



PROYECTO GLACIARES+

Más allá de los riesgos hacia las oportunidades

EVALUACIÓN DE PELIGROS Y SUS PRINCIPALES COMPONENTES EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA¹

Peligros relacionados al derretimiento de glaciares y permafrost ocurren en muchas regiones montañosas, convirtiéndose en amenaza para la vida, los medios de subsistencia y el desarrollo sostenible en algunas de las comunidades más vulnerables del mundo. En vista del rápido calentamiento global y los cambios relacionados en la sensible criósfera de montaña, los paisajes están evolucionando y nuevas amenazas están surgiendo. Reconociendo la necesidad de un planteamiento estructurado y global de la evaluación del riesgo, el Grupo de Trabajo Permanente sobre Peligros Glaciares y Permafrost en Alta Montaña (GAPHAZ, por sus siglas en inglés) ha elaborado una guía técnica cuyo fin general es proveer una compilación precisa de los últimos avances y las mejores prácticas relacionadas a la evaluación de peligros glaciares y permafrost. Este trabajo ha sido sustancialmente apoyado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) a través del Proyecto Glaciares+ en el Perú. El presente brief resalta el enfoque sistemático y los componentes fundamentales para una evaluación de peligros según la metodología de la nueva guía.

Siguiendo las definiciones internacionales, el **peligro** es identificado como la potencial ocurrencia de un fenómeno o proceso físico (natural o inducido), el cual podría causar daños humanos e impactos negativos en el territorio a nivel social, económico y/o ambiental. Técnicamente, el peligro es evaluado como la función de la probabilidad de ocurrencia de un evento y la intensidad esperada del mismo en el sitio dado.

$$\text{PELIGRO} = F(\text{PROBABILIDAD, INTENSIDAD})$$

En el proceso de evaluación de peligros se distinguen dos componentes principales, los cuales son: 1) la evaluación de la susceptibilidad y estabilidad; y 2) la evaluación del impacto del proceso o evento de peligro. En la figura 1 se presenta los diferentes elementos y etapas de cada componente y fase a explicarse posteriormente.

