



### “Pisando hielo fino: cómo adaptar la gestión de los recursos hídricos a los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas”

23.03.2021

#2

Casi el 25 % de la población mundial depende de la criósfera de las montañas, glaciares, nieve y permafrost, como principal fuente de agua. Pero esta fuente se está reduciendo a un ritmo jamás visto antes en casi todo el mundo. Los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas ya han alterado los caudales de algunos ríos y se espera que los efectos en los recursos hídricos y sus usos aumenten aún más en el futuro. Sin embargo, los efectos observados varían según las regiones, las estaciones y las escalas de tiempo, y sigue habiendo incertidumbre en las proyecciones sobre los futuros efectos.

La gestión de los recursos hídricos, por lo tanto, tiene que afrontar mejor las incertidumbres adoptando un enfoque basado en el riesgo y adoptando soluciones que sean sólidas dentro de una gama más amplia de posibles condiciones futuras. Además, con la desaparición de los glaciares y la llegada del llamado “pico de agua”, se prevén cambios más bruscos en la disponibilidad del agua. Con los efectos más dramáticos de las temperaturas más altas, la adaptación incremental puede ser insuficiente y puede ser necesaria una adaptación transformacional que involucre cambios más sustanciales y sistémicos.

Esta hoja de tendencias resume el estado de la investigación sobre los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas y su efecto en los recursos de agua dulce. Ofrece ejemplos de enfoques que pueden ayudar a afrontar las incertidumbres y revisa nuevas ideas para fomentar la transformación.

## Contenido

¿Por qué esta hoja de tendencias?	2
Definición de términos	2
La criósfera de las montañas: torres de agua para miles de millones de personas en todo el mundo	3
¿Cómo los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas afectan los recursos de agua dulce?	4
Adaptación de la gestión de agua a cambios inciertos en las zonas de montaña	7
Necesidad de un cambio más transformador	9

## Definición de términos

**Criósfera** – Los componentes del sistema Tierra ubicados en la superficie terrestre y oceánica y debajo de las mismas, que están congelados, incluyendo la capa de nieve, los glaciares, las capas de hielo, las plataformas de hielo, los icebergs, el hielo marino, el hielo de los lagos, el hielo de los ríos, el permafrost y el suelo estacionalmente congelado. [5]

**Pico de agua** – El pico de agua se refiere al año en que la escorrentía anual de la zona inicialmente cubierta por el glaciar comenzará a disminuir debido a la contracción del glaciar después de un período de aumento de la escorrentía inducido por el deshielo. [3]

**Resiliencia** – Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ecológicos interconectados para hacer frente a un acontecimiento peligroso, una tendencia o una perturbación, respondiendo o reorganizándose de forma que mantengan su función, identidad y estructura esenciales. [5]

**Riesgo** – El potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados a dichos sistemas. En el contexto del cambio climático, los riesgos pueden surgir de los efectos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al cambio climático. [5]

**Adaptación transformacional** – Adaptación que cambia los atributos fundamentales de un sistema socio-ecológico en previsión del cambio climático y sus efectos [...] caracterizada por un cambio en todo el sistema o por cambios en más de un sistema, por un enfoque en el futuro y por el cambio a largo plazo, o por un cuestionamiento directo de la efectividad de los sistemas existentes, las injusticias sociales y los desequilibrios de poder. [5]

**Vulnerabilidad** – Propensión o predisposición a verse afectado negativamente. La vulnerabilidad abarca una serie de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontarlo y adaptarse. [5]

**Torre de agua** – En el contexto de la hidrología, se utiliza como término simbólico de una zona montañosa para describir el almacenamiento y suministro de agua que las cordilleras proporcionan para sostener las demandas de agua ambientales y humanas aguas abajo.

## ¿Por qué esta hoja de tendencias?

### ¿Qué tendencia observamos?

La [criósfera](#) de las montañas (glaciares, nieve, permafrost y hielo en zonas montañosas) está desapareciendo en casi todo el mundo debido al cambio climático. Se espera que muchos glaciares desaparezcan hasta finales del siglo XXI, sobre todo en las regiones con glaciares más pequeños y una capa de hielo relativamente escasa. Se espera que esta tendencia se acelere aún más en las próximas décadas debido al cambio climático antropogénico.

