termodinámicas -calificadas en la literatura como metamorfosis-, como respuesta a las condiciones atmosféricas y del terreno sobre el que se asienta, y está sometido a esfuerzos mecánicos y tensiones ante las que reacciona, o se adapta, dependiendo de la estructura interna del manto.*

**Palabras clave:** Jornadas, SIG, software libre, aludes, nivología, Girona.

### INTRODUCCIÓN

Para los meteorólogos la nieve es un tipo de precipitación sólida, que se presenta en una gran variedad de formas, dependiendo de las condiciones en las que se han desarrollado los cristales de hielo dentro de la nube, y de las condiciones de temperatura, humedad y viento en que tiene lugar la precipitación, y el depósito. Las nevadas se pueden anticipar con suficiente precisión a través de los modelos de pronóstico meteorológicos y estimar adecuadamente tanto el espesor esperado como la altitud a partir de la cual la precipitación será sólida.

Ya sobre el suelo, el manto de nieve acumulado sufre distintas transformaciones -metamorfosis- como respuesta a las condiciones atmosféricas, y

del terreno sobre el que se asienta. Esto significa que además de estar influido por la temperatura ambiente, la humedad o el viento, el manto está también sometido a los esfuerzos mecánicos y tensiones inducidos por las características del suelo sobre el que reposa. Frente a estas características, reacciona o se adapta, dependiendo del tipo de enlaces que hayan establecido entre sí las partículas de nieve, y de los que hayan establecido las capas de nieve superpuestas procedentes de los distintos episodios de nieve. La manera en la cual se produce la trabazón entre las partículas de nieve, y entre las capas del manto depende de las condiciones termodinámicas reinantes. El resultado puede ocasionar grandes acumulaciones plásticas y deformables, que se adaptan al terreno, o capas rígidas y frágiles en las que, de producirse una pequeña rotura, esta se propagará linealmente cientos de metros como si se tratara de una lámina cristalina.



Figura 1: *Cristales de nieve transformados en cubiletes. Visera o cornisa de nieve desarrollada a sotavento del viento dominante.*

Cuando se rompe la cohesión entre la nieve depositada, se pueden producir deslizamientos de ladera - un alud o avalancha- que movilice todo el espesor del manto, o solo una porción del mismo -en general una capa, o placa, casi siempre bien definida por una superficie de discontinuidad-. Los problemas que ocasionan estos deslizamientos en poblaciones de montaña afectan a la ordenación del territorio -que obliga a ubicar instalaciones protegidas de esta amenaza-; a la movilidad -cuando repetidamente cortan o dificultan el tránsito por caminos y carreteras-; a la protección de bienes - cuando deterioran o destruyen construcciones o equipamientos-; a los recursos económicos -arrasan espacios de monte a su paso, con pérdidas de arbolado-; o producen daños personales de distinta consideración.,

## **LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO Y LA ESTABILIDAD DEL MANTO**

Las condiciones del terreno donde se asienta la nieve influyen de forma decisiva en el equilibrio y la estabilidad del manto nival.

La altitud condiciona el régimen térmico al que está sometida la nieve. Esto significa que a mayor altitud, donde las temperaturas son más bajas, los ciclos de fusión y rehielo en el manto serán menos numerosos a lo largo de la temporada. En estas condiciones, con menos humedad disponible, predominarán procesos asociados con el metamorfismo de la nieve seca -fraccionamiento o relleno de huecos frente al crecimiento de granos redondos-. La altitud también determina el contacto que pueda tener el manto nival con nubes y nieblas, así como la humedad que pueda absorber de ellas.

La pendiente es responsable de la tensión en el manto, y aumenta cuando aumenta la inclinación del plano donde se asienta. En general, el terreno debe tener una pendiente mínima para que el manto deslice, y una pendiente máxima. Por debajo de 25° o 30°, los aludes son poco frecuentes, y por encima de 50° o 55°, la nieve apenas puede permanecer sobre el suelo y se desliza de forma espontánea conforme se va acumulando durante la nevada. Así que puede hablarse de un intervalo entre 30° y 55° de inclinación en el que los aludes son más frecuentes. Junto con la inclinación del terreno, la presencia o ausencia de anclajes favorece o dificulta el deslizamiento. En este sentido, la topografía de pequeña escala -la rugosidad del suelo- y la presencia o no de vegetación - pastos, matorral, árboles aislados o bosque denso- son elementos a considerar también en el análisis de la estabilidad de la capa de nieve.

