



Las Montañas y el Cambio Climático

Una Preocupación Mundial

**Serie sobre el Desarrollo Sostenible
de las Regiones de Montaña**

Serie sobre el Desarrollo Sostenible de
las Regiones de Montaña

Las Montañas y el Cambio Climático

Una Preocupación Mundial

2014

Esta publicación contó con el apoyo de la Cooperación Austríaca para el
Desarrollo y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material en este trabajo informativo no implican en absoluto la expresión de ninguna opinión por parte de los editores o los socios del proyecto sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades, o sobre la demarcación de sus fronteras o límites. La mención específica de empresas o productos de fabricantes, hayan sido o no patentados, no implica que cuentan con el aval o la recomendación por parte de las instituciones mencionadas, dándoles preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se hayan mencionado. Los puntos de vista expresados en este trabajo informativo son los de su(s) autor(es) y no necesariamente reflejan los puntos de vista o las políticas de las instituciones mencionadas.

ISBN 978-3-905835-39-7 (impreso)

© Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y Geographica Bernensia, 2014

Los editores y los socios de este proyecto exhortan el uso, reproducción y divulgación del material de este trabajo informativo. A menos que se indique lo contrario, este material se puede copiar, descargar e imprimir para efectos de estudio particular, investigación y enseñanza, o para ser utilizado en productos o servicios no comerciales, siempre y cuando se den los debidos créditos a las instituciones que se mencionan como fuente y titular de los derechos de autor, y no esté implicado de ninguna manera el aval de estas instituciones a los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes de derechos de traducción y adaptación, así como de reventa y otros derechos de uso comercial, deben dirigirse a info@cde.unibe.ch.

Editores: Thomas Kohler (CDE), André Wehrli (COSUDE), Matthias Jurek (Grid Arendal).

Autores de los estudios de caso y de los textos introductorios: grupo internacional de expertos (sus nombres pueden verse en la lista de autores)

Concepto: CDE, COSUDE, con el aporte de PNUMA

Diseño y diagramación: Simone Kummer (CDE)

Edición idiomática: Marlène Thibault, Anu Lannen (CDE)

Cartografía: Ulla Gaemperli Krauer (CDE), Alex Herrmann (Instituto de Geografía, Universidad de Berna)

Esta publicación en español es una traducción del inglés. Título original: Mountains and Climate Change: A Global Concern

Traducción al español: Cristina Jaramillo Lopera, Adriana López Henao, Luis Eduardo Yepes

Revisión de la versión en español: Clara Ariza

Cita bibliográfica:

Kohler T, Wehrli A, Jurek M, eds. 2014. *Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial*. Serie sobre el desarrollo sostenible de las regiones de montaña. Berna, Suiza, Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y Geographica Bernensia. 136 pp.

La versión electrónica puede descargarse de:

www.cde.unibe.ch

www.entwicklung.at

www.sdc.admin.ch

www.mountainpartnership.org

Fotografía de la portada: Monte Illimani, sobre La Paz, Bolivia (C. Devenish)

Impreso en Lima, Perú.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2014-14152

Tabla de contenido

Prólogo	5
1 El clima y las montañas	
El cambio climático y las montañas	8
El cambio climático en los Alpes europeos	14
Cambios observados y cambios futuros en los Andes tropicales	16
El cambio climático y el carbono negro en los Himalayas	18
El cambio climático en la región de los Cárpatos	20
2 El agua de las montañas	
El agua de las montañas y el cambio climático desde una perspectiva socioeconómica	26
Agua de los Andes para los desiertos costeros de Perú	32
Evaluación del balance de aguas en la Cuenca Superior del Indo	35
Impactos del calentamiento global sobre la escorrentía de montaña: mensajes clave del Informe del IPCC	38
Opciones de gestión del agua en los Alpes en el contexto del cambio climático	40
Traslado de una aldea completa como último recurso	44
El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares	47
3 Los glaciares de montaña	
Los glaciares de montaña: sobre hielo quebradizo	52
Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán	57
Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales	58
4 Amenazas en las montañas	
Cambio climático y amenazas en las montañas	62
Cambio climático y control de la erosión en Japón	68
Inundaciones monzónicas atípicas en la cordillera Transhimalaya en India	70
Reduciendo la vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos en la región Indo Himalaya	72
El elusivo pasado de Pokhara	74
5 Biodiversidad en las montañas	
La biodiversidad en las montañas: patrimonio natural amenazado	78
Irán: Hábitat de una flora única amenazada por el calentamiento global	82
Manejo de zonas de pastoreo resilientes al clima en las tierras altas de Etiopía	85
Bosques de montaña para conservar la biodiversidad y proteger contra las amenazas naturales	88

6 Seguridad alimentaria en las montañas

Montañas, cambio climático y seguridad alimentaria	92
Conservación de la agroforestería en el Monte Kilimanjaro	98
Adaptación al cambio climático en los Andes peruanos	100
Fomento del uso eficiente del agua en Asia Central	102
Seguridad alimentaria en el Hindu Kush Himalayas y la carga adicional del cambio climático	104

7 Economía de montaña

Economías de montaña, desarrollo sostenible y cambio climático	110
¿Alpacas o llamas? Gestión de la incertidumbre entre los ganaderos de los Altos Andes	118

Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial

Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial	124
Mensajes para la formulación de políticas	127

Referencias y lecturas adicionales	128
------------------------------------	-----

Autores	135
---------	-----

Editores	Contraportada interna
----------	-----------------------

Prólogo

Las regiones de montaña suministran agua dulce para la mitad de la población mundial. Esta agua es indispensable para el uso doméstico, la irrigación de las tierras bajas y la producción de energía hidroeléctrica. Las montañas son además centros de diversidad biológica, fuentes clave de materias primas e importantes destinos turísticos. Como proveedoras de bienes y servicios ecosistémicos vitales, las montañas son esenciales para un desarrollo global sostenible.

Al mismo tiempo, las montañas son altamente sensibles a las fuerzas del cambio global. Son especialmente vulnerables a los impactos del cambio climático. En las montañas se encuentran algunas de las señales más visibles del cambio climático, en particular el retroceso de los glaciares, tal como se destacó en el reciente informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Esto plantea algunas preguntas cruciales: ¿Cómo se verán afectados por el cambio climático los bienes y servicios esenciales que proveen las montañas? ¿Las montañas continuarán suministrando a la humanidad el mismo nivel de agua dulce? ¿Cuáles serán la magnitud y el impacto relativos del cambio climático en las montañas y en las tierras bajas adyacentes? ¿Qué debe hacerse, en la práctica y a nivel de política, para abordar estos asuntos?

Junto con muchos otros aliados, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) han respaldado una amplia gama de iniciativas para fortalecer la posición de las montañas en las agendas internacionales, regionales y nacionales. Algunos ejemplos notorios son la creación del Capítulo 13 sobre las regiones de montaña en la Agenda 21, adoptada en la Cumbre de la Tierra en Río 1992, el establecimiento de la Alianza para las Montañas luego de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo 2002, y los párrafos alusivos a las montañas en el documento final de Río+20. La discusión actual sobre la agenda post 2015 y sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ofrece otra valiosa oportunidad para crear conciencia sobre las montañas en su relación con el desarrollo sostenible.

Esta publicación, preparada con motivo de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 20) en Lima 2014, resalta el compromiso de COSUDE y PNUMA con el desarrollo sostenible en las regiones de montaña. El documento busca ofrecer una síntesis del conocimiento actual sobre las montañas y el cambio climático, enfatizando a la vez la importancia de estas regiones para el desarrollo global sostenible, así como los desafíos y posibles cambios que enfrentarán a raíz del cambio climático.

Esperamos que esta publicación contribuya a promover una comprensión integral del papel e importancia que tienen los bienes y servicios ecosistémicos de las montañas dentro del desarrollo global sostenible. Finalmente, es nuestro anhelo que este documento genere una acción práctica en respuesta al cambio climático y a los desafíos que plantea para las regiones de montaña en nuestro mundo rápidamente cambiante.



Manuel Sager
Embajador



Jan Dusik
Director y Representante
Regional de PNUMA



Manuel Sager
Director General de la Agencia
Suiza Para el Desarrollo
y la Cooperación
(COSUDE), Embajador



Jan Dusik
Director y Representante
Regional de PNUMA
Oficina Regional para Europa





El clima y las montañas



El cambio climático y las montañas

Las montañas del mundo son el hogar de aproximadamente 800 millones de personas. Sirven como torres de agua para miles de millones de ellas y proveen servicios ecosistémicos a todo el planeta. El cambio climático afectará a las regiones montañosas del mundo y puede poner en peligro los importantes servicios que brindan estas regiones. Esto podría incluir impactos en el abastecimiento de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica, la aptitud agrícola y los riesgos de amenazas naturales. El cambio climático puede intensificar fenómenos meteorológicos extremos tales como olas de calor, sequías y fuertes precipitaciones que podrían ocasionar inundaciones y deslizamientos de tierra en las montañas, e inundaciones de gran extensión en las tierras bajas circundantes.

Stefan Brönnimann
Marcos Andrade
Henry F. Diaz

Niesen, Suiza (A. Stickler)

Las regiones montañosas despliegan amplios gradientes climáticos en pequeñas escalas espaciales y albergan una diversidad de micro y macroclimas. Esto se debe a su extensión altitudinal, su topografía y sus efectos sobre el flujo atmosférico. Por ejemplo, las diferencias en la radiación solar entre las montañas y tierras adyacentes producen sistemas eólicos característicos. El flujo del viento sobre la topografía puede desencadenar convección y precipitación.

Climas de montaña

Las grandes cadenas de montañas actúan a menudo como barreras climáticas, con climas húmedos en su lado de barlovento y semidesiertos en su lado de sotavento. Por su extensión altitudinal, muchas regiones montañosas cruzan importantes fronteras ambientales tales como límites de la vegetación arbórea, líneas de nieve o la presencia de glaciares o permafrost. Es posible que los cambios inducidos por el clima en estos límites desencadenen procesos de retroalimentación (ver recuadro página 11) que afecten el clima local. Por ejemplo, una línea de nieve que se eleva y un permafrost que se descongela podrían incrementar el riesgo de amenazas naturales y acelerar las tendencias de calentamiento debido a una menor reflectancia. Los cambios en estos límites pueden tener consecuencias drásticas para los ecosistemas (por ejemplo, en relación con los hábitats de las especies) e influir sobre las amenazas naturales, el potencial económico y el uso de la tierra.

En una escala aún mayor, regiones de montaña tales como los Himalayas y la Meseta Tibetana (ver estudios de caso) juegan un papel determinante en las circulaciones monzónicas. Los efectos del cambio climático sobre las zonas montañosas podrían alterar el flujo monzónico e intensificar la precipitación monzónica, afectando las condiciones agrícolas para un inmenso porcentaje de la población mundial.

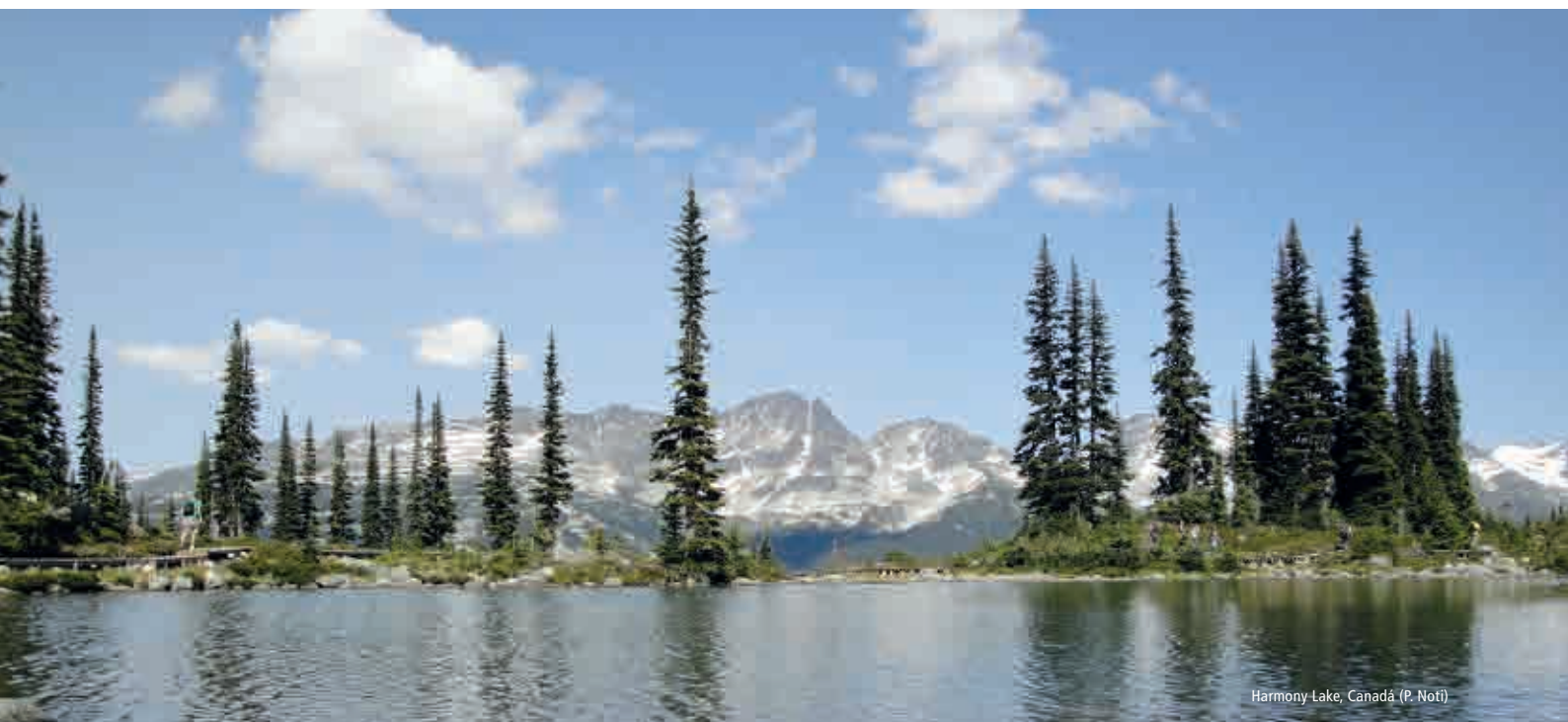
Cambios observados

Durante los últimos diez años el planeta se ha calentado en cerca de 1 °C [1]. No obstante, este calentamiento no ha sido espacialmente uniforme. Los continentes se han calentado más rápidamente que los océanos y las latitudes más altas se han calentado más rápidamente que las bajas. El Ártico se ha calentado particularmente rápido (Figura 1.1). Las tasas de aumento de la temperatura también han cambiado con el tiempo. En los últimos 50 años se ha presentado una tasa de calentamiento más alta que la de los últimos 100 años.