### ¿Por qué es importante esta tendencia para los profesionales del agua en la cooperación para el desarrollo?

– **Casi 2.000 millones de personas en todo el mundo dependen de la criósfera de montaña como principal fuente de agua.** La criósfera de montaña y los ecosistemas montañosos de gran altitud forman “[torres de agua](#)” naturales que proporcionan y regulan los recursos de agua dulce para las personas que viven en las montañas, así como aquellas aguas abajo.

– **Los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas repercuten significativamente en la disponibilidad, calidad y el calendario de los caudales, pero los efectos varían según las regiones, las estaciones y las escalas temporales, y sigue habiendo incertidumbre en las proyecciones a futuro.** Los gestores del agua llevan mucho tiempo desarrollando enfoques para hacer frente al exceso y a la escasez de agua, así como a la variabilidad climática. Sin embargo, el cambio climático añade otra capa de incertidumbre y puede provocar cambios más rápidos.

– **Los efectos más inciertos y supuestamente dramáticos del cambio climático pueden hacer que las actuales prácticas de adaptación sean inadecuadas.** Adaptar la gestión de los recursos hídricos de forma incremental a las condiciones cambiantes puede ser insuficiente; en su lugar, serán necesarios cambios más sustanciales y sistémicos ([adaptación transformacional](#)) para mantener la [resiliencia](#) a largo plazo.

### ¿Qué hay de nuevo?

**Los glaciares se están reduciendo aún más rápido de lo que se pensaba**, en casi todo el mundo, como han demostrado los métodos mejorados y la cobertura de datos de las observaciones por satélite e in situ [1].

Investigaciones recientes destacan que las [torres de agua](#) más importantes del mundo **se encuentran también entre las más vulnerables a los cambios climáticos y socioeconómicos** [2].

**Están surgiendo nuevas ideas sobre cómo afrontar las incertidumbres y los cambios profundos mediante medidas de adaptación.** Los enfoques de la gestión basada en el [riesgo](#) se han adaptado recientemente para su mejor uso en la planificación del agua, y la investigación en curso sobre la adaptación transformacional está proporcionando las primeras ideas sobre cómo lograr un cambio más sistémico.

## La criósfera de las montañas: torres de agua para miles de millones de personas en todo el mundo

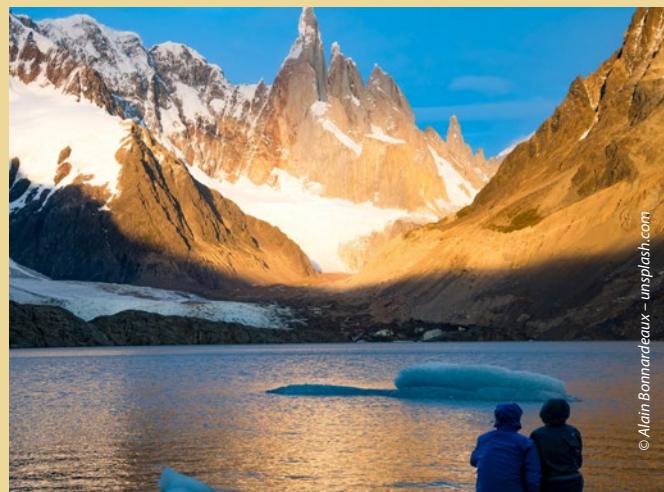
Las zonas de alta montaña de todo el mundo forman “[torres de agua](#)” naturales que constituyen un componente importante del ciclo hidrológico y una fuente significativa de agua dulce para muchas personas en el mundo. Esto se refiere a las personas que viven en las montañas, pero también a las que viven en las regiones situadas aguas abajo, especialmente en las zonas áridas y semiáridas. En las zonas de alta montaña, el agua suele aparecer en forma de componentes congelados del ecosistema, la llamada **criósfera** (que incluye la nieve, los glaciares, el permafrost y el hielo de los lagos y ríos). Los glaciares y la nieve almacenan agua durante los períodos más fríos de precipitaciones y la liberan como agua de deshielo en las estaciones más cálidas y secas. La criósfera funciona, por tanto, como un almacén de agua estacional y/o a largo plazo que puede salvar los períodos áridos y actuar como un importante amortiguador para el suministro de agua a los asentamientos humanos, la agricultura, la energía hidroeléctrica y los ecosistemas naturales, especialmente en las regiones vulnerables propensas a la sequía. Se calcula que las torres de agua criósfericas abastecen de agua a unos 1.900 millones de personas, es decir, casi el 25 % de la población mundial [\[2\]](#). Desgraciadamente, las torres de agua más importantes en este sentido se encuentran también entre las más vulnerables a los cambios climáticos y socioeconómicos.