La orientación de la ladera determina la cantidad de radiación solar que recibe el terreno durante la temporada invernal. La radiación solar es mayoritariamente reflejada por la nieve recién caída debido a su elevado albedo, pero esto no ocurre con la roca y otros elementos que están en contacto con el manto, -escarpes rocosos, por ejemplo- que se calientan de forma irregular, lo que provoca que entre ellos y el manto se produzcan diferencias de temperatura que favorezcan la fusión parcial del manto, y la aparición de grietas que debiliten el anclaje. Una vez la nieve está sobre el suelo el albedo disminuye a causa de las transformaciones que sufre el manto, pero también porque se carga de partículas, polvo, y otros elementos que pueden oscurecerlo. Por ejemplo, en condiciones de viento del sur, las precipitaciones de polvo sahariano llegan a depositarse sobre la nieve de la Cordillera Cantábrica.

La topografía también influye en la estabilidad del manto, y en particular los cambios de pendiente. En las zonas de ladera donde la pendiente se incrementa, la tensión del manto aumenta, y donde disminuye, se produce contrariamente una compresión del manto, que tiende a acumular nieve. También el viento actuando sobre el relieve contribuye a distribuir la carga de nieve de forma irregular, creando zonas de acumulación a sotavento de cordales y divisorias, mientras que en las laderas expuestas la acumulación es notablemente menor.

## LAS TRANSFORMACIONES EN EL MANTO

Desde que se produce la primera nevada el manto está en proceso de transformación. Cada episodio se deposita sobre una capa anterior que ha adquirido características particulares en función de las condiciones meteorológicas del momento de la nevada y de los días que han transcurrido hasta que una nueva capa de nieve sepulta la anterior. El resultado es una superposición de estratos, que puede presentar discontinuidades que serán reflejo de las sucesivas nevadas de características diferentes. La densidad de la nieve en cada estrato, el contenido de humedad, el tipo de partículas -grano- que forman el estrato, su forma y tamaño, la temperatura de la capa, la resistencia que presenta a ser comprimida, y la presencia de costras de hielo intercaladas son los principales factores que las diferencian, y que con un poco de práctica se pueden analizar.

La distribución de la temperatura en el interior del manto medida en la vertical -o perfil térmico-, dirige la forma en la que se disipa la energía interna de la nieve. Dependiendo del valor del gradiente térmico, las partículas de nieve evolucionarán hacia formas redondeadas -cuando el gradiente es débil- o aplanadas formando facetas y ángulos -cuando es elevado-. Las primeras se asocian, en general, con nieve vieja y estable, mientras que las segundas aparecen con mayor frecuencia en nieves suelta e inestable.

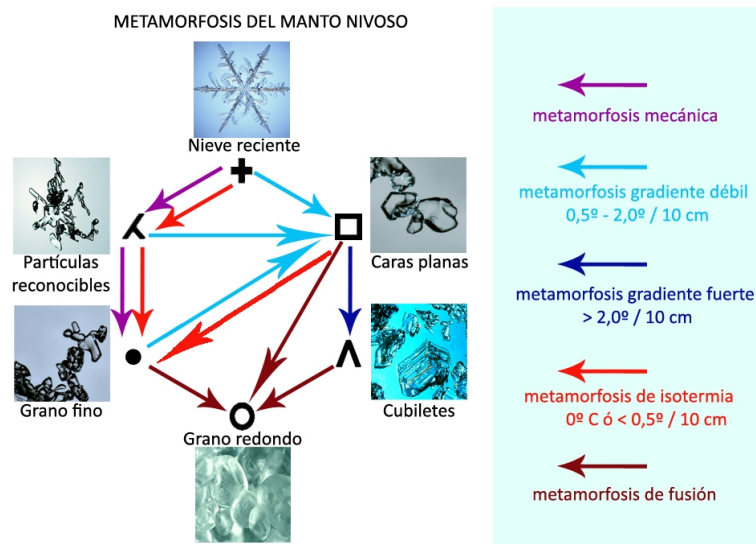


Figura 2: Evolución de la nieve en función del gradiente térmico.

