

Deslizamientos basales: Incertidumbre y predicción desafiante

DIVULGACIÓN

 Autor: Jon Apodaka

 Fotos: Jon Apodaka, Oscar Santos, Police Cantonale du Valais

RESUMEN

Los aludes de tipo deslizamiento basal son descritos como exóticos, complejos y poco conocidos por muchos especialistas y tienen la peculiaridad de que son muy difíciles de predecir. Este tipo de alud es también conocido como avalancha de deslizamiento, deslizamiento basal o *glide avalanche*, y muchos de los aludes de fondo son de tipo deslizamiento basal y suelen tener un flujo denso, movimiento fundamentalmente por deslizamiento sobre el suelo o por encima del resto del manto nivoso. Las áreas donde puede darse este tipo de aludes suelen ser identificadas por las grietas de deslizamiento, también conocidas como *fish mouths* (boca de pez) debido a su aspecto y suelen ser visibles en la superficie del manto nivai. Su formación

se da por movimientos internos dispares por encima de las pendientes, que con solamente 15° de inclinación pueden ser suficientes para el desencadenamiento de este tipo de alud. En estas áreas se dice que la nieve "repta", es decir, que la nieve se desliza en un movimiento de reptación sobre un terreno suave o húmedo, por ejemplo, por encima de las laderas cubiertas de hierba o de losas de roca lisa y pueden tener velocidades desde unos pocos milímetros a unos pocos metros por día. Son varios los estudios y las metodologías que se están llevando a cabo en los últimos años para una correcta mitigación de las consecuencias de los deslizamientos basales pero de momento este tipo de aludes continua provocando mucha incertidumbre y una predicción compleja y desafiante.



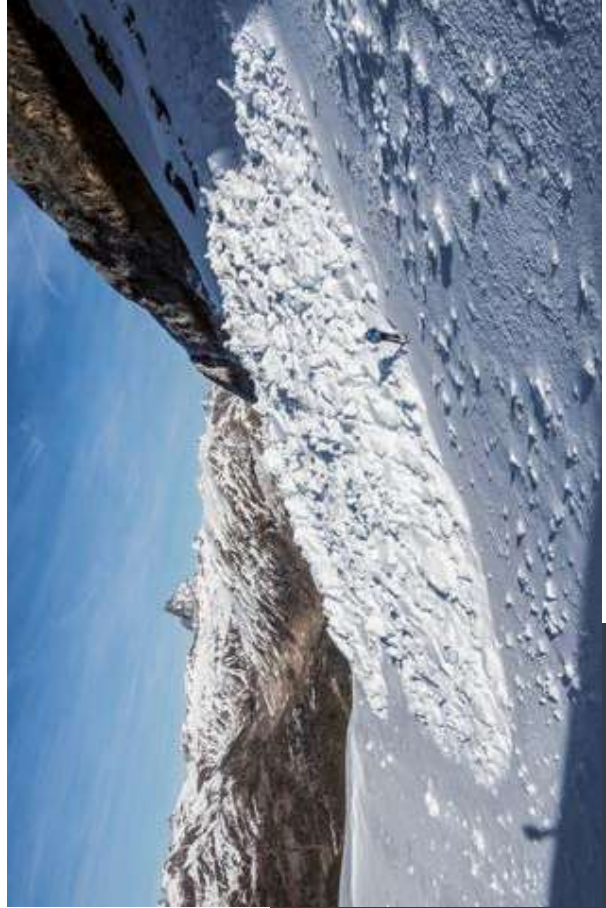


Figura 1. Estructura estándar del Boletín de Peligro de Aludes (BPA). En un apartado se identifican los problemas típicos de aludes y en el se puede representar el problema por aludes de deslizamiento basal a lo largo de determinados días de la temporada. Las áreas más importantes de información aparecen en la parte superior de la pirámide. Bajando en la pirámide, en cada nivel, la información se vuelve más detallada en los BPA.