Debido a la lejanía de las zonas montañosas, las redes de vigilancia suelen ser insuficientemente densas y los trabajos de campo complicados, lo que compromete la gestión actual y las proyecciones de cambios futuros. Aunque las mejoras en los sistemas de observación y el desarrollo de modelos han logrado mejorar la comprensión científica del cambio de la criósfera en los últimos años, las observaciones meteorológicas, hidrológicas, climáticas y de la criósfera en las regiones montañosas siguen siendo escasas. Además, los sistemas de montaña y las torres de agua a menudo se extienden más allá de las fronteras nacionales, por lo que se requiere la cooperación transfronteriza y el intercambio de datos para la gestión sostenible de los recursos. Por ello, en octubre de 2019, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en su Cumbre de Alta Montaña, hizo un [llamamiento a la acción](#) para aumentar los esfuerzos internacionales en materia de observación de alta montaña. Sin embargo, las incertidumbres también están relacionadas con el desarrollo socioeconómico y, por tanto, con la demanda de agua en las zonas de montaña y aguas abajo.

### Recuadro 1 - Índice de la Torre del Agua

El [índice de torres de agua](#), elaborado recientemente por un grupo internacional de investigadores, clasifica todas las [torres de agua](#) criósfericas en importancia según su función en el suministro de agua y la demanda de los ecosistemas y la sociedad aguas abajo. La investigación también evaluó la [vulnerabilidad](#) de las torres de agua, suponiendo que ésta depende del estrés hídrico (relación entre las extracciones totales de agua y la disponibilidad de agua de superficie y subterránea renovable), la gobernanza, la tensión hidropolítica y los futuros cambios climáticos y socioeconómicos.

Las torres de agua del Indo, el Tarim y el Amu Darya en Asia son las que obtienen una mayor puntuación en importancia y vulnerabilidad, a nivel mundial. En Sudamérica, las torres de agua de Chile-Patagonia-Sur y Negro también obtienen una alta puntuación en ambos términos, importancia y vulnerabilidad. [\[2\]](#)



© Alain Bonnardiaux - unsplash.com

## ¿Cómo los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas afectan los recursos de agua dulce?

La criósfera de las montañas es muy sensible al cambio climático y sus efectos ya son evidentes: la cubierta de nieve de baja altitud, los glaciares y el permafrost muestran un descenso generalizado desde mediados del siglo XX, aunque la variabilidad anual y las diferencias regionales son considerables. Se prevé que la criósfera de las montañas siga disminuyendo en casi todas las regiones durante el siglo XXI [3]. El declive de la criósfera puede intensificarse aún más por la retroalimentación climática local: a medida que disminuye la capa de nieve blanca reflectante, aumenta la absorción de la radiación solar entrante, lo que a su vez provoca un mayor calentamiento, la llamada retroalimentación del albedo de la nieve.

Los efectos del cambio climático se manifiestan en cambios de lenta aparición en la cantidad y estacionalidad de la escorrentía de los ríos, así como en los extremos hidrológicos, en particular las inundaciones. **En las últimas décadas, los efectos del cambio climático sobre la nieve y los glaciares ya han alterado la cantidad y la estacionalidad de la escorrentía en las cuencas fluviales dominadas por la nieve y alimentadas por los glaciares, y se prevé que estos efectos sigan aumentando en el futuro.** A medida que los glaciares se derriten, la escorrentía estival y anual suele aumentar primero durante algunos años o décadas hasta llegar a un punto, denominado pico de agua, a partir del cual la escorrentía disminuye constantemente debido a la contracción de los glaciares. A pesar de la variabilidad regional, **la escorrentía promedio anual de los glaciares habrá alcanzado un pico al que seguirá un descenso de la escorrentía, como máximo a finales del siglo XXI en todas las regiones** [3]. Por lo tanto, la gestión del agua debe prepararse para la disminución de los caudales después de algunas décadas de mayor disponibilidad de agua (véase el recuadro 2).