Las áreas montañosas en todo el mundo – es decir, las áreas por encima de 1 000 m – no han tenido un calentamiento mayor o menor que las tierras más bajas durante los últimos 35 años. Sin embargo, la estructura vertical del calentamiento atmosférico depende de la latitud (como se muestra en la Figura 1.2 para el período que comienza en 1979). En el Ártico, el calentamiento reciente ha sido mucho más fuerte cerca del suelo. Por un lado, esto se debe a los procesos de retroalimentación a nivel de la superficie, tales como la “retroalimentación hielo-albedo” (ver recuadro página 11), un proceso de retroalimentación positiva asociada comúnmente con el Ártico, que también aplica a las regiones montañosas cubiertas de nieve. Por otro lado, se debe a que la convección es poco frecuente en el Ártico, por lo que el calentamiento de la superficie terrestre inducido por los gases de efecto invernadero tiene poco efecto sobre alturas más elevadas de la atmósfera en esta región. En los trópicos, en contraste, el calentamiento reciente ha sido mucho mayor en las zonas altas. Esto se debe a la evaporación adicional cerca del suelo. Por otra parte, la convección tropical transporta la humedad adicional hasta la tropósfera superior, donde durante la condensación se libera calor. Este tipo de amplificación de las tendencias de calentamiento en las zonas altas podría en el futuro afectar cada vez más a las regiones de montaña e impactar los recursos hídricos. El tema de si los picos montañosos tropicales, tales como los de los Andes en Sudamérica, podrían o no experimentar un calentamiento particularmente magnificado en un mundo más caliente y más húmedo, requiere análisis más profundos. Los climas de montaña muestran a menudo patrones de tendencias espacialmente complejos dentro de una determinada región (ver estudio de caso).

Mensajes sobre políticas

- Las regiones montañosas se han calentado considerablemente durante los últimos 100 años, a una tasa comparable con la de las zonas bajas.
- Las montañas intersectan importantes fronteras ambientales tales como los límites de vegetación arbórea o las líneas de nieve, cuyas altitudes han aumentado en el siglo pasado y continuarán elevándose en el futuro.



Harmony Lake, Canadá (P. Noti)

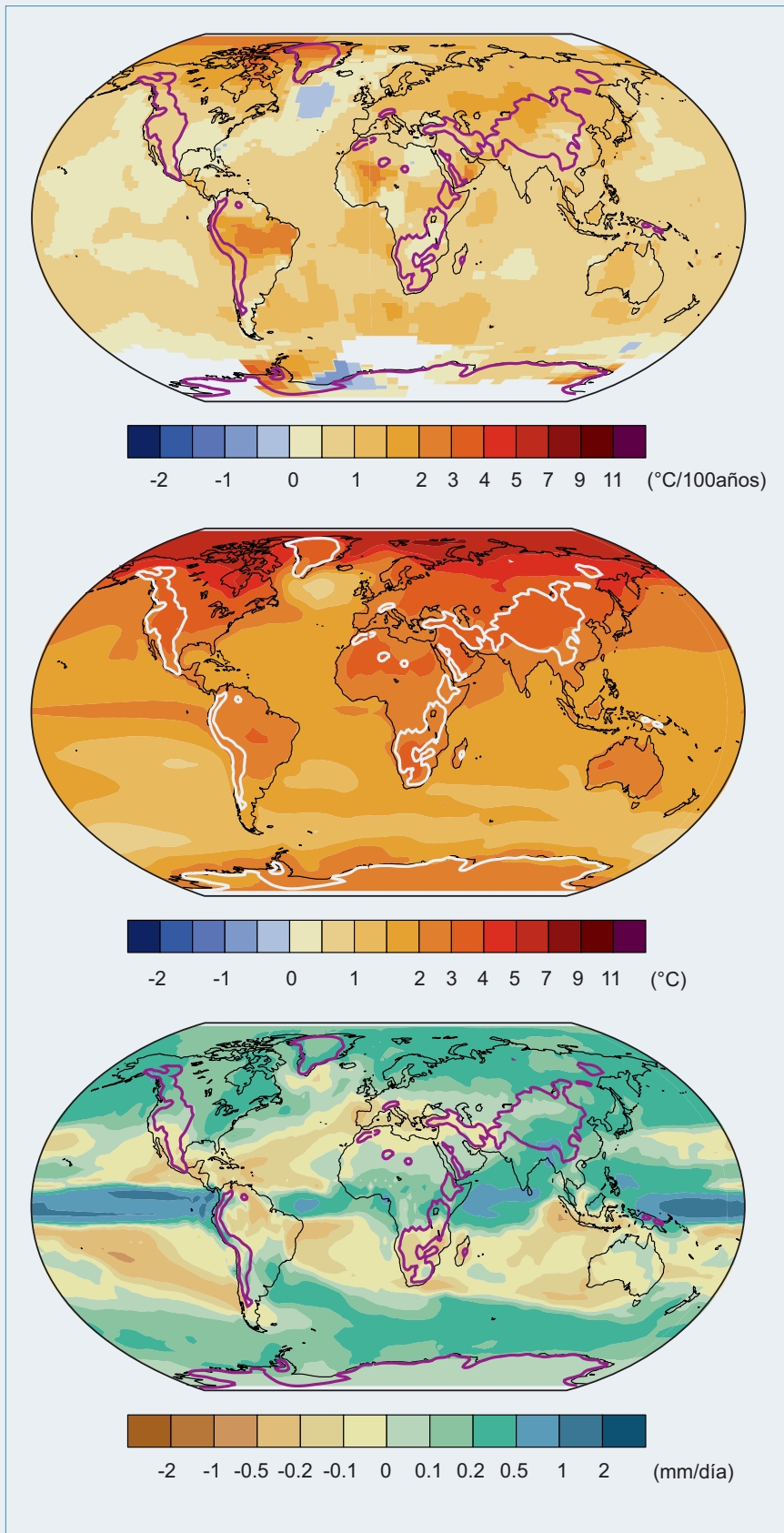


Figura 1.1. Tendencia lineal en la temperatura media anual superficial (arriba) de 1900 a 2013 (Fuente de la información: NASA/GISS, [2]). Cambios modelados en temperatura (en la mitad) y precipitación (abajo) de 1985 a 2005 y de 2081 a 2100 teniendo como base un escenario de emisiones entre moderadas y altas (RCP6.0, CMIP5 Atlas subconjunto del explorador climático de KNMI; ver [3]). Las líneas moradas y blancas indican una topografía por encima de 1 000 m

Recuadro: Retroalimentación y comportamiento no lineal del sistema climático

El Sistema climático – que comprende la atmósfera, el océano, la tierra, las masas de hielo y la biósfera – es altamente complejo. No siempre reacciona de forma lineal ante las perturbaciones impuestas. Las “retroalimentaciones” pueden bien sea estabilizar el sistema o amplificar la respuesta. El sistema puede mostrar “puntos de inflexión” y los cambios pueden ser “irreversibles” o comportarse según su trayectoria (“histéresis”). A continuación se definen estos términos, siguiendo de cerca las definiciones del IPCC (2013):

Retroalimentación

Interacción en la cual una perturbación en una cantidad de clima ocasiona un cambio en una segunda cantidad, generando un cambio adicional en la primera. Si ese cambio debilita la perturbación inicial, se dice que la retroalimentación es negativa; si fortalece la perturbación inicial, la retroalimentación es positiva. La retroalimentación hielo-albedo en el mar es un ejemplo de retroalimentación positiva: una disminución del hielo marino reduce la reflectancia de la radiación de onda corta, lo que conduce a un aumento en la energía absorbida por el océano, lo cual a su vez causa una disminución adicional en el hielo marino. El mismo tipo de mecanismo de retroalimentación afecta la línea de nieve en las regiones montañosas.

Punto de inflexión

Un punto de inflexión es un umbral crítico más allá del cual un clima global o regional pasa de una condición estable a otra condición estable (de forma reversible o irreversible). Por ejemplo, si la salinidad del océano en un área determinada del Atlántico Norte cae por debajo de cierto umbral (actualmente desconocido), la circulación meridional de retorno del Atlántico (circulación termohalina) puede cesar. Se han planteado varios puntos de inflexión que podrían afectar el sistema climático a gran escala. Estos tienen que ver, por ejemplo, con el derretimiento del hielo marino en el Ártico, los escudos de hielo, los glaciares tibetanos, y la deforestación en el Amazonas. No obstante, nuestro conocimiento en este campo es aún muy limitado.

Irreversibilidad

Un cambio en el sistema climático se considera irreversible si la recuperación es considerablemente más lenta que la escala de tiempo del cambio. Además, a menudo se considera la irreversibilidad en términos de escalas de tiempo políticamente relevantes, o con base en horizontes de planeación factibles de varias décadas. Viéndolo de esta manera, el derretimiento de los glaciares alpinos se considera irreversible.

Histéresis

Un sistema que muestra una especie de memoria, como por ejemplo el sistema climático, puede mostrar una dependencia de la trayectoria en su reacción a las perturbaciones, denominada histéresis. Por ejemplo, la fuerza de la circulación meridional de retorno en el Atlántico depende de la entrada de agua dulce en el Atlántico Norte, pero con la misma entrada puede mostrar dos estados cuasi-estables – activo o ausente – y en cuál estado se encuentre el sistema dependerá entonces del estado anterior del sistema.

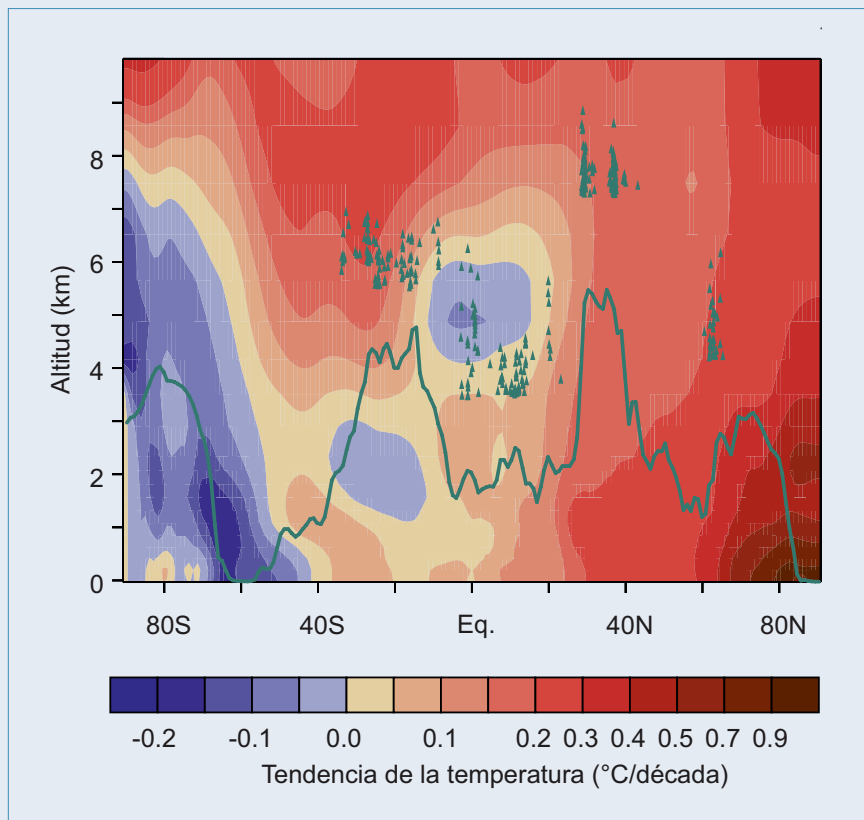


Figura 1.2. Tendencia lineal de la temperatura media anual zonal entre 1979 y 2013. La línea verde muestra la altura de grandes cordilleras (por ejemplo los Andes, aprox. 4 000 m cerca de 20° S, la Meseta Tibetana, aprox. 5 000 m cerca de 30° N); las cumbres aisladas se muestran como triángulos verdes. Fuente de la información: reanálisis climáticos de ERA-Interim [4]

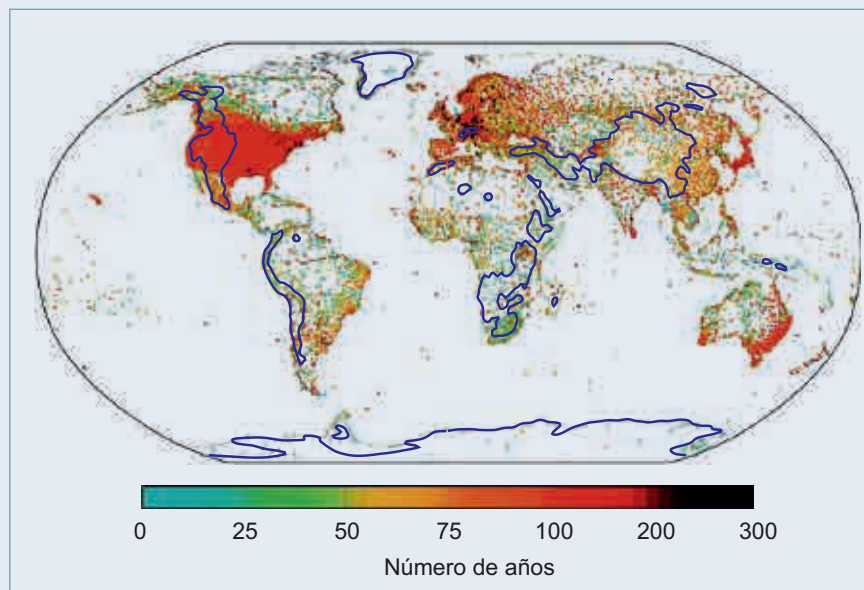


Figura 1.3. Ubicación y duración de registro de 32 000 estaciones meteorológicas en el banco de datos de International Surface Temperature Initiative (ISTI, www.surface temperatures.org/). Las líneas azules indican una topografía por encima de 1 000 m



Ze dri Seewjine, Suiza (P. Noti)

La cuantificación de los cambios en los patrones de precipitación es todavía más deficiente. Sólo en ciertas regiones específicas han surgido tendencias claras. A menudo las regiones de montaña parecen formar un límite entre las tendencias de precipitación positivas y negativas [1].