INTRODUCCIÓN

Los cinco problemas típicos de aludes definidos por la European Avalanche Warning Services (EAWS) tienen como objetivo describir las situaciones típicas que se dan en terreno de aludes y ayudar a los profesionales y los usuarios de la montaña invernal en la evaluación del peligro de aludes. Complementan el grado de peligro y la localización del mismo (altitud y orientación) en el Boletín de Peligro de Aludes (figura 1). El conocimiento de esta información por parte de los usuarios de la montaña invernal a la hora de circular por terreno de avalanchas y en especial, de los servicios de seguridad y rescate en avalanchas, puede ser útil para definir estrategias de gestión del Ordenamiento Territorial o la planificación y metodología de predicción o rescate en áreas vulnerables.

Alud de la Suela de la Zapatilla (Huesca). Foto: Jon Apodaka.



¿QUÉ, CUÁNDO, DÓNDE Y POR QUÉ?

Los deslizamientos basales se producen con el movimiento de todos los estratos/capas de nieve como resultado de deslizarse sobre el suelo (herboso o rocoso). Este tipo de alud puede estar compuesto de nieve muy húmeda, húmeda o casi seca. Por lo general, ocurren en lugares muy específicos, donde la pendiente es lo suficientemente pronunciada, aunque solamente 15° de inclinación o incluso menos, pueden ser suficientes para este tipo de aludes, y la superficie del terreno suele ser relativamente lisa. A menudo se producen grietas de profundidad completa (grietas de deslizamiento), aunque el tiempo entre la aparición de una grieta y un alud puede variar entre segundos y meses, provocando verdaderos quebraderos de cabeza a predictores y responsables de la seguridad de infraestructuras (carreteras, vías de tren, pantanos), poblaciones o estaciones de esquí. Es muy poco probable que los deslizamientos basales sean desencadenados por una persona (no se conocen trabajos que lo hayan podido demostrar) y son casi imposibles de pronosticar, por lo tanto, representan un peligro que es extremadamente difícil de predecir y gestionar en áreas vulnerables.

Predicir este tipo de aludes es muy desafiante debido a que solo ocurren en pendientes muy específicas y en condiciones muy difíciles de valorar. En la actualidad las metodologías de gestión este fenómeno más utilizadas

se basan en identificar y evitar las pendientes dónde se producen, mediante cartografías de inventario del fenómeno, señalización de advertencia o explicando en los Boletines de Peligro de Aludes o informes de asesoramiento de las condiciones sobre los agrietamientos, la dinámica actual del movimiento, los eventos recientes y la relación entre las condiciones del manto nival y la meteorología pasada y actual. Las grietas de deslizamiento son el indicador más significativo, al igual que los deslizamientos basales recientes que se producen en similares orientaciones y con similar plano de deslizamiento.

Cómo se forman

El agua libre se acumula a lo largo de la superficie del suelo y lubrica la capa de nieve. El agua puede provenir de nieve derretida, de lluvia, de alguna surgencia de agua de origen natural o también puede darse el caso que provenga de la fuga de una instalación de nieve artificial o canalización en el entorno de un dominio esquiable. A medida que el agua se acumula, reduce la fricción que sostiene la capa de nieve a la superficie subyacente. La nieve mojada es más viscosa que la nieve seca, por lo que las capas de nieve se deforman y “fluyen” cuesta abajo con más facilidad. El deslizamiento generalmente es un proceso lento que ocurre durante varios días o semanas, pero ocasionalmente ocurre mucho más rápido. Si el manto de nieve que se desliza se libera de la nieve que lo rodea, puede producirse una avalancha. Las grietas de desliza-

miento pueden abrirse en la capa de nieve, pero no necesariamente indican que una avalancha es inminente, en muchas ocasiones perduran durante toda la temporada hasta que la nieve se derrite, pero hay que ser previsor y evitar este terreno a la hora de circular en actividades recreativas de montaña y realizar un seguimiento a la hora de ejecutar trabajos de obra pública o diferentes infraestructuras, debido a que su control y gestión es muy complejo.