Se prevé que los futuros cambios en la criósfera de las montañas afecten a los recursos hídricos y sus usos, como la agricultura de regadío y la energía hidroeléctrica en las zonas de alta montaña, así como en las tierras bajas aguas abajo. Sin embargo, las relaciones causa-efecto son complejas y **los efectos difieren significativamente entre las estaciones y las regiones, por lo que se requieren análisis de efecto regionales**.

El estado de la investigación sobre los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas, así como los efectos, riesgos y medidas de adaptación asociados, han sido sintetizados recientemente en un capítulo específico del Informe Especial sobre el océano y la criósfera en un clima cambiante (SROCC) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). A continuación se resumen las ideas más relevantes para la gestión de los recursos hídricos.



- **La escorrentía estival y anual ha aumentado en varios ríos alimentados por glaciares, debido a la intensificación del deshielo, pero ha disminuido en otros donde los glaciares ya están desapareciendo.** Cuando los glaciares se derriten, la escorrentía estival y anual suele aumentar primero durante algunos años o décadas hasta llegar a un punto, denominado pico de agua, a partir del cual la escorrentía disminuye constantemente debido a la reducción de los glaciares. Muchos glaciares ya han alcanzado el pico de agua y, según un estudio reciente, esto afecta, por ejemplo, al 82-95 % de la superficie de los glaciares de los Andes tropicales y al 55-67 % de los de Europa Central y el Cáucaso [4]. **Se prevé que la escorrentía estival disminuya a lo largo del siglo XXI en muchas cuencas**, por ejemplo en Asia de alta montaña y en los Andes tropicales, debido a la reducción de las nevadas y a la disminución del deshielo de los glaciares tras el pico de agua. El pico de agua se producirá generalmente antes en las regiones con poca capa de hielo y con glaciares más pequeños, como por ejemplo los Alpes europeos y el Cáucaso.
- **La escorrentía invernal ha aumentado en las últimas décadas y se prevé que siga aumentando en muchos ríos durante el siglo XXI**, debido a la mayor cantidad de precipitaciones que caen en forma de lluvia en lugar de nieve y al aumento del deshielo invernal en climas con constante calentamiento.
- **Los picos de escorrentía de primavera se han desplazado hacia una primavera más temprana debido al deshielo más temprano y se prevé que se produzcan hasta varias semanas antes hacia finales del siglo XXI**, en muchas cuencas fluviales dominadas por la nieve en todo el mundo. Esto puede provocar escasez de agua en verano y, por tanto, épocas críticas para el riego.
- **Las inundaciones provocadas por la lluvia sobre la nieve, es decir, las que se originan por la combinación de la nieve** que se derrite rápidamente y las precipitaciones intensas, han aumentado en las últimas décadas en las zonas altas en invierno y han disminuido en las zonas bajas en primavera. Las inundaciones provocadas por la lluvia sobre la nieve son unas de las más dañinas en las zonas de montaña, y se prevé que su frecuencia aumente y se produzca antes en primavera y más tarde en otoño en las zonas más altas y que disminuya en las zonas más bajas.

## Cuadro 2 - El deshielo de los glaciares hace florecer el desierto en Perú, pero no se sabe por cuánto tiempo



**El aumento del deshielo de los glaciares y de la nieve puede ser un suministro adicional de agua muy bienvenido en zonas secas.** Sin embargo, como el pico de agua se va a alcanzar pronto en muchas cuencas alimentadas por glaciares en el mundo, este suministro de agua no es sostenible a largo plazo. En el árido norte del Perú, el gobierno inició en la década de los ochenta un enorme proyecto de infraestructura para llevar al desierto el agua de riego procedente del deshielo de los glaciares de la Cordillera Blanca de los Andes mediante la construcción de un canal de 154 km (que se prevé ampliar a 267 km cuando se complete la tercera fase).