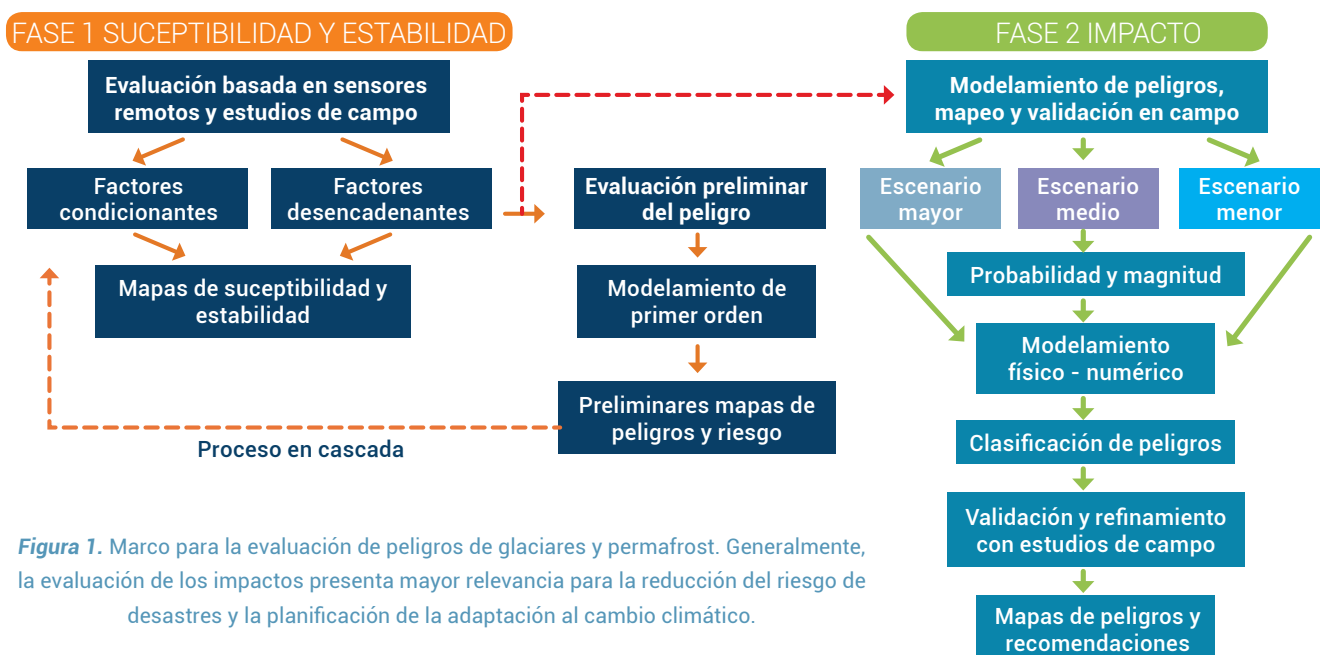


Figura 1. Marco para la evaluación de peligros de glaciares y permafrost. Generalmente, la evaluación de los impactos presenta mayor relevancia para la reducción del riesgo de desastres y la planificación de la adaptación al cambio climático.

¹ El presente resumen ejecutivo ha sido desarrollado en base al informe *Evaluación de Peligros por Glaciares y Permafrost en Regiones de Montaña - Documento Técnico de Orientación*, ejecutado por S. K. Allen, H. Frey, C. Huggel y otros investigadores integrantes de Grupo de Trabajo GAPHAZ.

FASE 1. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y LA ESTABILIDAD

Identificar dónde probablemente inicien peligros

La **susceptibilidad** es definida como una medida relativa de probabilidad de ocurrencia o inicio de un peligro desde un sitio determinado, basada en las características y propiedades intrínsecas de aquel lugar. Tiene una relación inversa con la estabilidad, es decir, a mayor susceptibilidad, menor estabilidad del territorio y viceversa.

La evaluación de la susceptibilidad se da en base a **factores condicionantes** que abarcan características inherentes del lugar, pero también a factores dinámicos que la incrementan a lo largo del tiempo (p. ej., la temperatura promedio del aire). Por su parte, los **factores desencadenantes** se reservan para aquellos procesos que inician el movimiento o la transformación, otorgándole inestabilidad al anteriormente estable sitio (p. ej., los sismos). La relevancia de ciertos factores para la susceptibilidad variará según el caso, y se necesitará un juicio de expertos para determinar si se debe aplicar o no una mayor ponderación a determinados factores en su evaluación local.

La evaluación de la susceptibilidad proporciona una base para identificar y dar prioridad al sitio exacto en donde se desarrollarán los estudios de impacto posteriores (p. ej., la priorización de pendientes altamente susceptibles o inestables). Asimismo, la información recolectada durante esta etapa será el insumo principal para el desarrollo de escenarios y la modelización de peligros dentro de la fase de evaluación de impacto. La evaluación de la susceptibilidad a nivel de una cuenca o en escalas mayores, puede basarse en información remota. En este sentido, el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) posibilita la superposición de diversos factores y permite la implementación de clasificaciones semicualitativas basadas en píxeles. Si fuese posible y factible el reconocimiento de las áreas críticas se puede hacer uso de data local específica para conducir análisis cuantitativos, como la estabilidad o modelos cinemáticos de pendiente. Ello debe estar acompañado del acceso al campo, a las investigaciones geofísicas in-situ y/o al sensoramiento remoto de muy alta resolución.