Las llamadas grietas o “boca de pez”, son grietas en todo el manto de nieve, de suelo a superficie. La mayoría de los aludes de tipo deslizamiento basal comienzan desde debajo de la apertura de estas “bocas de pez”. Una grieta de nieve deslizante que se extiende durante días, semanas o incluso meses puede acelerarse repentinamente y partir como una avalancha de nieve deslizante, por la cual toda la capa de nieve se desliza del suelo.

Debido a que es posible que esto ocurra en cualquier momento y sin ningún desencadenante, desafortunadamente estos aludes son impredecibles. Las áreas alrededor y debajo de las grietas deben evitarse en todo momento en la medida de lo posible. Nunca se debe permanecer más tiempo de lo estrictamente necesario debajo de la “boca de pez”.

El impacto de estos aludes es devastador debido a que en estos aludes se desplazan compactas, duras y voluminosas masas de nieve con mucha capacidad destructiva.

NUEVAS HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL

Debido a que la interfaz de deslizamiento se encuentra en la base de la capa de nieve, hasta el momento no se han identificado las correlaciones directas con las condiciones meteorológicas. Por lo tanto, los métodos de predicción tradicionales que se basan en el manto de nieve y las observaciones meteorológicas son relativamente inexactos. Investigaciones anteriores han demostrado que las tasas de deslizamiento generalmente aumentan antes de que se produzca un alud de este tipo. Por lo tanto, monitorear los cambios en las tasas de deslizamiento es esencial para el pronóstico de deslizamientos basales. Actualmente, las técnicas de monitoreo disponibles son costosas, poco fiables y difíciles de implementar en grandes áreas.

Entre el año 2008 y 2010 en los Alpes orientales de Suiza, en Davos, se probó la técnica de fotografía *time lapse* con la intención de monitorizar diferentes deslizamientos basales en una zona piloto. En esa investigación se observó un aumento en las tasas de deslizamiento varias horas antes del desencadenamiento de los aludes. Estos resultados alentadores llevaron al desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real en el sudeste de Alaska, EE. UU. Los resultados mostraron que la fotografía *time lapse* puede usarse para controlar las tasas de deslizamiento de nieve simultáneamente en varias zonas de inicio y potencialmente proporcionar información sobre cuándo o si se producirá un deslizamiento basal.

El deslizamiento basal de Stavbrekka es uno de los aludes de este tipo más

estudiados del mundo. Este alud es problemático para la apertura de verano de la carretera turística entre Breidalen y Geiranger en Noruega. Allí se han aplicado varias metodologías para proteger a los usuarios de la carretera del alud, algunas de las cuales inducen el desencadenamiento del alud en la primavera anterior a la apertura estacional. Entre las operaciones realizadas existen diferentes ejemplos que se han utilizado para intentar desencadenar el alud con antelación: agregar escoria a la superficie de la nieve, inyectar agua en la grieta o boca de pez del deslizamiento basal y el desencadenamiento mediante explosivos. Además, se ha realizado el monitoreo mediante anclas de nieve en la zona de deslizamiento y se ha evaluado el movimiento. Ninguna de estas operaciones han resultado ser soluciones sostenibles y rentables.



Encampadana (CENMA-IEA). Foto: Jon Apodaka.

Dónde
Los deslizamientos basales ocurren en pendientes suaves, laderas herbáceas, paredes rocosas lisas y hielo glacial principalmente. El agua libre puede extenderse uniformemente y es fácil que el agua "ahogue" la rugosidad de la superficie. Las superficies muy ásperas tienden a canalizar agua, en lugar de permitir que se extienda y tienen una fricción muy alta. Las grietas de deslizamiento a menudo se forman cuando la superficie del suelo cambia de áspera a lisa y tienden a ocurrir en pendientes específicas que es recomendable inventariar para una correcta gestión de este tipo de peligro.