**El proyecto de riego Chavimochic** se desvía hasta 105 m<sup>3</sup>/s del Río Santa para la agricultura en las cuencas adyacentes de la árida llanura costera. Tras las fases I y II de Chavimochic, se han cultivado unas 81.000 hectáreas, que producen cultivos de exportación de alto valor. Al mismo tiempo, el proyecto suministra gran parte del agua potable de la ciudad costera de Trujillo. El proyecto ha creado así un medio de vida para miles de personas a través de la agricultura de regadío, proporcionando además agua potable y electricidad a partir de la energía hidroeléctrica. Los medios de vida de cientos de miles de personas han pasado a depender de un suministro de agua inseguro. Sin embargo, en la actualidad, los caudales están disminuyendo y son menos fiables, dado que los glaciares de los Andes se están reduciendo y se calcula que para 2050 habrá desaparecido gran parte de la capa de hielo. **Se necesita urgentemente un cambio fundamental hacia una gestión sostenible a largo plazo de los recursos hídricos (y en líneas generales de la propia región).**

## Otros efectos del cambio climático

- **Los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas pueden afectar la ocurrencia de riesgos naturales.** En las últimas décadas, el retroceso de los glaciares y el deshielo del permafrost han disminuido la estabilidad de las laderas de las montañas, y el número y la superficie de los lagos glaciares ha aumentado en la mayoría de las regiones. Se prevé que las inundaciones por desbordamiento de los lagos glaciares (GLOF), los deslizamientos de tierra y avalanchas de nieve se produzcan en nuevos lugares o en diferentes estaciones. Los [riesgos](#) conexos pueden verse agravados por la gestión insostenible del uso de la tierra y la deforestación.
- **Se prevé que el transporte de sedimentos en los ríos alimentados por la criósfera de las montañas aumente** como consecuencia de la mayor ocurrencia de inundaciones y del incremento de la erosión debido a la reducción del permafrost y al retroceso de los glaciares. Mientras que el transporte de sedimentos suministra importantes nutrientes a los ecosistemas de montaña y aguas abajo y a los suelos agrícolas, el aumento de la carga de sedimentos puede afectar a las instalaciones hidroeléctricas y a los sistemas de abastecimiento de agua, así como causar la sedimentación de las zonas húmedas. Sin embargo, todavía no se conocen bien los efectos de los cambios en la criósfera sobre el flujo de sedimentos en las zonas de montaña.
- **Los cambios en la criósfera de las montañas influirán en la calidad del agua.** Además de los cambios en el contenido de nutrientes debido al transporte de sedimentos, la liberación de metales pesados, en particular el mercurio, y otros contaminantes heredados actualmente almacenados en los glaciares y permafrost afectarán la calidad del agua. Esto puede suponer una amenaza potencial para la biota de agua dulce, el uso doméstico y el riego, especialmente en aquellos lugares en los que los glaciares están sometidos a importantes cargas contaminantes, como en la Alta Montaña de Asia y Europa.

## Oportunidades de los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas

Se prevé que el cambio climático traiga consigo importantes efectos adversos para las personas que viven en la criósfera de las montañas y aguas abajo. Sin embargo, también hay algunas oportunidades que podrían aprovecharse si se gestionan con prudencia.

- **Aprovechamiento sostenible del aumento de la escorrentía de los glaciares.** La escorrentía máxima anual [de los picos de agua](#) provenientes de los glaciares puede superar considerablemente la escorrentía anual generada antes de que el glaciar comience a retroceder. En un estudio mundial, se proyectó que el pico de escorrentía anual de agua aumentará más de 50 % con respecto a 1980-2000 en algunas cuencas [4]. Este exceso de agua puede utilizarse de diferentes maneras, como para la energía hidroeléctrica o para aumentar el riego en la agricultura. En Islandia, por ejemplo, la Compañía Nacional de Electricidad pudo aumentar la capacidad de producción de energía hidroeléctrica aprovechando el aumento de la escorrentía procedente del deshielo de los glaciares. Sin embargo, confiar en una mayor disponibilidad de agua a largo plazo es peligroso. La planificación estratégica de los recursos hídricos debe prever estrategias para hacer frente a la disminución de los caudales una vez alcanzado el pico de agua ([véase el recuadro 2](#)).
- **Cambio a cultivos que generen más ingresos o apoyen la seguridad alimentaria local.** El aumento de las temperaturas en las zonas de montaña permite a menudo ampliar las zonas de cultivo a mayores alturas y/o cultivar productos que no crecen en climas muy fríos, lo que proporciona nuevas o mayores oportunidades para la seguridad alimentaria local y la generación de ingresos. En algunos casos, el cambio a cultivos menos intensivos en cuanto al consumo de agua, como respuesta a la reducción de la disponibilidad de agua también ha traído consigo beneficios colaterales, como por ejemplo, la producción de cultivos más ricos en nutrientes que apoyan la seguridad alimentaria local.