## INESTABILIDAD EN EL MANTO Y ALUDES.

La inestabilidad del manto se materializa cuando se produce el movimiento rápido de masas de nieve ladera abajo, es decir, con la aparición de aludes o avalanchas. Existen diversas clasificaciones para determinar el tipo de avalancha producida, que

hacen referencia al tipo de nieve movilizada (reciente, vieja, nieve venteada), al contenido de humedad de la nieve (seca o húmeda), a la longitud del camino recorrido (desde purgas de unos metros de recorrido, hasta grandes aludes de más de un kilómetro), a la forma de desencadenamiento (espontáneo o natural, provocado por el paso de un esquiador o un grupo...), a la geometría del área de salida del alud (puntual o lineal), a la profundidad de la fracción del manto movilizado (de placa, de fondo...), etc. Aquí nos limitaremos a considerar los siguientes tipos: a) de placa (*slab avalanche*) -cuando se moviliza una fracción del manto, formado por una capa de nieve relativamente homogénea y cohesionada-; b) de placa friable, cuando la placa movilizada está formada por nieve reciente o muy poco transformada acumulada por acción del viento, cuya superficie, en contacto con el aire, se ha congelado formando una costra de hielo más o menos fina y quebradiza-; c) de placa húmeda -cuando la nieve se desliza sobre una superficie lubricada por el agua producida por la fusión parcial del manto, y que se ha infiltrado-; y d) los aludes de fusión o de fondo -cuando desliza todo o la mayor parte del espesor del manto, y cuya superficie de deslizamiento es el suelo-.

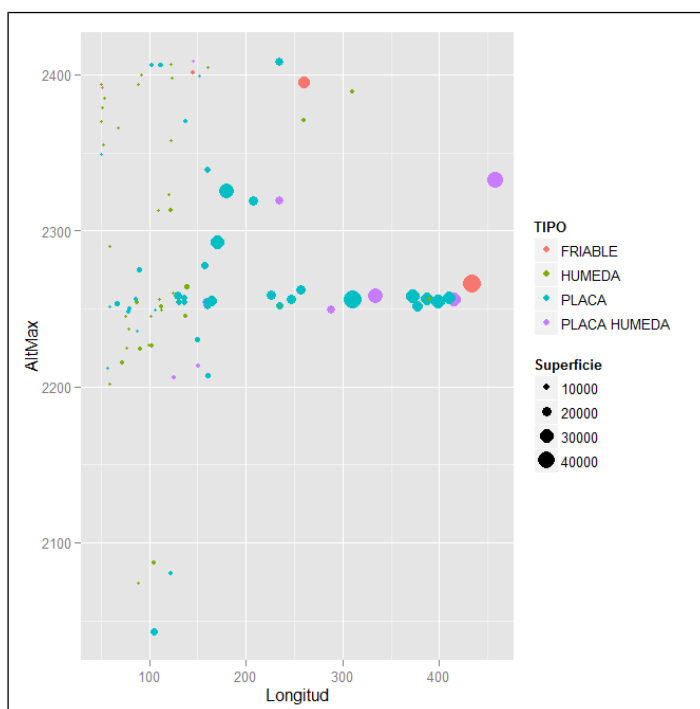


Figura 3: Los aludes observados en Peñalara entre 2010 y 2015, clasificados según el tipo de alud por colores con tamaño proporcional a la superficie que ocupan.

**TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN NIVOLÓGICA CON SIG**

Puesto que cierto número de factores relacionados con la aparición de aludes están ligados al relieve, puede hacerse un análisis de la *susceptibilidad del terreno* o de la propensión para el desencadenamiento de aludes a partir del MDE. La susceptibilidad del terreno al desencadenamiento de aludes puede tomarse como sinónimo del *peligro de desencadenamiento* o probabilidad de que en un lugar y momento determinado se produzca un alud.