Aunque se considera importante tener en cuenta los complejos procesos climáticos de las montañas para entender las tendencias climáticas más amplias, en muchas regiones montañosas el monitoreo de parámetros climáticos tales como la temperatura y la precipitación sigue siendo insuficiente (Figura 1.3). Por otra parte, la mayoría de las estaciones meteorológicas en las regiones montañosas se encuentran ubicadas en valles, lo que significa que la información de cumbres y laderas no está adecuadamente representada. Al mismo tiempo, es difícil para los proveedores de servicios climáticos reducir a una escala local los resultados de modelos climáticos globales y generar productos de información climática aptos para usuarios en las regiones de montaña. Sin embargo, existe la necesidad de este tipo de información local porque las regiones de montaña albergan diversas actividades económicas tales como la agricultura, la minería y el turismo, así como infraestructura vulnerable ante amenazas naturales (por ejemplo carreteras y centrales hidroeléctricas).

Cambios futuros

Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC [3], para el período 2085–2100 el planeta se habrá calentado entre 1.5 °C y 4.5 °C, dependiendo del escenario de emisiones que prevalezca (Figura 1.1). De manera similar al siglo anterior, se prevé que los futuros aumentos de temperatura serán más fuertes en la tierra que en los océanos, en las latitudes altas que en los trópicos y, en los trópicos, serán más fuertes en las alturas que cerca de la tierra [3]. Esta última predicción de un mayor calentamiento en las zonas altas, respaldada por modelos globales [5], exige que se profundice en el estudio de las regiones de montaña a nivel individual. No obstante, es evidente que límites ambientales importantes tales como las líneas de nieve y las líneas de congelación se elevarán cada vez más en el futuro. En el caso de ciertas regiones montañosas, como por ejemplo los Andes Tropicales (ver estudio de caso), esto podría acelerar el derretimiento de los glaciares y reducir el abastecimiento de agua en el largo plazo. Está proyectado que la precipitación aumentará al interior de los trópicos y en latitudes medias a altas, pero se prevé que disminuirá en las zonas áridas subtropicales. Sin embargo, también se predicen diferencias estacionales. Es probable que en casi todas partes las olas de calor se tornen más frecuentes y duren más. Otros eventos climáticos extremos, tales como las precipitaciones fuertes, podrían incrementar en intensidad, aunque no necesariamente en frecuencia.

El cambio climático en los Alpes europeos

Los Alpes europeos albergan diversos ecosistemas debido a su compleja orografía y a su ubicación entre el clima templado europeo y el clima mediterráneo. Al mismo tiempo, los Alpes están densamente poblados y se utilizan intensivamente para el turismo, transporte, generación de energía hidroeléctrica, actividades agrícolas y propósitos industriales. Los famosos glaciares de los Alpes no son únicamente un activo turístico sino también un recurso hídrico y un factor clave de la identidad de los países alpinos.

Stefan Brönnimann
Marcos Andrade
Henry F. Díaz



Cielo sobre Grindelwald, Suiza (S. Kummer)

Los indicadores climáticos están bien monitoreados en los Alpes europeos y muchas series de datos se remontan hasta el siglo XIX. Las temperaturas han aumentado alrededor de 0.12 a 0.20 °C por década durante los últimos 100 años, con un incremento particularmente notable desde mediados de los 80 [1].

Este reciente calentamiento alpino ocurrió a una tasa de aproximadamente tres veces el promedio mundial. La tendencia del calentamiento en esta región muestra poca dependencia de la altitud. De hecho, se encontró que las temperaturas en altitudes por encima de los 4 000 m aumentaron a la misma tasa que las de las tierras bajas [2]. Además de las temperaturas medias, las temperaturas extremas también han cambiado. En particular, ha aumentado la frecuencia de días cálidos y ha disminuido la frecuencia de noches frías [3].

Las precipitaciones en la región no tuvieron grandes cambios durante el último siglo y el principal factor que afectó la capa de nieve fue la temperatura. En altitudes alrededor de los 700 m la nieve de invierno es particularmente sensible a los cambios de temperatura [4]. Los estudios muestran que la capa de nieve alpina ha disminuido desde mediados de los años 80, con una alta variabilidad de un año a otro, y que la estación de nieves se ha hecho más corta [5].





Embalse Mattmarksee y glaciar Allalin, Suiza (P. Noti)

Las temperaturas de verano son una variable importante que afecta el balance de masa de los glaciares. El nivel de cero grados en verano se ha elevado cerca de 75 m por década desde 1959 [6]. Los glaciares alpinos han venido retrocediendo desde la década de 1980. Se estima que la tasa actual de pérdida de masa, para una muestra de ocho glaciares en los Alpes es de 2 a 3 por ciento por año [7]. Los cambios de temperatura también afectan la vegetación. Ya en Suiza se han observado cambios en la distribución de la vegetación, tales como un incremento de las especies de tierras bajas en elevaciones medias y un desplazamiento hacia arriba en la presencia de ciertas especies [8].

Los estudios sobre futuros escenarios del cambio climático en Suiza apuntan a una aceleración del calentamiento durante todo el año y a disminuciones en las precipitaciones de verano [9], y lo mismo sugieren los análisis realizados para Austria [10]. Se prevé que los impactos del cambio climático en las regiones alpinas no van a disminuir y que pueden incluso agudizarse. En efecto, los glaciares de Austria [11] y Suiza continuarán retrocediendo en el siglo XXI. Una reciente Evaluación del Impacto del Cambio Climático [12] para Suiza pronosticó una pérdida casi completa del hielo glacial para el fin del siglo, bajo un escenario de emisiones medio a alto (A1B). Se prevé que los regímenes de escorrentía pasen de ser controlados por la nieve a controlados por las lluvias. Se pronostica que la diversidad y biomasa de las especies arbóreas en los bosques de alta elevación va a aumentar, mientras que los bosques en valles internos secos de los Alpes podrían deteriorarse, incluso bajo un calentamiento moderado [12].

Cambios observados y cambios futuros en los Andes tropicales

El retroceso de los glaciares en la región ha sido uno de los cambios más notables en los Andes tropicales durante los últimos 50 años [1, 2], siendo mayor el retroceso de los glaciares más pequeños que de los más grandes. Las precipitaciones en la región no mostraron ninguna tendencia significativa durante el siglo pasado.

Stefan Brönnimann
Marcos Andrade
Henry F. Diaz



Vista desde el Monte Chacaltaya, Bolivia (M. Andrade)

El compendio de las observaciones realizadas a lo largo de sesenta años (1950-2010) desde tres estaciones de superficie en el Altiplano Boliviano indica largos periodos de relativa sequedad o humedad alternados [3]; no se encontraron tendencias claras en la precipitación anual ni cambios en la duración de la estación de lluvias. Con base en un período más corto (1960-2009) y en un mayor número de observaciones de superficie, algunos estudios [4] sugieren que los períodos de humedad pueden estar asociados con mayores temperaturas en los océanos frente a la Costa del Pacífico de Sudamérica – es decir, con fases positivas de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP)¹ – mientras que los períodos secos pueden asociarse con temperaturas oceánicas más frías (es decir, con fases negativas de la ODP). CLIMANDES y DECADE, dos proyectos financiados por COSUDE, buscan mejorar los servicios climáticos y fortalecer la educación universitaria y las capacidades para la investigación en climatología en Perú y Bolivia.

A pesar de la complejidad de los procesos que determinan el balance de masa de los glaciares andinos [5], hay consenso en que los aumentos de temperatura están conduciendo a un retroceso glaciar en el largo plazo. Sin embargo, las observaciones de superficie no siempre muestran una clara tendencia positiva. La escasez de datos de superficie y asuntos relacionados con la calidad de la información, ha hecho que sea difícil discernir de forma fiable las tendencias en los Andes tropicales. Al mismo tiempo, se han realizado esfuerzos para generar para la región Andina un conjunto sólido de datos provenientes de observaciones de superficie.



Estas observaciones señalan un incremento en la temperatura promedio durante los últimos 60 años. Más aún, observaciones de las temperaturas atmosféricas a lo largo de la Cordillera Americana desde Alaska hasta Tierra del Fuego indican que en los lugares de gran altitud las temperaturas han aumentado en tasas generalmente superiores a las encontradas cerca del nivel del mar [6–8]. Estos indicios de calentamiento son consistentes con otros tipos de registros realizados a lo largo de toda la Cordillera Americana [9–13]. Por ejemplo, un estudio que utilizó imágenes de satélite de la Montaña Sajama (Bolivia, 6 542 m) en los Andes, sugiere que la vegetación se ha desplazado a zonas más altas en los últimos 30 años [14]. Un estudio reciente de los Andes peruanos, realizado mediante fotografías aéreas e imágenes de satélite, muestra un patrón similar [15]. Considerando la relación que se sugiere entre la ODP y las temperaturas en los Andes tropicales, los efectos regionales del calentamiento global podrían agravarse en un futuro próximo, cuando la ODP se desplace de una fase negativa a una positiva.

Mirando más allá en el futuro, las proyecciones (Figura 1.4) sugieren que el nivel de congelación, el cual es un umbral importante para el mantenimiento de los glaciares de montaña, podría elevarse varios cientos de metros para finales de este siglo. Se prevé que este fenómeno tendrá un impacto más fuerte en las regiones tropicales que en las regiones con latitudes medias y altas. La magnitud de los cambios proyectados depende en gran medida del nivel de forzamiento radiativo, de tal manera que los cambios pronosticados bajo un escenario de emisiones fuertes (RCP8.5) son aproximadamente un 50 por ciento mayores que bajo un escenario de emisiones más débiles (RCP4.5) (Figura 1.4). La marcada diferencia entre los escenarios posibles resalta la necesidad de implementar políticas eficaces para retrasar el aumento de los gases de efecto invernadero antropogénicos en la atmósfera. Aún si no se presentan cambios significativos en las precipitaciones, un clima más cálido probablemente conducirá a un mayor estrés hídrico en la región andina, con las subsiguientes consecuencias en la disponibilidad de agua para los seres humanos y los ecosistemas.

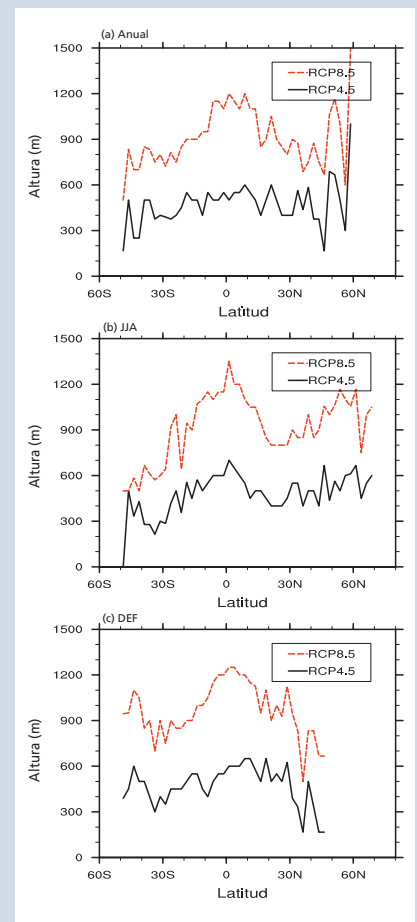


Figura 1.4. La elevación de los niveles de congelación a lo largo de la Cordillera Americana en este siglo (de 1981-2000 a 2081-2100) proyectada sobre una base anual (a); para el verano boreal (junio, julio, agosto) (b); y para el invierno boreal (diciembre, enero, febrero) (c); con escenarios de emisiones bajas RCP4.5 (negro) y altas RCP8.5 (rojo). Por ejemplo, bajo un escenario de emisiones altas (rojo), el nivel de congelación aumentaría en 1 200 m cerca del ecuador (latitud 0) para los tres períodos de tiempo en cuestión. Fuente: [8]



Huayna Potosí, Bolivia (M. Andrade)

¹La ODP es un cambio de la temperatura superficial del mar en el Pacífico a nivel de toda la cuenca, mejor descrita como un patrón de variabilidad del clima en el Pacífico, similar a un fenómeno del Niño de larga duración.

El cambio climático y el carbono negro en los Himalayas

Entre todas las regiones de montaña del mundo la de los Himalayas juega un papel de especial importancia. Cerca de 1 500 millones de personas viven en las cuencas río abajo de los Himalayas. El derretimiento de la nieve y de los glaciares podría afectar seriamente los ecosistemas y el bienestar de los habitantes de la región.