### Más información

Huss et al 2017 "[Toward mountains without permanent snow and ice](#)"

UNESCO 2018 "[El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos: el impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos](#)"

Red Cambio Climático y Medio Ambiente de COSUDE 2019 "[Nexos entre el clima, la criósfera y el agua en Asia Central](#)"

Bloch et al 2019 "[Status and Change of the Cryosphere in the Extended Hindu Kush Himalaya Region](#)"

## Adaptación de la gestión de agua a cambios inciertos en las zonas de montaña

**Los abordajes existentes sobre la gestión de los recursos hídricos desarrollados para abordar la variabilidad en la disponibilidad de agua y los extremos hidrológicos pueden ser un buen punto de partida para adaptarse a los cambios en la criósfera de las montañas.** La gestión de los recursos hídricos siempre ha tenido que hacer frente a la variabilidad climática y a las condiciones de exceso o escasez de agua. Varios manuales y plataformas de información ofrecen guías generales, por ejemplo, la “[Guía para profesionales de las tecnologías de adaptación para aumentar la resiliencia del sector del agua](#)” del PNUMA/DHI. En algunos casos, el aprovechamiento de los conocimientos indígenas y la recuperación de las prácticas tradicionales de las comunidades de montaña pueden revelar soluciones sostenibles. Un ejemplo de Perú es la restauración de antiguas terrazas y canales siguiendo diseños de la época inca. Los canales captan el agua de los cursos de agua durante las épocas de mayor escorrentía y la distribuyen a zonas donde puede infiltrarse en el suelo para alimentar posteriormente manantiales más abajo en las montañas.

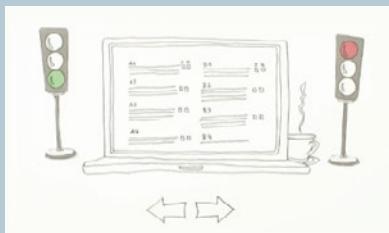
**Aumentar la capacidad de almacenamiento puede ayudar a resolver la reducción del almacenamiento natural que proporcionan los glaciares y los cúmulos de nieve en las montañas.** Las soluciones de almacenamiento van desde el desarrollo y gestión sostenible de embalses, a través de micropresas o estanques construidos por las comunidades, hasta la mejora del almacenamiento natural en los humedales de montaña y las prácticas de uso de la tierra que mantienen la humedad en el suelo. El informe del ICIMOD “[Water Storage - A strategy for climate change adaptation in the Himalayas](#)” (Almacenamiento de agua: una estrategia para la adaptación al cambio climático en el Himalaya) analiza los retos y las oportunidades relacionados con este tema en el Himalaya. Más recientemente, se han desarrollado estrategias para el almacenamiento de agua en glaciares artificiales en Ladakh (India), pero se cuestiona su sostenibilidad a largo plazo (véase, por ejemplo, [glacierhub.org](#)). En las cuencas fluviales transfronterizas, la cooperación de los estados ribereños puede contribuir a aumentar la eficacia del almacenamiento de agua, ya que a menudo es más eficiente el almacenamiento de agua para su uso aguas abajo en los países situados aguas arriba, como por ejemplo, en humedales o en presas polivalentes.

**Sin embargo, ante la rápida evolución de la criósfera y la incertidumbre que persiste, la gestión y planificación de los recursos hídricos debe basarse en evaluaciones integradas sobre los riesgos relacionados con el clima.** Se espera que los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas sigan aumentando en el futuro, pero las repercusiones en los recursos hídricos variarán según las regiones, las estaciones y las escalas temporales. Si bien el modelamiento climático e hidrológico regional puede aportar información para la gestión de los recursos hídricos, las proyecciones vienen acompañadas de importantes incertidumbres. Las incertidumbres no sólo se refieren a las proyecciones de los futuros efectos del cambio climático en los recursos de agua dulce, sino también a las futuras condiciones socioeconómicas que determinan la dependencia del agua y la [vulnerabilidad](#) al cambio climático. Por lo tanto, las evaluaciones de riesgos deben integrar las proyecciones de los efectos regionales del cambio climático y los desarrollos socioeconómicos. Se han desarrollado varias herramientas y documentos de orientación para la evaluación de los riesgos y la vulnerabilidad climáticos, pero es necesario utilizarlos más ampliamente en la planificación de la gestión de los recursos hídricos (véase el recuadro 3). En entornos transfronterizos, esto se complica aún más si los países ribereños no comparten los datos pertinentes.