Este tipo de aludes requieren de importantes cantidades de agua en el manto de nieve y la mayoría del agua libre proviene de la fusión en la primavera, por eso a finales de temporada cuando este tipo de aludes suelen adquirir protagonismo pero también se puede producir en mitad de enero tras el paso de un importante frente cálido que deja importantes cantidades

de precipitación en forma de lluvia o a comienzos de temporada cuando la alta temperatura del suelo en esas fechas puede favorecer la fusión de las capas basales del manto de nieve.
En los Pirineos tenemos decenas de ejemplo pero algunos de los más representativos pueden darse en el Pico Labata, en la Zapatilla y la Suela en Candanchú, en el Pico de la Garganta de Borau, en las laderas de la Raca que dan al puerto de Somport; Montcorbison, Garos, Arties, acceso al Pla de Beret y en la solana de Vila y Montcorbau, Varradós, Estiuera, en el Valle de Aran; en el Pico de Certascan en el Pallars Sobirà; en el Casamanya. Pla de l'Estany y Encampadana en Andorra, entre otros.

Reconocimiento
Las grietas de deslizamiento son una indicación de que las avalanchas de deslizamiento son posibles. Debido a que el deslizamiento ocurre en la superficie del suelo, la velocidad es difícil de observar. No existe una correlación directa entre los eventos

Nivel de alerta	Aproximación a la probabilidad de aludes	Deslizamiento (cm/h)	Otras indicaciones
0	Estable	0	Sin indicaciones visuales
1	En unas semanas	> 0	Aparecen grietas de deslizamiento y la nieve se está volviendo isotérmica
2	En unos días	> 0,5	Nieve isotérmica. La temperatura del aire excede 0°C tanto de día como de noche
3	En pocas horas	> 5	
	En cualquier momento	> 15	

Tabla 1. Umbral de deslizamiento y aproximación a la probabilidad de aludes presentado por Humstad et al. (2018) en el informe Stavbrekkaforma gjeldskred: Evaluering etter tre år med målinger.



Deslizamiento basal en el Valais, sector Vallon d'Arbi, región de los 4 valles. Municipio de Riddes. Foto: Police Cantonale du Valais.

ACCIDENTOLOGÍA POR ALUDES DE TIPO DESLIZAMIENTO BASAL

Por lo tanto, diferentes sistemas de monitoreo del deslizamiento han sido probados en las últimas temporadas de invierno con el objetivo de obtener una mejor comprensión del deslizamiento de la nieve con la intención de realizar una mejor predicción de este alud específico. Los métodos probados han sido: el deslizamiento de zapatas previamente colocadas en la base de la nieve, el seguimiento de las grietas mediante fotografía *time lapse* y estudios InSAR del manto de nieve junto con el monitoreo de la temperatura de la capa de nieve. Los resultados de este estudio mostraron que la fracturación con deslizamiento se iniciaba después de unos días de acumulación de nieve isotérmica y la nieve se forma en dos lóbulos deslizantes. Después de 3 a 8 semanas se producen los aludes y la velocidad de deslizamiento antes del alud dependía de las temperaturas en nieve y aire. Tres horas antes de la avalancha, se midieron movimientos del deslizamiento de hasta 30 cm/h.

El método más útil para el monitoreo en tiempo real parece ser el InSAR; sin embargo, las mediciones de deslizamiento y el análisis fotográfico son útiles para la validación y el análisis complementario.

personas atrapadas no estaban equipadas con DVA. Las dimensiones de este fatídico alud fueron de unos 400 metros de longitud, con una anchura de unos 150 metros. La zona de inicio se situaba aproximadamente a 2.200 metros y la zona de llegada se situó a 1.900 metros. El valle de Arbi es una ruta clásica de fuera de pista, muy transitada y de fácil acceso, especialmente desde el lago Vaux en las pistas de Verbier, donde existe un itinerario fuera de pista marcado por estacas amarillas a lo largo de este valle.

Saint-François-Longchamp (Francia). Daños materiales en telesilla. 2/3/2012.