Si tratamos el terreno como una componente estática o invariable en la formación de avalanchas, el proceso de análisis incluiría:

- a partir de la observación y descripción de aludes, la localización e identificación de las observaciones sobre la ortoimagen para disponer de un mapa de aludes observados y el detalle de altitudes, pendientes, superficies ocupadas, etc;
- el cálculo de los campos derivados del MDE y la generación de una capa para cada variable considerada -pendiente, insolación, altitud, convexidad...-
- construcción de un algoritmo que exprese la contribución de cada variable en el proceso, para la determinación del peligro o probabilidad de ocurrencia. En nuestro caso, elegimos un algoritmo de tipo *booleano*, que refleja la presencia o ausencia del factor considerado. El álgebra de mapas proporciona una clasificación objetiva del terreno derivada del MDE, obtenida de forma automática por el SIG que expresa la peligrosidad del terreno de acuerdo con los factores considerados y de su contribución expresada por el algoritmo.

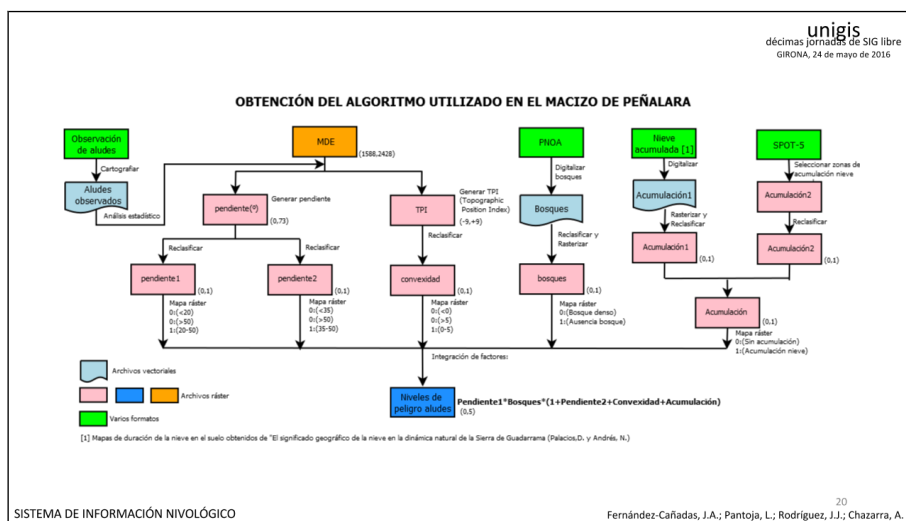


Figura 4: Estructura del algoritmo para el cálculo de la susceptibilidad del terreno

A esta componente, habrá que incorporar los elementos que se modifican a lo largo del tiempo, que son propios de la temporada o de la época del año, y que son característicos de la nieve y de la meteorología

- Cantidad de nieve caída en el episodio y en la temporada
- Características del manto, perfil estratigráfico,
- Condiciones de temperatura y humedad, perfil térmico.
- Estabilidad del manto.
- Condiciones meteorológicas.

La combinación de ambas componentes debe dar lugar a un conjunto de mapas temáticos que incorporen valor a la clasificación automática del terreno a través del conocimiento, la observación y la experiencia de expertos sobre el terreno. Se trata entonces de obtener un mapa que sirva para gestionar el nivel de peligro de las actividades en la nieve, y que pueda usarse en combinación con el boletín de peligro de aludes, que incorpora las condiciones meteorológicas. De esta manera, se tiene para cada momento y para cada zona una evaluación concreta del peligro, lo que permite planificar rutas, situar instalaciones, adaptar actividades, etc. Estas condiciones se recogen y se presentan en distintos sistemas de evaluación del peligro, como el Avalanche Terrain Exposure Scale (ATES) o el del Servicio Europeo de Avisos de Avalancha (EAWS).