**Las medidas para aumentar la resiliencia a los efectos del cambio climático en la criósfera de las montañas tienen que abordar las incertidumbres restantes y tener en cuenta los riesgos climáticos residuales.** Si bien las evaluaciones de riesgos ayudan a tener más en consideración las incertidumbres relacionadas con las condiciones futuras, no pueden eliminarlas. Por lo tanto, la gestión de los recursos hídricos que dependen de la criósfera de las montañas debe adoptar un enfoque basado en el riesgo y adoptar soluciones robustas que funcionen bien en una amplia gama de escenarios climáticos (y no climáticos), y/o que sean lo suficientemente flexibles como para adaptarse fácilmente a las condiciones cambiantes. Estrategias robustas serían:

- **Soluciones de beneficios múltiples, o las llamadas soluciones sin arrepentimiento**, que proporcionan beneficios independientemente de los efectos negativos del cambio climático, como la gestión de la demanda de agua, o la conservación de los humedales para el almacenamiento de agua con co-beneficios para la biodiversidad de las montañas y los medios de vida. Los enfoques de adaptación basados en los ecosistemas han demostrado tener un gran potencial como soluciones resilientes que aportan múltiples beneficios.
- **Soluciones reversibles o flexibles** que pueden adaptarse a las condiciones cambiantes, con un costo relativamente bajo, por ejemplo, para disminuir los caudales después de los picos de agua. Los enfoques de gobernanza suelen ser más fácilmente adaptables que las infraestructuras duras, como la tarificación del agua para incentivar un uso más eficiente del agua en épocas de escasez.

### Recuadro 3 - Guías para la evaluación de riesgos



La herramienta [CEDRIG](#) (Climate, Environment and Disaster Risk Reduction Integration Guidance), desarrollada por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), ayuda a integrar sistemáticamente el clima, el medio ambiente y la reducción del riesgo de desastres en las estrategias, los programas y los proyectos de cooperación para el desarrollo. Considera los [riesgos](#) en la acción para el desarrollo, así como los posibles efectos negativos o positivos causados por las acciones para el desarrollo, entre ellos, el aumento de la vulnerabilidad y, por tanto, "un mayor daño".



Más recientemente, la UNESCO y sus socios diseñaron el enfoque del [Análisis de Decisiones Basadas en el Riesgo Climático \(CRIDA\)](#) para la planificación y gestión de los recursos hídricos en particular. Proporciona una guía para evaluar las incertidumbres futuras relacionadas con el cambio climático, la demografía, el medio ambiente o la economía, y para la toma de decisiones frente a los riesgos residuales.

### Más información

Matthews et al. 2019 "[Wellspring: Source Water Resilience and Climate Adaptation](#)", (véase en el Anexo 2 ejemplos de soluciones robustas y flexibles que proporcionan múltiples beneficios, y en la Tabla 1 ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los efectos de la disminución de los glaciares y las reservas de nieve).

Mishra et al. 2017 "[Building Mountain Resilience- Solutions from the Hindu Kush Himalaya](#)", (incluye enfoques para sostener los recursos naturales, cambiar los comportamientos y las prácticas, y mejorar la gobernanza y los servicios).

Nüsser et al. 2019 "[Socio-hydrology of Artificial glaciers in Ladakh, India: assessing adaptive strategies in a changing cryosphere](#)"

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2015 "[Making the Case for Ecosystem-Based Adaptation. The Global Mountain EbA Programme in Nepal, Peru and Uganda](#)."

## Necesidad de un cambio más transformador

**El aumento continuo de la temperatura cambiará fundamentalmente la criósfera de alta montaña y los ecosistemas montañosos. Se espera que esto provoque una profunda alteración del régimen hidrológico en las cuencas dependientes a medida que los glaciares desaparezcan de forma irreversible.** Además, dado que algunas zonas montañosas son más susceptibles al calentamiento que el promedio mundial, los efectos del cambio climático podrían ser, de hecho, mucho más graves de lo que se espera actualmente. Por ejemplo, el aumento de las temperaturas puede convertir los ecosistemas montañosos, incluidos los glaciares y los mantes de nieve, en humedales, suelos desnudos o pastizales, y las cuencas fluviales que actualmente se alimentan de glaciares y nieve pueden pasar a tener una hidrología basada en la lluvia. Los escenarios de cambio climático extremo (high-end scenarios en inglés) pueden ilustrar las consecuencias. Para adaptarse al cambio climático extremo, **es vital que los gestores del agua también tengan en cuenta los escenarios futuros inciertos, pero potencialmente de alto riesgo.**