FASE 2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Identificar la amenaza potencial del peligro para regiones aguas abajo y proporcionar la base científica para la toma de decisiones y la planificación

Se define al **impacto** como la amenaza física potencial producida por un evento de peligro. La información recopilada en la fase 1 así como el uso de modelos simples y aproximaciones empíricas, permiten el desarrollo de mapas indicativos del potencial de peligro. Este primer paso, denominado "evaluación preliminar del peligro", incluye enfoques que proporcionan una primera indicación de la extensión y posibilidad de los peligros naturales, pero donde las intensidades de los mismos no son modelados físicamente. Estos enfoques combinan estimaciones empíricas de posibles magnitudes de eventos (p. ej., el volumen de avalancha o el volumen de inundación y la descarga máxima) y distancias de alejamiento, con modelos hidrológicos simples o algoritmos de enrutamiento de flujo. Debe ser utilizado como un indicador de primer orden de peligros potenciales y como base para priorizar mayores investigaciones locales y mapeo de peligros. Para procesos en cascada, el modelamiento de primer orden también puede retroalimentar la evaluación de la susceptibilidad, identificando, por ejemplo, la localización de lagunas dentro de la trayectoria de desvío potencial de una avalancha de hielo o roca.

Donde han sido identificadas situaciones críticas, se recomienda ejecutar el modelamiento y mapeo del peligro, el cual es soporte importante para lograr un mapa de peligro. El mapeo típico de los peligros se basa en registros históricos para el establecimiento de relaciones de frecuencia (probabilidad)-magnitud (intensidad). Es posible utilizar esta información posteriormente para el desarrollo de escenarios y modelamiento del peligro. Para peligros originados en ambientes de alta montaña, la determinación de relaciones fiables frecuencia-magnitud está limitada por tres factores:

- Los peligros se originan a menudo en lugares remotos e inaccesibles, lo que significa que incluso grandes eventos pueden haber pasado desapercibidos y las fechas están mal limitadas en el registro histórico.
- La criósfera dinámica está cambiando rápidamente y en algunos casos las condiciones están fuera de cualquier precedente histórico, lo cual implica que las relaciones de frecuencia y magnitud presenten una significancia cada vez menor.

- Muchos eventos pueden ocurrir sólo una vez y, por lo tanto, las relaciones de frecuencia-magnitud pueden no aplicarse en absoluto.

Dadas estas limitaciones, un enfoque semicualitativo es recomendado para el desarrollo de escenarios. En un contexto de evaluación de peligros glaciares y permafrost, el escenario describe un posible evento de peligro basado en la magnitud y probabilidad de ocurrencia.

El objetivo del desarrollo de escenarios es establecer escenarios factibles y de diferentes magnitudes para el modelamiento del peligro, en los cuales la masa o volumen potencial iniciado es estimado para diferentes casos (generalmente para un evento pequeño, mediano o grande), asignándole la mejor estimación correspondiente de la probabilidad de ocurrencia a tal evento.

En vista de posibles eventos extremos de baja probabilidad, pero con magnitudes potenciales suficientemente grandes para no ser excluidas de la evaluación, se propone un solo escenario "de peor caso". Esto podría ser apropiado, por ejemplo, para un lago de gran volumen al que se le considera que tiene muy baja probabilidad de un estallido.

De acuerdo con los resultados del modelamiento del peligro, el área potencial afectada por el evento de peor caso podría ser marcada como un área de peligro residual.

El experto puede establecer posibles escenarios basados en las siguientes fuentes primarias de información:

- Información compilada durante la evaluación de la susceptibilidad-estabilidad específica de la cuenca y/o sitio.
- Inferencias basadas en inventarios históricos locales y evidencia de campo de eventos pasados.
- Inferencias basadas en evidencia y comprensión de procesos de casos internacionales.

El horizonte temporal para el cual el escenario es válido debe de ser indicado. Si se pretende que el escenario sea válido durante períodos de tiempo prolongado (varias décadas), es necesario considerar adecuadamente los respectivos cambios climáticos futuros. Así, los escenarios de peligros pueden ser independientes o estar vinculados a escenarios climáticos, dependiendo del horizonte de tiempo para el que se considera válida la evaluación de los peligros. Sin embargo, en vista de

las rápidamente cambiantes condiciones ambientales, el desarrollo de escenarios debe incorporar información y entendimiento actual sobre cambios y transformaciones de los paisajes glaciares y periglaciares, y las implicancias resultantes para las magnitudes y probabilidades de ocurrencia de los eventos de peligro.