Stefan Brönnimann
Marcos Andrade
Henry F. Diaz



Nube marrón atmosférica sobre la llanura del Ganges (NASA / MODIS)

Durante el siglo pasado, las temperaturas atmosféricas en la región del Himalaya Tibetano se incrementaron a un ritmo similar al del promedio mundial. Sin embargo, desde 1979 se ha identificado un aumento de temperatura muy rápido en la tropósfera media durante la estación previa al monzón. Este aumento en la temperatura abarca una región que se extiende desde los Himalayas a través de Pakistán, Afganistán e Irán, hasta llegar a la Península Arábiga, registrándose un considerable calentamiento sobre las montañas del Hindú Kush [1, 2]. Este fuerte aumento se ha atribuido en parte a la presencia de carbono o polvo negro en la tropósfera media. La nube de aerosoles que se forma cada año sobre el Valle Indo y el Océano Índico del Norte se llama "Nube Marrón Asiática", y es ocasionada principalmente por la contaminación inducida por el hombre a través de la industria, el tráfico vehicular y la combustión de madera para usos domésticos o agrícolas, entre otros. Este fenómeno afecta gravemente la salud humana en la llanura Indo Gangética. Los aerosoles no sólo aumentan las temperaturas de la tropósfera media a través de la absorción y disminuyen las temperaturas de la superficie al atenuar el sol, sino que también afectan la generación y dinámica de las nubes, y se ha planteado que afectan la circulación atmosférica. Podrían influir en los huracanes sobre el Océano





Contaminación atmosférica sobre Katmandú, Nepal (T. Kohler)

Indico o jugar un papel en el inicio de los monzones; sin embargo, la naturaleza de estos impactos todavía no se ha entendido por completo.

La deposición de aerosoles disminuye el albedo de los glaciares en la Meseta Tíbetana central, lo que implica que una menor radiación solar se refleja hacia la atmósfera. Por consiguiente, los aerosoles podrían estar contribuyendo al deshielo de los glaciares. Sin embargo, observaciones insuficientes y la falta de una red de monitoreo en esta región crucial, han obstaculizado nuestra comprensión de las dinámicas en juego.

No se ha encontrado una tendencia a largo plazo en la media estacional de las lluvias monzónicas. Para el futuro, se prevé que se debilitará la circulación del monzón asiático y que aumentará su contenido de humedad. Como resultado, se pronostican eventos de lluvias monzónicas más intensos.

El cambio climático en la región de los Cárpatos

Los Montes Cárpatos juegan un importante papel en las condiciones climáticas generales de Europa y son el hábitat de ecosistemas únicos que ya están siendo afectados por el cambio climático. Existen oportunidades para dirigir la región de los Cárpatos por una senda sostenible, blindada contra el clima, sobre la base de un enfoque estratégico para la adaptación al cambio climático en los distintos sectores y niveles de gobierno.

Sandor Szalai
Matthias Jurek
Harald Egerer



Alto Tatra, Eslovaquia (©CarpathCC)

Los Cárpatos forman un arco que se extiende aproximadamente 1 500 km a través de Europa Central y Oriental, convirtiéndolos en el segundo sistema montañoso más largo de Europa. Ellos afectan en gran medida el clima circundante, dando lugar a patrones climáticos muy diferentes en la región de los Cárpatos (Figura 1.5) en comparación con las zonas vecinas. A pesar de que la cordillera es bastante larga, no es particularmente elevada – su pico más alto alcanza sólo los 2 655 m. El clima de la región de los Cárpatos está determinado por los efectos combinados del Océano Atlántico, el Mar Mediterráneo y el gran continente asiático.

Hay diversos cambios climáticos que son evidentes en la región. Las temperaturas de verano presentan el mayor cambio en las últimas décadas, dado que han aumentado hasta en 2.4 °C en ciertas zonas durante los últimos 50 años. No se ha presentado un calentamiento significativo de las temperaturas de invierno, de hecho en ciertos lugares se ha detectado un enfriamiento (no significativo). Los cambios en la precipitación muestran un patrón tipo mosaico. En general, las precipitaciones han aumentado en los meses de verano e invierno y han disminuido en la primavera. Estos resultados no concuerdan del todo con modelos climáticos más amplios.





Ni el ressecamiento que se puede observar claramente en la parte occidental de la región ni otros efectos topográficos han sido reproducidos en los resultados de los modelos [1].

De acuerdo con reportes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se puede prever un recrudescimiento de las precipitaciones. De hecho, aunque los totales de las precipitaciones no parecen haber cambiado de manera significativa, es evidente que se han intensificado. Hay varios índices que se pueden utilizar para mostrar esta intensificación, pero todos apuntan a una dirección parecida. Como se ve en la Figura 1.5, los cambios en el número de días con precipitaciones superiores a los 20 mm son casi uniformemente positivos [1]. Sin embargo, el hecho de que aumente la intensidad de las precipitaciones al tiempo que disminuye el total de días con precipitaciones ha afectado negativamente el balance de las aguas superficiales, lo que resulta en una disminución de la disponibilidad de agua y en un aumento de la erosión. Para hacer frente a la situación se requieren medidas de adaptación relacionadas con la gestión del agua.

Estos cambios están afectando la naturaleza, la economía y la salud en la región [2]. Los Cárpatos abarcan el ecosistema forestal contiguo más grande de Europa Oriental, el cual sirve de hábitat y refugio a muchas especies en peligro de extinción. De hecho, la cordillera es un punto caliente de biodiversidad que incluye las más extensas áreas que quedan de bosques vírgenes y antiguos fuera de Rusia [2]. Al ser un puente entre los bosques del norte y del suroccidente de Europa, los Montes Cárpatos sirven de corredor para la dispersión de plantas y animales en toda Europa [3, 4]. El área cubierta por ciertas especies de árboles ya ha sufrido un cambio y hay ecosistemas protegidos vulnerables que están en peligro. Los bosques están expuestos a muchos desastres causados en parte por el cambio climático. Ya se han identificado cientos de medidas de adaptación al cambio climático [3], de las cuales las siguientes parecen ser las más promisorias:

- Mantenimiento de los bosques aluviales en los humedales
- Apoyo e implementación de la agricultura de alto valor natural en los pastizales
- Sistemas de compensación para la protección de los bosques

Figura 1.5. Cambio climático en la región de los Cárpatos: Cambios en el número de días con más de 20 mm de precipitación, entre 1960 y 2010 [1]. La línea de contorno (marrón) de 500 m sirve como un límite aproximado de la zona de montaña

Lecciones aprendidas

- Las mediciones sobre el terreno y los resultados de los modelos deben sintetizarse con el fin de establecer medidas de adaptación adecuadas y reducir la incertidumbre metodológica.
- Se necesita más inversión para identificar medidas de adaptación capaces de proteger los ecosistemas únicos que se encuentran en la región de los Cárpatos.

Implementación de la Agenda Estratégica sobre la Adaptación al Cambio Climático en la Región de los Cárpatos

En respuesta a una iniciativa propuesta por el Parlamento Europeo y financiada por la Unión Europea (UE), un equipo de expertos internacionales se ha dedicado a estudiar el cambio climático y las medidas de adaptación en los Cárpatos. Los resultados obtenidos a partir de tres proyectos: "Acción preparatoria sobre el clima en la región de los Cárpatos" (CARPATCLIM), "El cambio climático en la región de los Cárpatos" (CarpathCC), y "Evaluación integral de la vulnerabilidad al cambio climático y medidas de adaptación basadas en los ecosistemas en los Cárpatos" (CARPIVIA), han dado origen a un portafolio diversificado de medidas de adaptación sostenibles. A nivel intergubernamental –con la secretaría en Viena, Austria, como ente facilitador– la Agenda Estratégica sobre la Adaptación al Cambio Climático en la Región de los Cárpatos fue adoptada por los ministros en la Cuarta Sesión de la Conferencia de las Partes sobre el Convenio de los Cárpatos (COP4) en 2014. La agenda incluye recomendaciones sobre políticas, cambio institucional y medidas de adaptación basadas en los ecosistemas. Hace un llamado a las partes del acuerdo, a las autoridades locales y regionales, y a otros actores involucrados en la gestión y desarrollo de la región de los Cárpatos para que formulen políticas y diseñen estrategias para adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos adversos.

Hacia un enfoque transnacional de la adaptación al cambio climático

Articular diferentes políticas de conservación de la naturaleza, manejo de cuencas y agricultura sostenible podría contribuir de manera significativa al fortalecimiento de la región de los Cárpatos y su resiliencia al cambio climático. Para la adaptación al cambio climático y para una resiliencia cada vez mayor a nivel regional, es crucial una cooperación transnacional como la que facilita el Convenio de los Cárpatos. En efecto, los impactos pronosticados del cambio climático, tales como cambios estacionales en la temperatura y las precipitaciones, tendrán lugar en extensas zonas geográficas, afectando a varios países a la vez. Los desafíos que esto implica reclaman que se aborde el tema desde la perspectiva de la "eco-región", y no desde cada estado-nación. Al mismo tiempo, muchos países a nivel individual carecen de las herramientas y capacidades para adaptarse al cambio climático, tales como la habilidad de designar y mapear futuros hábitats de refugio para los humedales y pastizales. El respaldo provisto por iniciativas conjuntas que cuentan con financiamiento externo ayuda a llenar los vacíos y a construir capacidad colaborativa. También es crucial la creación de mecanismos financieros flexibles, equitativos, que permitan la distribución de las cargas y los beneficios. En suma, es esencial la construcción de nuevas alianzas entre los gobiernos, la sociedad civil, las instituciones educativas y de investigación, el sector privado y las organizaciones internacionales.

En el contexto de su proyecto interregional "Acción para el cambio climático en los países en vías de desarrollo con frágiles ecosistemas de montaña desde una perspectiva subregional" (respaldado financieramente por el Gobierno de Austria), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) busca compartir con otras regiones montañosas el conocimiento obtenido en los Alpes europeos y los Cárpatos.



Participantes en el Cuarto Encuentro de la Conferencia de las Partes sobre el Convenio de los Cárpatos, Mikulov, 2014. (© Lenka Burcinova)



Paisaje típico en las montañas de los Cárpatos (© CarpathCC)





2

El agua de las montañas

El agua de las montañas y el cambio climático desde una perspectiva socioeconómica

Las montañas son torres de agua, pero al mismo tiempo brindan los medios de subsistencia para hasta dos mil millones de personas. Ambas funciones se encuentran amenazadas por el cambio climático. Es indispensable contar con estructuras socioeconómicas sostenibles para manejar los impactos del cambio climático. Por lo tanto, no basta con evaluar los efectos del cambio climático en el agua de las montañas desde una perspectiva simplemente hidrológica: es necesario considerar también los factores socioeconómicos.

Rolf Weingartner

Agua de las montañas (HP Liniger)

A menudo se describe a las montañas como torres de agua, porque constituyen una fuente de agua de gran valor para las tierras bajas adyacentes [1]. En efecto, el promedio de escorrentía en las montañas es dos veces más alto que en las tierras bajas, excepto en los trópicos húmedos. Sin embargo, esta observación apenas si toca la superficie de un tema que es mucho más profundo. Asumir que las tasas de precipitación más altas y las tasas de evapotranspiración más bajas hacen que las montañas generen más escorrentía que las tierras bajas es correcto (Figura 2.1), pero una evaluación hidrológica integral requiere que se consideren otros factores adicionales que pueden resumirse en: disponibilidad de agua y uso del agua (Figura 2.2). Los cambios en el clima y en las estructuras socioeconómicas alterarán estos dos parámetros. Su evolución puede ser muy diferente entre una región y otra, dado que las regiones de montaña son altamente diversas en términos de su desarrollo ambiental, cultural, societal y económico. No obstante, existen puntos en común, y esos puntos en común son el foco de las siguientes consideraciones.