**El cambio rápido e irreversible de la criósfera de las montañas probablemente hará que la adaptación gradual de la gestión de los recursos hídricos sea insuficiente. En su lugar, pueden ser necesarios cambios más sustanciales y sistémicos, lo que se conoce como adaptación transformacional.** Por ejemplo, cuando la reducción de la disponibilidad de agua en las zonas de montaña ya no pueda abordarse simplemente mediante la mejora del almacenamiento y el aumento de la eficiencia en el uso del agua, una vez que se haya alcanzado [el pico de agua](#) y los glaciares hayan desaparecido. A medida que los recursos hídricos son cada vez más escasos, los agricultores, por ejemplo, tendrán que cambiar sustancialmente sus sistemas de cultivo para utilizar el agua de forma más efectiva (no sólo más eficiente) para generar ingresos, como, por ejemplo, plantando cultivos muy resistentes a la sequía, cambiando los medios de vida por el pastoreo o el ecoturismo, cuando sea posible, o incluso desplazándose cuesta abajo en busca de mano de obra asalariada. **En la planificación de la adaptación, los responsables de la toma de decisiones deben anticipar el efecto radical del cambio climático, evaluar en qué momento se necesitan enfoques transformadores y prepararse para ello.**

**Sin embargo, sigue siendo necesario desarrollar y estudiar mejor las medidas de adaptación transformacional.** Todavía son escasos los estudios de casos y los ejemplos de buenas prácticas de adaptación transformacional, especialmente en las zonas de montaña. Las investigaciones actuales muestran que los principales retos para lograr una adaptación transformacional son superar las dependencias técnicas del camino y provocar un cambio institucional y social. Una forma de abordar estos retos es adoptar una secuencia coordinada de medidas de adaptación más bien incrementales, las denominadas vías de transformación, que acaben conduciendo a un cambio transformacional.

### Más información

Fedele et al. 2019 [Nature-based Transformative Adaptation: a practical handbook](#)

Carter et al. 2018 [Transforming Agriculture for Climate Resilience: A Framework for Systemic Change](#)

## Referencias

- [1] Zemp, M. et al., 2019: [Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016](#). *Nature*, 568(7752), 382–386 doi:10.1038/s41586-019-1071-0
- [2] Immerzeel, W. W. et al., 2019: [Importance and vulnerability of the world's water towers](#). *Nature*, 577 https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y
- [3] Hock, R., et al., 2019: High Mountain Areas. In: [IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate](#).
- [4] Huss, M. and R. Hock, 2018: [Global-scale hydrological response to future glacier mass loss](#). *Nat. Clim. Change*, 8(2), 135–140, doi:10.1038/s41558-017-0049-x
- [5] IPCC, 2019: Annex I: Glossary [Weyer, N.M. (ed.)]. In: [IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate](#).

El “**Trend Observatory on Water**” (Observatorio de Tendencias del Agua) de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) tiene como objetivo informar a la RésEAU, la Red del Agua de la COSUDE, y a los actores interesados sobre las tendencias emergentes relevantes y los enfoques innovadores para la cooperación para el desarrollo en el sector del agua. Iniciado por el Programa Global Agua de la COSUDE y dirigido por adelphi, analiza cómo las principales tendencias mundiales pueden afectar a los recursos hídricos y a las prácticas de gestión en el futuro. A través de diversos formatos de comunicación y de su página web <https://hazu.swiss/deza/trend-observatory-on-water>, pretende sensibilizar sobre las oportunidades que surgen para encontrar soluciones más sostenibles, pero también sobre los riesgos y desafíos que pueden acarrear.

### Contacto:

SDC - Swiss Agency for Development and Cooperation  
Global Programme Water  
Freiburgstrasse 130, 3003 Bern  
Phone: +41 (0)58 465 04 06  
Focal Point Water E-Mail: [daniel.maselli@eda.admin.ch](mailto:daniel.maselli@eda.admin.ch)