Una espectacular avalancha destruyó un telesilla en la estación saboyana de Saint-François-Longchamp. Las imágenes transmitidas por los telesilleros con vídeos amateurs filmados por esquiadores dieron la vuelta al mundo en pocas horas. Durante el día, alrededor de las 15.30 h y mientras la estación permanecía abierta al público, se desencadenó un alud de tipo deslizamiento basal cerca del telesilla Lauzière, en el que iban alrededor de 70 personas. El "flujo" de nieve se movió lentamente hacia la motriz de salida del telesilla y parecía casi inofensivo en un primer

Vallon d'Arbi - Verbier (Suiza). 4 muertos. 16/03/2018

Durante la pasada temporada invernal 2017-2018, un alud de gran magnitud de tipo deslizamiento basal se desencadenó en el sector de Vallon d'Arbi (Suiza), en Riddes. Varios esquiadores descendían cuando el alud descendió desde la ladera por su derecha. Una persona fue capaz de "huir" del alud, dos personas fueron rescatadas de la masa de nieve, y 4 personas no fueron encontradas durante las primeras horas ni días. El día 21 de marzo, la última víctima que quedaba sin encontrar de este fatídico accidente fue encontrada; seis semanas después del alud. Las



Pila de l'Estany, Andorra. Foto: Oscar Santos (GRW Bombers d'Andorra).



Pla de l'Estany, Andorra. Foto: Oscar Santos (GRM Bombers d'Andorra).

CONCLUSIONES

Predicir el desencadenamiento de deslizamiento basales es en la actualidad muy complicado y desafiante. Teniendo en cuenta que este tipo de aludes solo ocurren en pendientes muy específicas, es necesario identificarlas correctamente y evitarlas. Las grietas de deslizamiento son un indicador significativo, al igual que los deslizamientos basales recientes. Numerosos métodos se han propuesto a lo largo de los años para intentar pronosticar el desencadenamiento de estos aludes, pero el nivel de éxito ha sido limitado. En consecuencia, la predicción de este tipo de aludes sigue siendo un proceso difícil y depende en gran medida de la experiencia del predictor.

Sin embargo, a pesar del gran progreso realizado en este campo de investigación, todavía hay algunos problemas no resueltos, como la influencia de las condiciones del suelo en el deslizamiento de la nieve o los umbrales de deslizamiento, que pueden favorecer la creación de un exitoso sistema de alerta temprana.

grietas de la zona de salida del alud, los servicios de la estación habían cerrado esta pista durante un mes, pero no imaginaron nunca la afección que podría tener el desencadenamiento natural del alud al telesilla instalado hace 30 años.

Stairs Gulch de Big Cottonwood Canyon (USA). 2 muertos. 28/4/2001

Estas dos muertes pueden ser las únicas muertes registradas por deslizamientos basales en los Estados Unidos. Durante la primavera las condiciones fueron muy cálidas durante esa temporada y un médico y su amigo de Alaska, también médico, partieron de madrugada para escalar el Stairs Gulch con crampones, piolets y una cuerda, pero sin DVA. Stairs Gulch es un corredor y canal de aludes con pendientes superiores a los 45° y una longitud de 1,500 m cerca de la parte inferior del Big Cottonwood Canyon. Mientras la pareja ascendía en la oscuridad de

momento. Por suerte, un empleado de la estación que sube desde el telesilla no dejó subir a más esquiadores al telesilla y los invitó a marcharse del lugar al visualizar que el alud lentamente se dirigía hacia la motriz del telesilla. Una vez que el último asiento que transportaba pasajeros cruzó la cuarta pylon, los trabajadores activaron la parada de emergencia del telesilla. En unos segundos, la gran masa de nieve, extremadamente compacta, llegó al área de la motriz de salida, impactando de lleno contra ella, doblando dos pilonas a su paso y destrozando varios asientos en un impacto terrible antes de detenerse silenciosamente bajo el asombro de los esquiadores presentes en la zona. Milagrosamente, nadie resultó herido y los esquiadores que se encontraban en el telesilla fueron evacuados tras dos horas de espera.