La alta disponibilidad de modelos físico-numéricos provee la base para el mapeo físico de las intensidades de los eventos para cada escenario de peligro determinado. La selección del modelo (o modelos) a utilizar debe ajustarse a los requisitos, recursos e información disponible a nivel local.

Según los estándares suizos, se distinguen clases de intensidad baja, media y alta, definidas en base a posibles daños que el evento podría causar a la población e infraestructura. No obstante, estas suposiciones no consideran si realmente personas e infraestructuras están expuestas al evento simulado, como sería considerado en una evaluación del riesgo. Los criterios cuantitativos según unidades físicas de los procesos (p. ej., velocidades de flujos, energía cinética) pueden ser utilizados para una mejor definición de las clases de intensidad, haciendo uso de uno o más resultados (productos) del modelo simulado.

- **Alta intensidad:** Las personas y los animales confrontarían amenazas de lesiones dentro de las edificaciones. Daños graves a los edificios o incluso la destrucción de los mismos serían posibles.
- **Mediana intensidad:** Las personas y los animales confrontarían amenazas de lesiones fuera de las edificaciones. Daños no graves a las infraestructuras.
- **Baja intensidad:** Las personas y los animales estarían ligeramente amenazados, incluso fuera de los edificios (excepto en el caso de avalanchas de piedra y bloque, las cuales podrían dañar o matar a personas y animales). Se podría esperar un deterioro superficial de las infraestructuras.

Para vincular el modelamiento de escenarios y las intensidades correspondientes con el nivel de peligro, es favorable el uso de una matriz en su clasificación (ver figura 2). Para cada escenario, la matriz (de 3 por 3 celdas) vincula las intensidades del movimiento de masa o inundación modelados con el nivel de probabilidad asignado para ese escenario. De esta manera, se establece un nivel de peligro.

Los escenarios múltiples (p. ej., escenarios pequeños, medianos y grandes) se pueden superponer y ajustar a través de la asignación de campos para llegar a un mapa de peligros.