### **ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN. MÓDULOS**

La información que se recibe por distintos medios, se analiza combinada con la ortoimagen, los mapas topográficos y las fotos oblicuas. Con estos medios se cartografía sobre un SIG. Se identifican también las formas del relieve asociadas con la aparición de aludes y se digitalizan y posteriormente se analizan canales y señales de aludes. Los SIG de escritorio de preferencia utilizados son SAGA y QGIS.

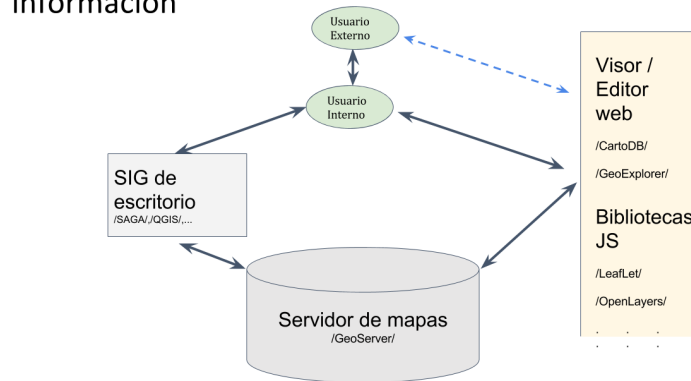
El peso de los distintos parámetros del algoritmo se modifica a partir del análisis estadístico de las variables del terreno proporcionado por el SIG, con el propósito de que el modelo se ajuste lo mejor posible a las observaciones.

Todas las capas se trasladan a un servidor GeoServer desde donde son accesibles, en principio, solo a usuarios internos.

La información externa se recoge

- a través de formularios de colaboradores, que son tratados por usuarios internos antes de incluirse en el servidor
- para usuarios expertos se habilita en un visor-editor web un sistema que permite introducir información gráfica directamente sobre el mapa

estructura del sistema de información



SISTEMA DE INFORMACIÓN NIVOLÓGICO

36  
Fernández-Cañadas, J.A.; Pantoja, L.; Rodríguez, J.I.; Chazarra, A.

Figura 4: Estructura del Sistema de Información

La perspectiva futura del Sistema de Información pasa por habilitar el acceso al servidor para los usuarios externos, y definir las condiciones en las que podrán actuar sobre los datos recogidos (permisos de lectura, escritura, etc.)