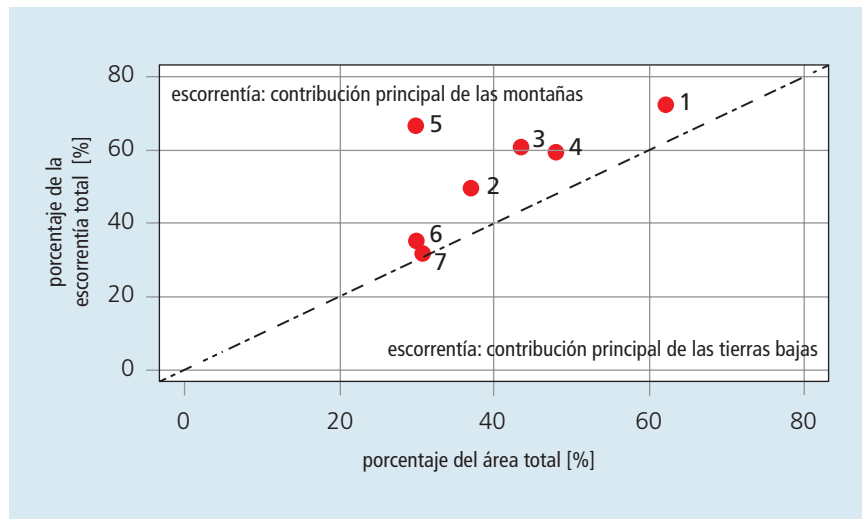
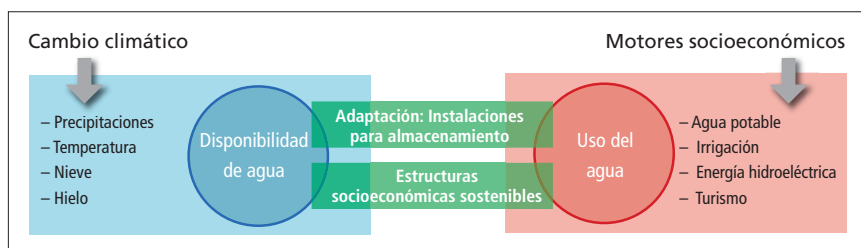


Figura 2.1. A nivel mundial, con excepción de los trópicos húmedos, el promedio de escorrentía de las montañas es superior al de las zonas bajas, tal como se muestra en esta comparación entre su porcentaje de área y su porcentaje de escorrentía en las diferentes zonas climáticas. 1: polares, frías; 2: frescas; 3: templadas; 4: semiáridas; 5: áridas; 6: subtropicales; 7: tropicales húmedas. Fuente de los datos: [2]

Disponibilidad del agua en transición

Más de la mitad del agua potable que se bebe en el mundo proviene de los ríos y de los embalses alimentados por ellos. El porcentaje de escorrentía que las regiones de montaña aportan a estos ríos es sustancial, ya que oscila entre el 40 y el 95 por ciento, dependiendo de la región [2]. La escorrentía proveniente de las cuencas montañosas es controlada principalmente por la precipitación y la temperatura atmosférica (Figura 2.2). Mientras que los cambios en las cantidades de precipitación afectan tanto los volúmenes de escorrentía anual como de escorrentía estacional, la temperatura influye sobre el comportamiento de la escorrentía estacional controlando las nevadas y el deshielo. Un aumento de temperatura usualmente conduce a más escorrentía en invierno, a un fundido de la nieve más temprano en primavera y, como resultado, a una menor escorrentía en verano (Figura 2.3). Es muy probable que estos cambios se conviertan en una tendencia general, ya que los modelos climáticos coinciden ampliamente en que las temperaturas aumentarán en todo el mundo. En este aspecto, los “únicos” puntos inciertos que quedan son el grado y el momento en que tendrá lugar el aumento



Mensajes sobre políticas

- Teniendo en cuenta que la dirección del cambio en los sistemas hidrológicos es ampliamente conocida, una sólida planeación de las medidas de adaptación a nivel regional, nacional y transfronterizo es crucial. Ya se han identificado medidas de adaptación útiles, tales como la implementación de centrales para almacenamiento. La planeación tiene que comenzar ahora, y debe estar fundamentada en evidencia suficiente y sólida; pero en muchas regiones de montaña aún se carece de información.
- Las medidas de adaptación son parte de una estrategia general en la que también está incluida la mitigación; la mitigación continúa siendo mucho más efectiva que la adaptación. La creación de estructuras socioeconómicas sostenibles también debe ser parte de la gran estrategia general: sin estas estructuras, la mayoría de las medidas van a fracasar.

Figura 2.2. Interacción del agua de las montañas con la disponibilidad de agua y el uso del agua



Central hidroeléctrica, Binnental, Suiza (R. Weingartner)

“Un total de 65 países utilizan más del 75 por ciento del agua disponible para la producción de alimentos, incluyendo a China, Egipto e India, todos los cuales dependen en gran medida de las aguas de montaña” [6].

de temperatura pronosticado. En contraste, los efectos del cambio climático sobre las precipitaciones continúan siendo altamente inciertos en términos tanto de la intensidad del cambio como de su dirección [3]. La figura 2.4 muestra cómo podrían cambiar las precipitaciones anuales en las regiones de montaña del mundo. El gráfico sugiere que las precipitaciones anuales van a aumentar en Asia, el norte de los Andes y el norte de las Montañas Rocosas, mientras que van a disminuir en la cuenca del Mediterráneo, el suroeste de Estados Unidos, Centroamérica y África del Sur. La mayoría de los modelos climáticos asumen que la distribución estacional de las precipitaciones no va a cambiar mucho, pero pronostican una tendencia hacia temporadas secas más secas y temporadas de lluvia con más lluvias. En conclusión, mientras que el fundido de la nieve y de los glaciares en el pasado ocurría principalmente para compensar la sequedad del verano, ahora debemos prepararnos para una fuerte reducción de la escorrentía en esta época. Este es uno de los mayores desafíos futuros, ya que la demanda de agua es más alta en el verano.

El pico del agua en los glaciares y la importancia primordial de la nieve

Desde una perspectiva que va más allá de las regiones, la nieve es una fuente de agua muchísimo más importante que los glaciares, debido a la gran extensión que cubre. En Suiza, por ejemplo, el fundido de la nieve aporta el 40 por ciento de la escorrentía total, mientras que el del hielo aporta sólo el 2 por ciento. Pero en cuencas más pequeñas y con más glaciares, una reducción en la masa glacial ocasionada por la temperatura es de todas maneras significativa a nivel hidrológico. Trae como consecuencia una fase temporal de mayor escorrentía de verano, un fenómeno que se conoce como “pico del agua”, cuya extensión y duración dependen principalmente del tamaño de un glaciar y del grado de glaciación en una cuenca. Un glaciar en permanente retroceso finalmente se reducirá hasta un tamaño crítico que no le permitirá entregar la misma cantidad de agua que entregaba antes de iniciar su retroceso. Esto marca el fin de la fase de pico del agua con una escorrentía por encima del promedio. Las cuencas glaciadas de los trópicos y varias cuencas en los Alpes europeos ya han alcanzado o sobrepasado el pico del agua, lo que significa que los glaciares en cuestión no serán capaces de cumplir su importante papel hidrológico en el futuro próximo [4].

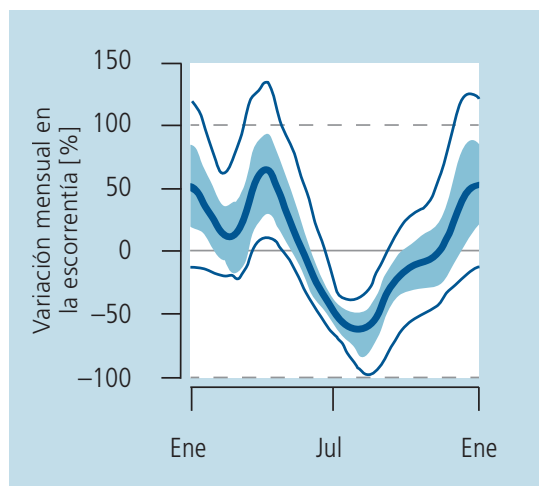
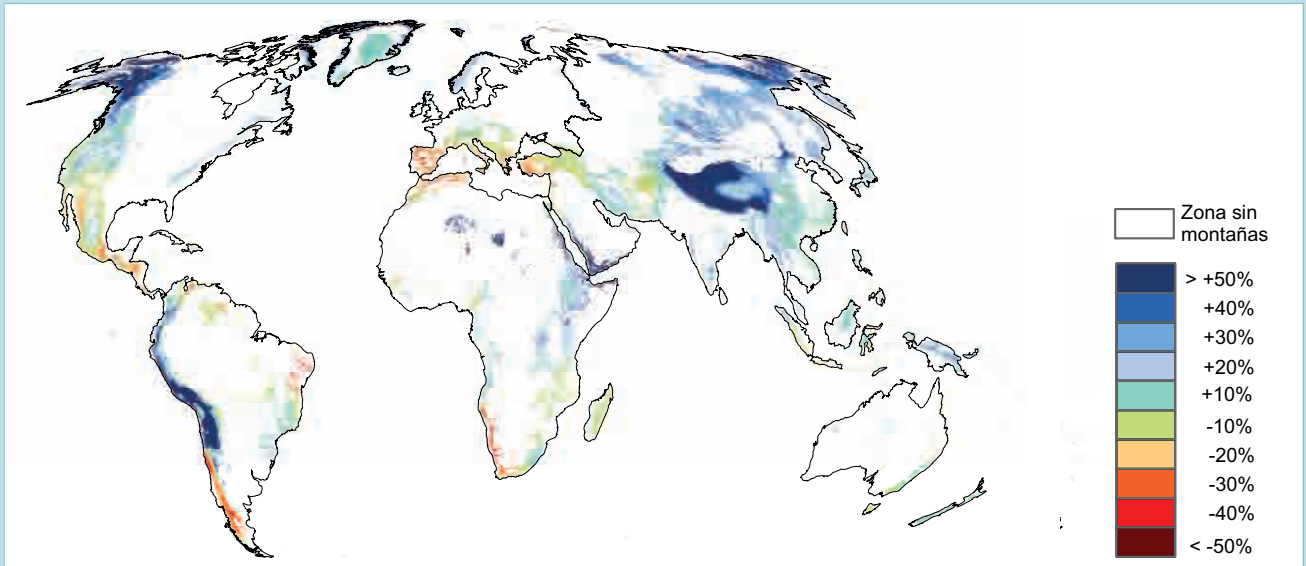


Figura 2.3. Cambio promedio relativo mensual (en porcentaje) de la escorrentía de una cuenca alpina en Suiza entre hoy y el año 2085, con base en un escenario de emisiones A1B (en la mitad). Se proyecta que la escorrentía aumentará en invierno y disminuirá en verano. La curva en negrilla indica la media sobre la incertidumbre junto con la desviación estándar (sombreada) y la mínima/máxima (líneas delgadas) Fuente: [3]



Demanda de instalaciones para almacenamiento artificial

Podemos afirmar con certeza que el cambio climático traerá consigo cambios en la nieve y el hielo, y por lo tanto en las condiciones de la escorrentía estacional. Al mismo tiempo, la presión socioeconómica sobre las aguas de montaña está aumentando constantemente, en especial en el verano: cada vez se necesita más agua para las labores agrícolas, la producción de energía, la producción industrial, el turismo, y para beber. Estas tendencias opuestas se pueden conciliar a través de centrales de almacenamiento artificial multipropósito. Ellas pueden almacenar la abundante escorrentía del invierno y de esta manera compensar la menor escorrentía del verano, a la vez que satisfacen las diversas necesidades hídricas de los usuarios. Además de construir nuevas instalaciones para el almacenamiento, las centrales hidroeléctricas unipropósito que ya existen se pueden transformar

Figura 2.4. Porcentaje de cambio en las precipitaciones anuales entre 1950-2000 y 2070, con base en el escenario de emisiones altas RCP8.5. Fuente de datos sobre las precipitaciones: IPCC (2014). Definición de las regiones de montaña según Kapos (modificada). Cortesía de Andreas Heinemann y Lukas Wuersch (Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente e Instituto de Geografía, Universidad de Berna)



Lago en los Andes (W. Buytaert)

en centrales que sirvan a múltiples propósitos, tales como energía hidroeléctrica, irrigación, suministro de agua potable y control de inundaciones, entre otros. En efecto, desde la perspectiva actual, esta es una de las más importantes medidas de adaptación que se deben implementar. Debería complementarse además con esquemas de gestión de aguas que regulen la demanda y establezcan prioridades para épocas de emergencia.

La importancia de tener en cuenta el componente socioeconómico

Se estima que en las montañas y en las tierras bajas que las circundan habitan más de dos mil millones de personas [5], y esta cifra seguirá creciendo. Un estudio de caso en los Andes (Río Santo, Cordillera Blanca) [4], revela las consecuencias de esta presión socioeconómica que es típica de muchas regiones de montaña: la demanda de agua en esta región se ha incrementado drásticamente y continuará aumentando. Esto es consecuencia del crecimiento poblacional, sumado a los nuevos sistemas de irrigación que fueron instalados en respuesta a las condiciones favorables de escorrentía durante la fase de pico del agua. Pero una vez se acabe la fase de pico del agua, es muy probable que se presenten restricciones en el suministro (Figura 2.5). Situaciones como esta a menudo se ven agravadas considerablemente por una infraestructura hídrica insuficiente y sin buen mantenimiento, el aumento en la demanda de agua per cápita y el desarrollo urbanístico.

Un estudio de caso en los Alpes suizos (Crans-Montana, en el Cantón de Valais), mostró que la sostenibilidad del suministro de agua de una región depende de múltiples factores: la manifestación de la gobernanza (¿la infraestructura hídrica y la gestión del agua pueden cubrir las necesidades de la población?), la integridad ecológica (¿hay un uso excesivo de los recursos naturales?), la justicia (¿todos tienen igual acceso al agua?) y la capacidad de adaptación (¿la sociedad está en capacidad de reaccionar al cambio?). La mayoría de las regiones de montaña son regiones fronterizas abandonadas a su suerte, donde la pobreza es generalizada y donde una gran mayoría de la población depende de la agricultura de subsistencia; ellas no logran cumplir con estos criterios de sostenibilidad. Por eso es que un enfoque aislado sobre el problema del cambio climático no es suficiente. La verdadera clave para gestionar los efectos del cambio climático es garantizar estructuras socioeconómicas sostenibles.