Consientes del peligro que presentaba la pista negra que pasaba bajo las

la madrugada, una gran avalancha de deslizamiento basal se liberó por encima de ellos y descendió al angosto barranco que ascendían. Horas después, tras no comunicar el final de su actividad, el rescate fue activado. En un primer momento los rescatadores encontraron la bota de una víctima sobresaliendo de la nieve y un perro de búsqueda pudo localizar a la segunda víctima enterrada a 2,4 m de profundidad y a 365 m de distancia de la otra víctima. Esta es la primera muerte conocida por una avalancha de deslizamiento en Utah y tal vez la única en Estados Unidos. Bruce Tremper comentó tras realizar el informe del citado accidente: "No sé si desencadenaron la avalancha que los mató. Si no la desencadenaron, estaban en el lugar equivocado en el momento equivocado".

Bibliografía

Avalanches.org. 2018. Available at: www.avalanches.org (Accessed 15 Jun. 2018).

Ancey, C. and Bain, V. (2015) "Dynamics of glide avalanches and snow gliding", *Reviews of Geophysics*, doi: 10.1002/2015RG000491.

Ancey, C. and Bain, V. 2014, "Warmer snow cover, gliding snow, and glide avalanches: lessons from the winters of 2012 and 2013 in France", *Reviews of Geophysics*

Blog: *Glide avalanche primer*. utahavalanchecenter.org (no date). Available at: [www.utahavalanchecenter.org/blog/glide-avalanche-primer](http://utahavalanchecenter.org/blog/glide-avalanche-primer) (Accessed: 15 Jun. 2018).

Ceaglio, E. et al. (no date) "A characterization of snow II-depth slab avalanche release area (Valle d'Aosta, NW Italian Alps)". Available at: <http://arclib.montana.edu/snow-science/objects/issw-2012-561-568.pdf> (Accessed: 15 Jun. 2018).

Dreier, L. et al. 2013. "The influence of weather on glide-snow avalanches". Available at: [www.arclib.montana.edu/snow-science/objects/ISSWB_paper_P1-06.pdf](http://arclib.montana.edu/snow-science/objects/ISSWB_paper_P1-06.pdf) (Accessed: 15 June 2018).

Höller, P. 2014. "Snow gliding and glide avalanches: a review". *Natural Hazards*, 71(3), pp. 1259–1288, doi: 10.1007/s11069-013-0963-9.

Humstad, T. et al. 2016. "Monitoring the Stabrekka glide avalanche. International Snow Science Workshop 2016 in Breckenridge, CO". Available at: www.arclib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW16_P1.05.pdf (Accessed: 15 June 2018).

Indreiten, M. and Svarstad, C. (no date) "The long-yearbyen fatal avalanche accident 19th december 2015, Svalbard-lessons learned from avalanche rescue inside a settlement". Available at: [www.arclib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW16_O16.01.pdf](http://arclib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW16_O16.01.pdf) (Accessed: 15 June 2018).

Jones, A., 2004. "Review of Glide Processes and Glide Avalanche Release". *Avalanche News* 69, 53–60.

Nicole Rue de la Cure, B. and Nicoleberthod, B. 2014. "Monitoring glide avalanches using Time-Lapse Photography". Available at: www.unifr.ch/geoscience/geographie/assats/files/bachelor-theses/Master_Berthod_Nicole.pdf (Accessed: 15 June 2018).

Rivero, F. et al. 2013. "Nota sobre varias avalanchas en el Pico Labata (Ansó, Huesca)". Available at: www.docplayer.es/90655286-Nota-sobre-varias-avalanchas-en-el-pico-labata-anso-huesca.html (Accessed: 15 June 2018).

"The mysteries of glide avalanches | ScienceNordic (no date)". Available at: www.sciencenordic.com/mysteries-glide-avalanches (Accessed: 15 June 2018).

Vegeesen.no. 2018. "Stabrekktforma gledeskred: Evaluering etter tre år med målinger". (PDF, 2 MB). Available at: www.vegeesen.no/fag/ (Accessed: 30 Aug. 2018).