## REFERENCIAS

- [1] AAA (2009) *Snow, Weather and Avalanches: Observational Guidelines for Avalanche Programs in the United States*. American Avalanche Association, Pagosa Springs, CO, USA.
- [2] BACARDIT, M.; MONER, I.; GAVALDÀ, J. (2011) Si la neu es el problema, la solució es el terreny: aplicació de l'escala de classificació del terreny allavós a la Val d'Aran. En *Actas de las 4ª Jornades Tècniques de Neu y Allaus*. 2011. Vielha
- [3] CAMPBELL, C., GOULD, B. and NEWBY, J. (2012). Zoning with the Avalanche Terrain Exposure Scale, in *Proceedings International Snow Science Workshop*, Anchorage, Alaska.
- [4] Centro de avalanchas de Canadá <http://www.avalanche.ca/>
- [5] Centro Nacional de Avalanchas USA <http://www.fsavalanche.org/>
- [6] GUTIÉRREZ MERINO, E., MARTÍNEZ FIGUERAS, P., OLLER FIGUERAS, P., MUNTÁN BORDAS, E. (*Proyectos de investigación en parques nacionales: 2005-2008*) CARACTERIZACIÓN Y PERÍODO DE RETORNO DE ALUDES EXTREMOS EN LOS PARQUES NACIONALES DE ORDESA Y AIGÜESTORTES MEDIANTE LA DENDROCRONOLOGÍA. [http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/programa-investigacion/oapn\\_inv\\_art\\_0502\\_tcm7-45385.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/programa-investigacion/oapn_inv_art_0502_tcm7-45385.pdf)
- [7] FIERZ, C., ARMSTRONG, R.L., DURAND, Y., ETCHEVERS, P., GREENE, E., McCLUNG, D.M., NISHIMURA, K., SATYAWALLI, P.K. and SOKRATOV, S.A. 2009. *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N°83, IACS Contribution N°1, UNESCO-IHP, Paris.
- [8] FURDADA, G. (1996): *Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya: predicció espacial i aplicacions a la cartografia*. Geofoma ediciones, Logroño. 315 pp.
- [9] LLANERAS, et al. (2011) Zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus als Pirineus. En *Actas de las 4ª Jornades Tècniques de Neu y Allaus*. 2011. Vielha.
- [10] MARTÍ, G.; OLLER, P.; BISSON, B. (1996): La elaboración del catastro de aludes en el Pirineo de Catalunya. *VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, p. 579-593.
- [11] MARTÍ, G.; OLLER, P.; GARCÍA, C.; MARTÍNEZ, P.; ROCA, A.; GAVALDÀ, J. (2000): The Avalanche Paths Cartography in the Catalan Pyrenees. *Proceedings of the Seconda Symposium of the Commission on Mountain Cartography of the International Cartographic Association*. Rudolfshütte, Austria, 29 March-2 April. KB 18, TU Dresden. P. 259-264.
- [12] MARTURIÀ, J.; OLLER, P.; MARTINEZ, P. La base de dades d'allaus de Catalunya. **Revista Catalana de Geografia**. IV època / volum XII / núm. 30, juny 2007 in *Actes dels 2es Jornades de Nivologia i Allaus*. URL: <http://www.rcg.cat/articles.php?id=83>
- [13] OLAYA, V. (2011) Sistemas de Información Geográfica. Lic. Creative Common Atrib, [http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro\\_SIG](http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG)
- [14] OLLER, P.; MARTURIÀ, J.; GONZÁLEZ, J.C.; ESCRIBU, J.; MARTÍNEZ, P., (2005). El servidor de datos de aludes de Cataluña, una herramienta de ayuda a la planificación territorial. In *VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Valencia, 21-24 de Junio de 2005. E. P. 905-916.

- [15] OLLER, P.; MARTURIÀ, J.; MARTÍ, G.; GONZÁLEZ, J.C.; MARTÍNEZ, P.; FURDADA, G. (1996): *Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya: predicció espacial i aplicacions a la cartografia*. Geoforma ediciones, Logroño. 315 pp.
- [16] OLLER, P.; MARTURIÀ, J.; MARTÍ, G.; GONZÁLEZ, JC. y MARTÍNEZ, P.(2004): *Avalanche Mapping in the Catalan Pyrenees, balance and future perspectives. Proceedings of the 4th ICA Mountain Cartography Workshop*. Vall de Núria, 13-22.
- [17] PIETRI, C. (1993): Rénovation de la carte de localisation probable des avalanches. *Revue de Géographie Alpine* nº1. p. 85-97
- [18] SCHWAIZER, J et al. (2003) Review of spatial variability of snowpack properties and its importance for avalanche formation. *Cold Regions Science and Technology Volume 51, Issues 2–3*, February 2008, Pages 253–272
- Servicio Europeo de Avisos de Avalancha (EAWS) <http://www.avalanches.org/>
- [19] VADA, J.A. (2011) Estimación del riesgo de aludes en el PR-PNPE 21. Vega de Urriellu. En *Actas de las 4ª Jornades Tècniques de Neu y Allaus*. 2011. Vielha.
- [20] VV.AA. (2012) Guía para la Observación Nivometeorológica. Nota Técnica AEMET.
- [21] VV.AA. (2013). Alud de los Llanos del Tornu. *Neus y allaus*, 5.
- [22] VV.AA. (2015) [Guía para la observación nivometeorológica \(AEMET\)](http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/GuiaObsNivoMet_ed2015)  
[http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/detalles/GuiaObsNivoMet\\_ed2015](http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/GuiaObsNivoMet_ed2015)
- [23] <http://avalanchemapping.org/>
- [24] <http://www.saga-gis.org/>
- [25] <http://www.qgis.org/>
- [26] <http://www.geoserver.org/>