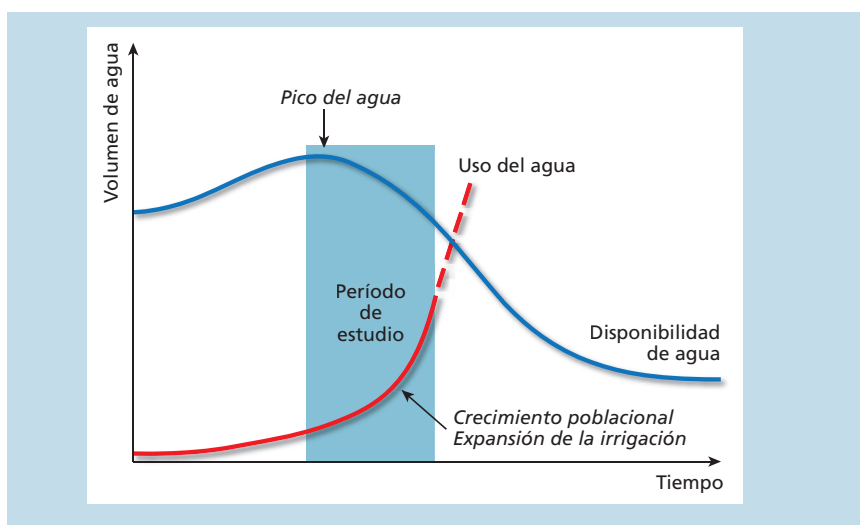


Figura 2.5: Disponibilidad y uso del agua en Río Santo, Cordillera Blanca (los Andes). Con base en [4]



Río Mekong, China (HP. Liniger)

Agua de los Andes para los desiertos costeros de Perú

Bert De Bièvre
Luis Acosta

Los recursos hídricos de los Andes varían ampliamente según la temporada y el lugar. Esto es más notable en la zona de los Andes peruanos que se encuentra sobre el Pacífico, donde la humedad amazónica sólo alcanza la parte más alta de las cuencas, mientras que la parte costera no recibe prácticamente ninguna lluvia. El agua que escurre desde los Andes hasta el Pacífico representa sólo el 1.8 por ciento de los recursos hídricos de Perú [1]. Pero es vital para la floreciente industria agroexportadora que depende de la irrigación, y abastece de agua para uso doméstico al 60 por ciento de la población de Perú que está concentrada en ciudades desérticas como Lima.



La capacidad de regulación de agua del ecosistema de páramo se encuentra amenazada por el cambio climático. (CONDESAN)

El río Quiroz, en el norte de Perú, tiene su origen en los pastizales de páramo a una altitud de 4 000 m. En los trópicos, esta no es una altitud suficiente para una cubierta glaciar. Pero la humedad amazónica y la capacidad de regulación hídrica de los suelos orgánicos del páramo hacen que el río sea una excelente fuente de agua durante todo el año para la irrigación de los mangos, limones e incluso del arroz en el desierto alrededor de la ciudad de Piura. Gracias a su industria de agro-exportación, Piura es una de las ciudades de más rápido crecimiento en Perú.

El río Chillón, en Perú central, es uno de los tres ríos que abastecen de agua a Lima, la capital del país, y a sus nueve millones de habitantes. Las precipitaciones en la cuenca del río juegan un papel importante sólo en altitudes superiores a los 2 000 m (Figura 2.6). El uso de la tierra que predomina en la parte superior de la cuenca es el pastoreo, al igual que en la mayor parte de las tierras altas de Perú central. La comunidad de Huamantanga tiene en estas tierras altas una antigua infraestructura para almacenar agua y regular el descenso de los manantiales que suministran el agua para la irrigación de los campos alrededor de la aldea. El sistema consta de una compleja combinación de canales que llevan el exceso de agua de la temporada de lluvias hacia zanjas y estanques de infiltración, desde donde se pone a disposición en el lugar que corresponda durante la temporada seca. Hoy en día, la mayor parte del sistema está abandonado.



No sólo los glaciares están siendo empujados hacia arriba por el cambio climático

Los ecosistemas andinos son extremadamente diversos, pero todos ellos dependen de un rango de altitud o nicho vertical. Al igual que el ya bien descrito retroceso de los glaciares, donde los límites inferiores de los glaciares se mueven hacia altitudes más elevadas, los límites de otros biomas también se mueven hacia la cima de las montañas. Los páramos y glaciares juegan un papel importante en la generación y regulación de la escorrentía. Gran parte de la zona que actualmente cubren yace cerca de sus límites altitudinales inferiores, y por lo tanto son propensos a las altas pérdidas relativas debido al calentamiento: para 2039, la cubierta glaciada se reducirá a menos de la mitad de lo que era en 2010, y los páramos se reducirán en una tercera parte. En comparación, los ecosistemas de puna cubren menos área cerca de su límite altitudinal inferior y por lo tanto son menos afectados por el calentamiento (Figura 2.7).

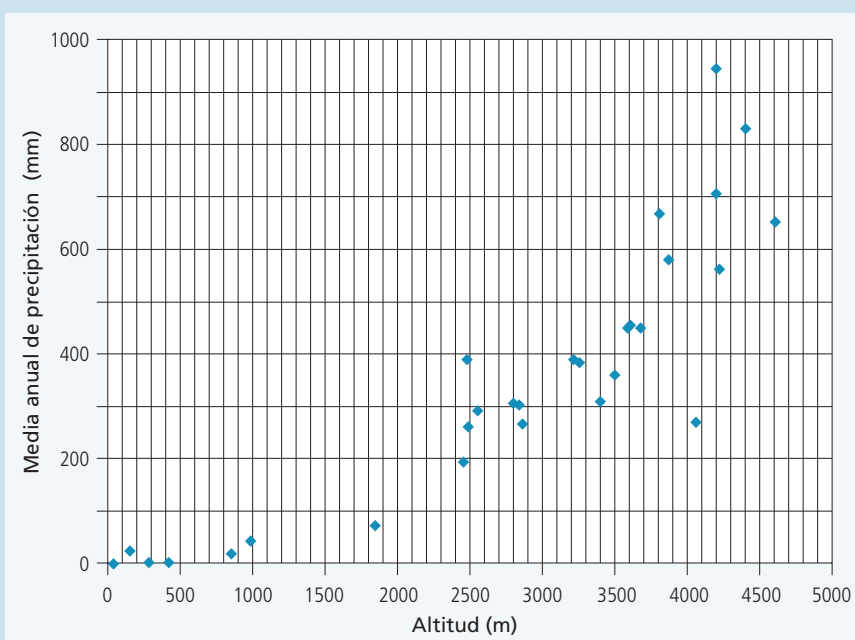


Figura 2.6. Media anual de precipitación por altitud en las cuencas del Pacífico en Perú central Fuente: [1]

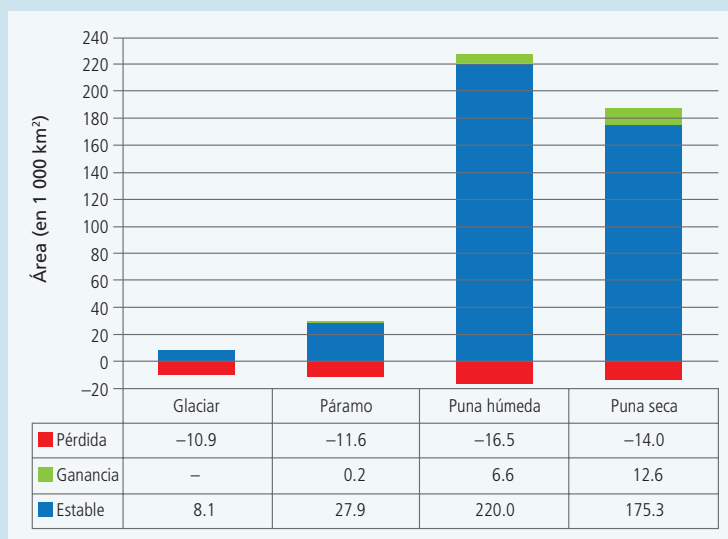


Figura 2.7. Pérdida y ganancia de área (en 1 000 km²) de los glaciares y los ecosistemas por encima de la línea arbórea en los Andes tropicales para 2010-2039, bajo un escenario de cambio climático de emisiones medias Fuente: [4].

La forma exacta como podría cambiar el clima en estas áreas es en gran medida incierta. Pero la conservación de los páramos de Piura, así como la rehabilitación de los sistemas de infiltración precoloniales de Huamantanga, son ejemplos de inversiones útiles en la adaptación al cambio climático que benefician tanto a las comunidades de las tierras altas como a los usuarios del agua en las tierras bajas.

Estos proyectos podrían ser financiados por quienes utilizan el agua en las tierras bajas, a través de mecanismos de recompensas por los servicios ecosistémicos. El gobierno de Perú tiene ahora como objetivo explícito establecer tales mecanismos, después de que se aprobó una ley sobre su fomento en junio de 2014.

En ambos casos, los esfuerzos para implementar medidas de adaptación están impulsados por una creciente demanda de agua y por la perspectiva de posibles impactos del cambio climático en el futuro. La irrigación se está expandiendo a través de tierras desérticas ampliamente disponibles, y la urbanización está creando una demanda de agua altamente localizada. La demanda de agua por parte de la ciudad de Lima se ha duplicado durante los últimos 20 años y continuará aumentando. Un desarrollo así afectará el suministro de agua en esta cuenca de manera más severa que el cambio climático [2].

La información climática y los datos de monitoreo para altitudes más elevadas son normalmente escasos, lo cual supone un vacío de conocimiento que dificulta seriamente la investigación sobre las tendencias del cambio climático en las montañas. Muchas iniciativas de adaptación al cambio climático están respondiendo mediante esfuerzos significativos en sitios de elevada altitud y de monitoreo de glaciares. Pero hay otro vacío de monitoreo que también necesita atención: la mayoría de las medidas de adaptación, tales como la reforestación o repoblación forestal y las diferentes técnicas de conservación del agua, no han sido evaluadas por sus beneficios hidrológicos. Tanto en los páramos de Piura como en la cuenca del Chillón, la Iniciativa para el Monitoreo Hidrológico de los Ecosistemas Andinos (iMHEA) está participando activamente en el monitoreo combinado de microcuencas, para así identificar los impactos hidrológicos de los cambios en el uso de la tierra. La iniciativa, establecida en 2009 [3], está trabajando actualmente en 20 cuencas de los Andes tropicales, desde Venezuela hasta Bolivia. Si bien los datos de iMHEA tienen el potencial para permitir el estudio de los efectos del cambio climático en el largo plazo, el objetivo primordial de esta iniciativa es aumentar la eficacia de las medidas de adaptación al cambio climático en el corto plazo.

Lecciones aprendidas

- Las incertidumbres con respecto a las proyecciones climáticas y sus consecuencias hidrológicas en los Andes son enormes. Pero se puede decir con certeza que los esfuerzos de adaptación deben centrarse en aumentar la capacidad de regulación (o amortiguación) del suministro de agua, por ejemplo mediante el almacenamiento natural y artificial, y al mismo tiempo manteniendo bajo control el uso del agua.
- Se requiere con urgencia un monitoreo focalizado de los esfuerzos de adaptación al cambio climático, con el fin de mejorar la eficiencia de las inversiones en medidas tales como la reforestación y la restauración de las antiguas prácticas de manejo del suelo y del agua.

Evaluación del balance de aguas en la Cuenca Superior del Indo

La Cuenca Superior del Indo es la principal proveedora de agua de una de las redes de irrigación más grandes del mundo. Es clave para la producción de energía y para satisfacer la demanda de agua en las tierras bajas circundantes. Juntos, las lluvias monzónicas y el fundido de la cubierta de nieve estacional y de los depósitos de hielo a largo plazo, sirven para asegurar el sistema local de recursos de tierras altas y tierras bajas. Sin embargo, todavía no se conoce a ciencia cierta la participación exacta del agua de lluvia en comparación con el agua de la fusión de la nieve, en los ciclos de agua de la región.

Uwe Boerst
Matthias Winiger



Riego extensivo en valles áridos con el fundido de la nieve del glaciar, bajo el Monte Rakaposhi (7 788 m), Pakistán (U. Boerst)

El agua que fluye de la Cuenca Superior del Indo, incluyendo las altas cordilleras de la región Hindu Kush-Karakoram-Himalaya occidental (HKH), es de vital importancia para aproximadamente 215 millones de personas que viven en las tierras bajas. No obstante, el conocimiento del ciclo del agua a altitudes elevadas continúa siendo débil. Se requieren con urgencia análisis interdisciplinarios, incluyendo estudios de campo, sensores remotos y modelos adecuados, para entender mejor la situación y la dinámica de este sistema de tierras altas y tierras bajas y su diversidad de características regionales (Figura 2.8). Las pocas observaciones hidrometeorológicas de largo plazo disponibles, en su mayoría de los valles, no proporcionan información suficientemente confiable sobre la dinámicas del sistema y sobre los procesos que ocurren a mayores altitudes.