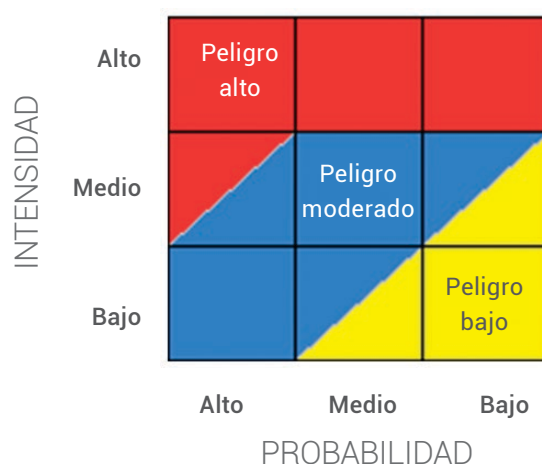


Figura 2. Método basado en una matriz que vincula la evaluación de la probabilidad de ocurrencia con la intensidad del proceso o evento, basado en escenarios. De esta manera, se llega a una clasificación de peligros.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La **guía** desarrollada por GAPHAZ brinda una **orientación para expertos en la evaluación de peligros naturales en zonas de alta montaña**. Las tablas anexadas con los factores que deben ser analizados por cada proceso son herramientas detalladas y nuevas. El documento refleja los nuevos avances del conocimiento científico y permite obtener una evaluación integral de los procesos peligrosos y sus posibles interacciones. Sin embargo, el documento **no puede reemplazar a los conocimientos y la experiencia local del profesional responsable para la evaluación** y podría ser sujeto a ciertas adaptaciones según condiciones in-situ.
- El presente **brief** se enfoca en mostrar los componentes principales a considerar en una evaluación de peligros glaciares y permafrost que producen amenazas locales, tal y como está estipulado en la guía original. En este sentido, sólo se **propone información requerida para uno de los componentes del riesgo: el peligro**.
- La **evaluación preliminar del peligro sirve para múltiples factores**: 1) como paso intermedio para identificar puntos potenciales de riesgo, donde futuros estudios, investigaciones de campo, modelamiento y mapeo de amenazas pueden ser enfocados; 2) como una alternativa al modelamiento basado en proceso y el mapeo de peligros, en lo cual la calidad y resolución de la data impide un enfoque más sofisticado; 3) como identificador de potenciales procesos en cascada y eventos de reacción en cadena; y 4) para una anticipación temprana de futuras amenazas.
- La **fase 2** de la evaluación de peligros tiene como **meta y/o producto final** la elaboración del **mapa de peligros**. Este mapa presenta los principales peligros (en este caso, glaciares y permafrost) presentes en una ciudad o comunidad, y su nivel de afectación por zonas, tomando en consideración las variables y los factores anteriormente analizados. El mapa de peligros es una **herramienta indispensable en un Sistema de Alerta Temprana** (p. ej., ante peligro de aluvión) y constituye un instrumento importante en la planificación del territorio.

REFERENCIAS SELECCIONADAS

Evans, S. G., & Delaney, K. B. (2015). Catastrophic Mass Flows in the Mountain Glacial Environment. *Snow and Ice - Related Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier, 568 - 606.

Faillietaz, J., Funk, M., & Vincent, C. (2015). Avalanching glacier instabilities: Review on processes and early warning perspectives. *Reviews of Geophysics*, 53 (2), 203 - 224. <https://doi.org/10.1002/2014RG000466>

Haeberli, W., Schaub, Y., & Huggel, C. (2016). Increasing risks related to landslides from degrading permafrost into new lakes in de-glaciating mountain ranges. *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.02.009>

Haeberli, W., & Whiteman, C. (2015). *Snow and Ice - Related Hazards, Risks and Disasters*. Elsevier: Amsterdam.

Huggel, C., Käab, A., Haeberli, W., Teyssere, P., & Paul, F. (2002). Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(2), 316 - 330.

Krautblatter, M., Funk, D., & Günzel, F. K. (2013). Why permafrost rocks become unstable: a rock - ice - mechanical model in time and space. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(8), 876 - 887. <https://doi.org/10.1002/esp.3374>

Richardson, S.D., & Reynolds, J. M. (2000a). An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quaternary International*, 65/ 66, 31 - 47. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00035-X)

Richardson, S.D., & Reynolds, J. M. (2000b). Degradation of ice - cored moraine dams: implications for hazard development. *Debris - covered Glaciers: proceedings of a workshop held at Seattle, Washington*. IAHS Publication, Wallingford, 187 - 198.

Schneider, D., Huggel, C., Cochachin, W., Guillén, S., & García, J. (2014). Mapping hazards from glacier lake outburst floods based on modelling of process cascades at Lake 513, Carhuaz, Peru. *Advances in Geosciences*, 35, 145 - 155. <https://doi.org/10.5194/adgeo-35-145-2014>

La producción de este documento fue posible gracias al Proyecto Glaciares+, iniciativa de la cooperación Suiza-Perú en el marco del Programa Global de Cambio Climático y Medio Ambiente de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), ejecutado por CARE Perú y el consorcio suizo liderado por la Universidad de Zurich, y conformado por Meteodat, el Centro de Investigación del Medio Alpino (CREALP) y la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL).

El proyecto se realiza en estrecha coordinación con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Centro de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED); y es implementado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH) de la ANA, gobiernos regionales de Ancash, Cusco y Lima, gobiernos y universidades locales.



Base y colaboradores del Resumen Ejecutivo



Socios y aliados PG+



Visualice y descargue *Evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña - Documento Técnico de Orientación.*



Download and view *Assessment of Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions-Technical Guidance Document.*



Download and view english version of the *Executive Brief.*