Hay estudios recientes que proporcionan información más precisa sobre los gradientes verticales de precipitación, los cuales varían desde condiciones desérticas de menos de 100 mm anuales de precipitación en los valles, hasta más de 2 500 mm a altitudes de 5 000 m [1, 2]. Los glaciares que cubren hasta el 50 por ciento de la superficie en cuencas situadas por encima de los 2.500 m, así como las nevadas estacionales, juegan papeles importantes en el ciclo del agua (Figura 2.9). El agua que ha sido almacenada como cubierta de nieve estacional y hielo a largo plazo es liberada gradualmente durante los meses calurosos del verano, lo cual satisface la alta demanda de agua para el riego a nivel local. Debido a que los registros de las altas elevaciones para esta región son aleatorios o no existen en absoluto, los análisis hidrometeorológicos han tenido que apoyarse principalmente en modelos, que han generado valores de balance de agua y de precipitación bastante divergentes, especialmente para las subcuencas individuales (Tabla 2.1). Además, el cambio climático

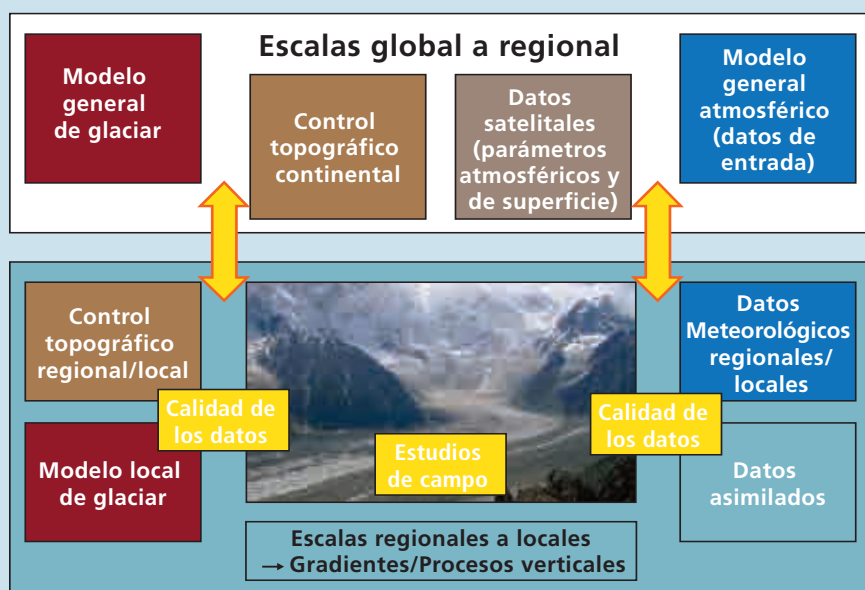
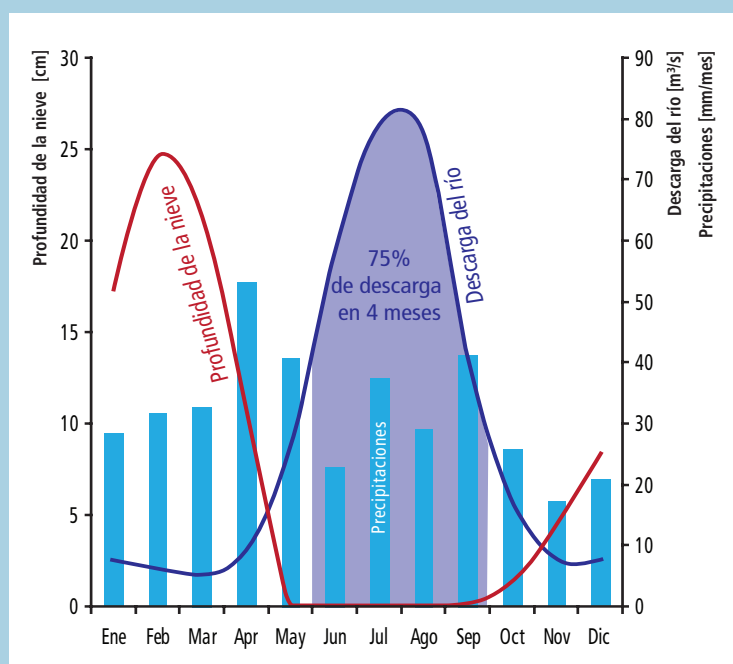


Figura 2.8. Para lograr una comprensión global a nivel de sistema se requieren enfoques combinados: generación de modelos y obtención de datos a diferentes escalas, incluyendo estudios de campo detallados y verificación (M. Winiger)



Estudio científico	Precipitación anual aprox. [mm]
Pak. Met. Dpt. 1985	440
Weiers, S. 1995	790
PGCC 2010	350
Reanálisis de datos 2009 (Tropósfera media)	235
Pak. Met. Dpt. 2010	367
Immerzeel, W. et al. 2012	530
WorldClim 2013	379

Tabla 2.1. Comparación de los totales de lluvia del área en la cordillera del Karakoram Fuente: [2, 4, 5]

Figura 2.9. Promedio de descarga del Río Batura, con un marcado máximo de verano. Este es un buen ejemplo de una gran cuenca en las montañas del Karakoram; cubre 680 km² y se extiende de 2 500 a 7 800 m (M. Winiger; U. Boerst)



Estación meteorológica automática sobre una morrena lateral del glaciar Batura (3 280 m) con recolección de datos cada hora, Pakistán (U. Boerst)

puede alterar aún más estos valores en el futuro. Mientras que el HKH occidental podría experimentar un aumento de las nevadas en las próximas décadas, en el HKH oriental podría suceder lo contrario.

En contraste con las tendencias mundiales de retroceso de los glaciares, las pruebas de campo apoyadas por datos de sensores remotos señalan como estables, e incluso positivos, los balances de masa entre un número de glaciares ubicados en el noroccidente de Karakoram [3]. Esto se ha descrito como la “anomalía Karakoram” [1]: se están produciendo aumentos significativos en el balance de masa a altitudes por encima de los 5 000 m, muy probablemente por un aumento de la precipitación ocasionado por perturbaciones del occidente. Esto compensa el retroceso de los glaciares al final, dando lugar a un balance de masa general estable o incluso positivo. Para las lenguas más bajas, esta llamada anomalía puede producir “oleadas” con cumbres glaciares que avanzan rápidamente. En otros lugares, es evidente la pérdida pronunciada de volumen en las partes bajas de los glaciares y el retroceso de los terminales. Esto último da lugar a problemas difíciles en la gestión de la irrigación, afectando a los agricultores locales que tienen que drenar agua del deshielo de las superficies glaciares; esto puede incluso obligar a los habitantes a abandonar ciertas áreas.

Las excepcionales dimensiones verticales y la vasta variedad de territorio de la Cordillera del Karakoram, incluyendo diferentes tipos de glaciares (por ejemplo, libres de escombros, cubiertos de escombros, alimentados por avalanchas), demandan un monitoreo sólido y de largo plazo. La necesidad de contar con datos y modelos del sistema que sean confiables se acentúa aún más por la constante variabilidad de las condiciones ambientales de la región, lo cual incluye lechos fluviales inestables, inundaciones, deslizamientos de tierra y avalanchas. De hecho, se requiere un enfoque investigativo interdisciplinario coordinado para mejorar nuestro conocimiento de la situación y la dinámica de los procesos de balance de aguas en la cuenca y en toda la región..

Lecciones aprendidas

- La complejidad e importancia de una sólida gestión del agua en la Cuenca Superior del Indo exigen un enfoque coordinado de colección de datos y generación de modelos del sistema.
- Es preciso implementar o fortalecer esfuerzos interdisciplinarios para establecer en la región una red hidrometeorológica más sólida, que incluya la observación de la cubierta de nieve y la dinámica de los glaciares a altitudes mayores, además de medidores de la escorrentía. Para garantizar la comparabilidad y la consistencia, es necesario desarrollar una regulación obligatoria para la instalación y operación de estaciones de monitoreo, principalmente en altitudes elevadas.

Impactos del calentamiento global sobre la escorrentía de montaña: mensajes clave del Informe del IPCC

El calentamiento global está afectando a la nieve y al hielo (es decir, la criósfera de montaña), alterando los patrones de las escorrentías estacionales. Los ciclos hidrológicos pasarán gradualmente de ser dominados por la nieve y el hielo a ser determinados por la lluvia. Estos son dos de los mensajes clave del Reporte del IPCC para 2013 en relación con las aguas de montaña [1, 2].

Rolf Weingartner
Martina Kauzlaric



Madrugada de otoño en el lago de Thun, Suiza (R. Weingartner)

Los principales determinantes climáticos de la escorrentía son las precipitaciones y la temperatura, además de la radiación (neta) y, en los ambientes montañosos, la criósfera. Podría esperarse que los incrementos observados en el contenido de humedad de la atmósfera de la Tierra ocasionen cambios en los patrones de precipitación, llevando a la intensificación de lluvias fuertes sobre las regiones terrestres. Se pronostica que aumentarán las precipitaciones alrededor de cadenas montañosas en África Oriental, Nueva Zelanda y en latitudes más altas del hemisferio norte, mientras que los Andes y las montañas de Asia Occidental y África Occidental se volverán más secos. Se prevé que los mayores cambios en las precipitaciones sobre el norte de Eurasia y América del Norte tendrán lugar durante el invierno. No obstante, las precipitaciones promedio y las extremas están sujetas a grandes incertidumbres debido a las amplias discrepancias entre los resultados de los modelos de simulación.

Es muy posible que las temperaturas atmosféricas sean cada vez más altas. La incertidumbre existente se debe principalmente a los escenarios de emisión divergentes. Como consecuencia de la relevancia cada vez menor de la criósfera, la radiación neta en las zonas montañosas va a cambiar: específicamente, habrá más energía disponible para calor latente (evapotranspiración) y calor sensible. Los cambios en la temperatura y las precipitaciones se reflejan en la criósfera, la cual está compuesta de nieve, glaciares y permafrost. El momento crítico se da cuando las temperaturas atmosféricas se acercan al punto de congelación; es aquí cuando los cambios en la temperatura atmosférica tienen el mayor efecto sobre los tiempos de la acumula-

“Los cambios en el ciclo del agua a nivel mundial como respuesta al calentamiento global durante el siglo XXI no serán uniformes. El contraste en las precipitaciones entre las regiones secas y las húmedas y entre las estaciones lluviosas y las secas va a aumentar”.

IPCC, 2013 [1]



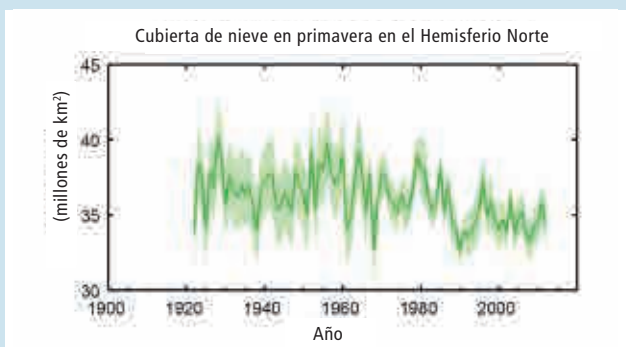


Vista del Blüemlisalp (3 660 m) desde Kandersteg, Suiza (R. Weingartner)

ción y el fundido de la nieve, y también sobre el número de nevadas. En general, un clima más cálido significa que las nevadas ocurren más tarde en el otoño o invierno. El resultado es un período más corto de cubierta de nieve; por ejemplo ya se ha observado una reducción significativa en la extensión de la cubierta de nieve en el hemisferio norte durante el período de 1967 a 2012 (Figura 2.10). Además, las simulaciones indican que probablemente la cubierta de nieve de marzo a abril disminuirá entre un 10 y un 30 por ciento, en promedio, antes de finalizar este siglo.

La escorrentía integra dentro de una cuenca los cambios inducidos por el clima. En términos de los ríos de montaña, se prevé una redistribución estacional de la escorrentía, es decir, que cambiarán los regímenes fluviales; sin embargo, los volúmenes totales de escorrentía anual podrían variar o no, dependiendo de los niveles anuales de precipitación. Puede esperarse una mayor variabilidad en el flujo de los ríos, a medida que el efecto amortiguador del almacenamiento de la nieve y el hielo disminuya gradualmente. Por la misma razón, se prevé la presencia más frecuente de sequías e inundaciones.

En muchas regiones de montaña la estación seca del verano se puede compensar utilizando la abundancia de agua proveniente del fundido de la nieve y el hielo. El desafío es mantener esta estructura estacional. Es probable que esto requiera construir nueva infraestructura multipropósito para almacenamiento, y transformar la infraestructura existente para que pase de servir a un sólo propósito (por ejemplo la generación de energía hidroeléctrica) a ser multipropósito (por ejemplo generación de energía hidroeléctrica y suministro de agua potable).



“Es posible mejorar la planeación e implementación de medidas de adaptación mediante acciones complementarias en todos los niveles, desde los individuos hasta los gobiernos (alta confianza)”

IPCC, 2014 [2]

Figura 2.10. Extensión de la cobertura promedio de nieve de marzo a abril (primavera) en el hemisferio norte. Línea verde: valores anuales; sombreado verde: incertidumbres. Fuente: [1]

Opciones de gestión del agua en los Alpes en el contexto del cambio climático

La región turística de Sierra Crans-Montana–Plaine Morte está ubicada en uno de los valles más secos de Suiza. En el proyecto MontanAqua, los investigadores analizaron la forma como el cambio climático y los cambios socioeconómicos pueden afectar la disponibilidad de agua y el uso del agua en la región para 2050, con base en cuatro escenarios de desarrollo. Los análisis generaron cinco mensajes clave de gobernanza para una gestión sostenible del agua.

Bruno Schädler
Olivier Graefe
Emmanuel Reynard
Stephan Rist
Rolf Weingartner



Experimento de rastreo, glaciar Plaine Morte, Suiza (F. Schneider)

El estudio MontanAqua [1] buscaba evaluar y comparar los posibles impactos del cambio climático y de los cambios socioeconómicos en la región para mediados de este siglo, así como proponer opciones de gobernanza para los legisladores involucrados con la Sierra Crans-Montana–Plaine Morte, situada en la seca región del Valais, al interior de los Alpes suizos.

Los recursos hídricos anuales disponibles (Figura 2.11), principalmente en la parte superior de la zona, son abundantes actualmente (140 millones de m³). Se prevé que disminuirán ligeramente en el futuro, en términos del promedio de disponibilidad anual. No obstante, el pronóstico es que los períodos secos van a incrementar, y desde ya se anticipan períodos de escasez temporal de agua, especialmente en la segunda mitad del verano (de agosto a septiembre). Está proyectado que el glaciar Plaine Morte, que se eleva sobre la región a una altitud de 3 000 m snm y que despliega un volumen de 0.8 km³, habrá desaparecido por completo para 2080 [2]. Las contribuciones de la cuenca del Plaine Morte (cerca de 18 millones de m³) seguirán siendo significativas, pero está pronosticado que los flujos de agua, especialmente los provenientes del fundido de la nieve, se reducirán drásticamente en la segunda mitad del verano [3].



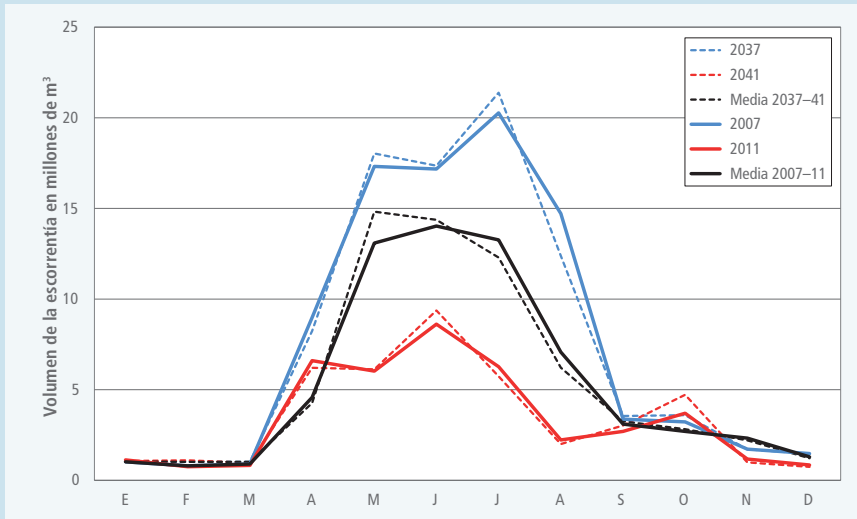


Figura 2.11. Distribución anual de los recursos hídricos para el año 2007 “húmedo”, el 2011 “seco” y valores promedio anuales (2007-2011) en la región de la cabecera oriental (de Ertense al río Tische), la zona más importante en términos de abastecimiento de agua para la región de Sierra Crans-Montana; las líneas punteadas representan las proyecciones para el futuro cercano (alrededor del año 2040) Fuente: [1]

Actualmente el uso total (Figura 2.12) para agua potable, agricultura y turismo (por ejemplo la producción de nieve, o un centro turístico de golf) oscila entre 10.5 y 13.5 millones de m³ anualmente, lo cual representa menos del 10 por ciento del total de flujo anual disponible. La producción de energía hidroeléctrica utiliza otros 70 a 80 millones de m³ por año. Dependiendo de los cuatro diferentes escenarios socioeconómicos (ver Tabla 2.2), se espera que, en promedio, los requerimientos de agua en el futuro se mantendrán estables o tendrán una ligera disminución. Sin embargo, se prevé que la presión sobre los recursos hídricos aumentará en la segunda mitad del verano (de agosto a septiembre).

Los actuales enfoques de gestión del agua se caracterizan por una prevalencia de la gestión de la oferta sobre la gestión de la demanda, de la gestión técnica sobre la gestión política, y por un alto grado de complejidad jurídica, la cual se ve agudizada por una multitud de convenciones y por derechos informales en manos de



Las áreas residenciales están reemplazando cada vez más a los viñedos, Crans Montana, Suiza (F. Schneider)



Vista aérea del complejo turístico de Crans Montana, Suiza (E. Rey)



"Bisse de Lens", histórico canal de agua cerca de Crans-Montana, Suiza (F. Schneider)

grupos comunales y otros usuarios [5]. El precio del agua usualmente permanece bajo, si se compara con la situación nacional e internacional.

La forma como se aborda hoy la gestión del agua en la región se podría describir como moderadamente sostenible [6]. Los diferentes escenarios de evolución que se analizaron no tienen el mismo impacto en términos de sostenibilidad. El "escenario de crecimiento" se caracteriza claramente por una disminución de la sostenibilidad, mientras que los otros tres escenarios favorecerían la sostenibilidad (Tabla 2.2).

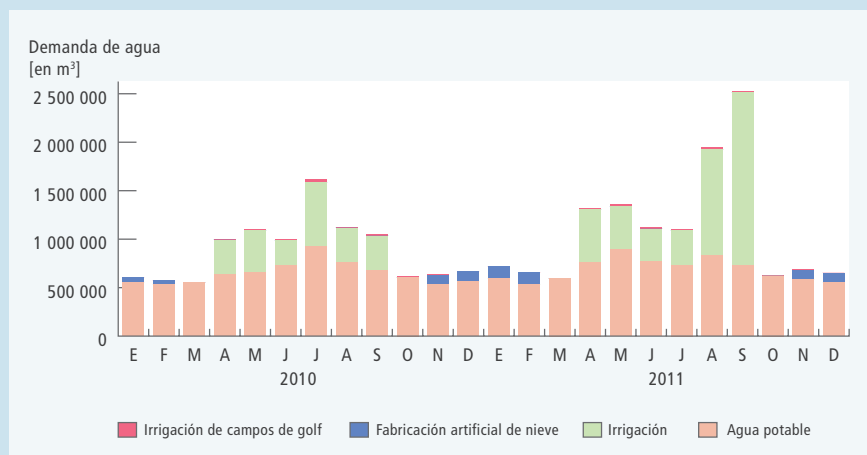


Figura 2.12. Demanda de agua (en m³) durante un año "normal" (2010) y un año "seco" (2011), sin incluir la producción hidroeléctrica Fuente: [1]



Presentación final de los resultados de la investigación, ante las autoridades públicas y otros grupos de interés (HP, Liniger)

Escenario	Características principales	Gestión del agua
1 Crecimiento	Hay énfasis en el turismo masivo, las actividades lucrativas y los segundos hogares; la agricultura es menos importante; la población aumenta.	Los asuntos del agua se gestionan fácilmente a través de medidas técnicas (gestión de la oferta)
2 Estabilización	El agua y el paisaje se consideran los recursos más importantes de la región; se reduce la zona de esquí; la agricultura sigue siendo una actividad principal; la irrigación aumenta; hay un ligero crecimiento poblacional.	Los asuntos del agua se gestionan optimizando el consumo (gestión de la demanda)
3 Moderación	Se hace énfasis en mejorar la calidad de vida de los habitantes y visitantes; la agricultura es muy importante y contribuye a la conservación de la naturaleza y a los objetivos de mantenimiento del paisaje; la población disminuye.	Los asuntos del agua se gestionan con base en la colaboración entre los grupos comunales, beneficiando el bienestar de todos los habitantes de la región.
4 Estrategia compartida entre los grupos de interés	Una combinación de los escenarios 2 y 3; un ligero incremento poblacional; mejores sistemas de distribución y gestión del agua.	Los asuntos del agua se gestionan con base en la colaboración entre los grupos comunales en representación de todos los habitantes de la región.

Tabla 2.2. Escenarios socioeconómicos para el desarrollo de la región de Sierra Crans-Montana, en los Alpes suizos

Lecciones aprendidas

- Se prevé que en 2050 los cambios socioeconómicos tendrán un mayor impacto sobre la situación regional del agua que los del cambio climático.
- En general, se espera que las cantidades de agua disponibles en este momento y en el año 2050 sigan siendo suficientes. Sin embargo, puede haber períodos de escasez de agua en algunas zonas durante ciertas épocas del año.
- Los asuntos relacionados con el agua conciernen principalmente a la gestión regional.
- Las medidas intercomunales relacionadas con la infraestructura pueden ayudar a garantizar suministros sostenibles de agua, pero sólo si son parte y están acompañadas de ambiciosas reformas institucionales.
- Para garantizar una gestión sostenible del agua en la región se requiere transparencia y una mejor administración de la información.

Traslado de una aldea completa como último recurso

La disminución en la caída de nieve, un ejemplo notorio de los impactos del cambio climático, puede conducir a regímenes hidrológicos alterados y a graves consecuencias, en particular para las cuencas que dependen en gran medida de la escorrentía del fundido de la nieve. Para varias aldeas en Alto Mustang, Nepal, esta es una cruda realidad. Los ríos se están secando y por esta razón las aldeas pueden verse forzadas a desplazarse.

Daniel Bernet
Silvia Lafranchi Pittet
Fidel Devkota



Sitio de reubicación (parte inferior izquierda de la imagen). Ya que la llanura se extiende a 40-80 metros sobre los principales ríos y está demarcada por pendientes pronunciadas, no es posible tener acceso a los suministros de agua usando los métodos tradicionales de canales de tierra abiertos (D. Bernet)

El Alto Mustang es un elevado valle de Nepal que limita al norte con la Región Autónoma del Tíbet, en China, y que está configurado por el río Kali Gandaki, un afluente del Ganges. En el sur, entre las principales cordilleras de los Himalayas, el río ha labrado el cañón más profundo del planeta, con montañas que sobrepasan los 8 000 m de altura, como las de Anapurna y Dhaulagiri. Estas cadenas de montaña actúan como una especie de barrera de humedad, separando una de las regiones más húmedas de Nepal de una de sus más secas (Tabla 2.3 y Figura 2.13).

En las condiciones desérticas del Alto Mustang no se puede cultivar nada sin irrigación. Aparte de practicar el pastoreo, la mayoría de los varios miles de habitantes del valle labran su sustento con el cultivo de subsistencia de granos [1]. Los aldeanos dependen directamente de ríos perennes y los utilizan para irrigar sus campos. Aunque los ríos alimentados por glaciares pueden seguir siendo fuentes estables de agua, al menos durante las próximas décadas, las pocas aldeas que dependen de ríos alimentados por la nieve ya están en apuros, y el futuro no parece prometedor.

Escondida en un valle lateral se encuentra Dheye, una de las aldeas afectadas. El suministro de agua en Dheye parece depender de las nevadas. Sin embargo, los datos disponibles son escasos y poco fiables para determinar las tendencias de precipitaciones anteriores. Los pronósticos futuros se basan en estudios sobre el cam-





Figura 2.13 Ubicación de las estaciones meteorológicas listadas en la Tabla 2.3, además de la ubicación actual de Dheve y el sitio planeado para la reubicación, Thangchung. Las líneas verde y azul indican las respectivas cuencas hidrológicas. Fuente: Google Earth Pro (consultado el 25 de agosto de 2014)

Opinión de un aldeano sobre el cambio climático:

“En el pasado había fuertes nevadas y agua suficiente, pero las cosas han cambiado. Ahora nieve menos y las lluvias se ha vuelto impredecibles”.

Pasang Gurung, campesino de Dheve

bio climático a nivel mundial, los cuales anuncian un calentamiento por encima del promedio en la región. El aumento de las temperaturas implica nevadas reducidas, así como también una disminución espacial y temporal de la capa de nieve, lo que conduciría a escorrentías más tempranas e irregulares [2].

En la actualidad los pobladores locales tratan de desviar cada gota de agua de los ríos a sus campos. Pero aun así, muchos campos ya han sido abandonados. Diez de las 24 familias de la zona ya se han trasladado a lugares diferentes, e incluso una de ellas se fue hasta India. La falta de agua para el riego es la principal pre-

Estación	Altitud de la estación (m)	Media de precipitación por año (mm)	Registros Incompletos /completos por año
(1) Lumle	1 740	5 534	0 / 26
(2) Lete	2 384	1 421	3 / 23
(3) Thakmarpha	2 566	403	3 / 23
(4) Jomsom	2 744	268	1 / 25
(5) Ghami	3 465	116	7 / 19
(6) Lo-Manthang	3 705	174	17 / 9

Tabla 2.3. Totales de precipitación anual (promedio de registros completos por año) de las estaciones meteorológicas al sur del Distrito de Mustang (1) y en el Distrito de Mustang (2-6), con base en los registros de datos del Departamento de Hidrología y Meteorología, Nepal, de 1985 a 2010



Aunque los habitantes del pueblo extraen casi toda el agua del arroyo cercano, a menudo es insuficiente para irrigar sus campos (D. Bernet).

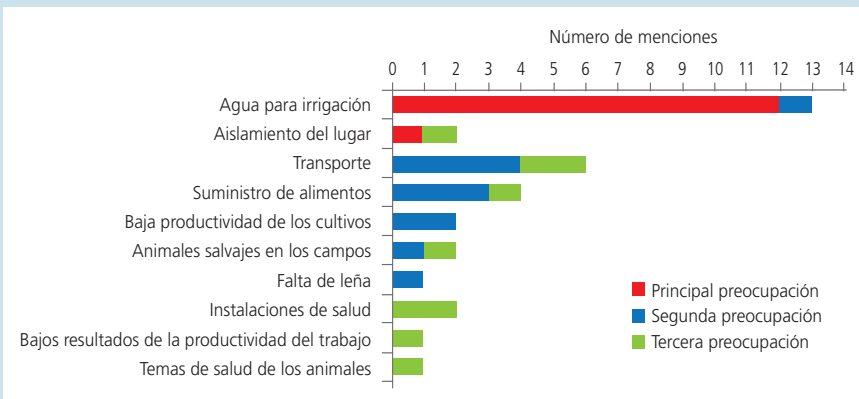


Figura 2.14 Principales temas de preocupación identificados por las 14 familias que quedan en Dheye, y clasificadas por importancia. Téngase en cuenta que una familia se abstuvo de elegir y tres familias identificaron menos de tres asuntos principales

ocupación de las 14 familias que permanecen en la aldea (Figura 2.13). Y, como último recurso, los restantes pobladores de Dheye han decidido trasladar todo el pueblo a una pequeña llanura de su propiedad en el valle principal, en una ligera prominencia desde la que se divisa la confluencia de tres ríos alimentados por los glaciares. El área de la cuenca en el sitio de reubicación mide cerca de 363 km², de los cuales el 12 por ciento está todavía glaciado, lo que promete una fuente confiable de agua al menos para las próximas décadas [2].

Un equipo interdisciplinario liderado por la ONG suiza Kam For Sud buscó evaluar si los habitantes de Dheye podrían adoptar ciertas medidas para mantener sus medios de subsistencia en su ubicación tradicional, o si era mejor movilizarse hacia el otro lugar. Después de analizar una amplia gama de factores, el equipo llegó a la conclusión de que era mejor trasladar la aldea [2]. También se propusieron medidas externas de apoyo de baja tecnología para resolver problemas de riego y de suministro de agua potable (en el sitio de reubicación) que los aldeanos no podrían solucionar utilizando métodos tradicionales [3].

Lecciones aprendidas

- La disminución en la caída de nieve debido al cambio climático puede tener grandes impactos en los regímenes hidrológicos, amenazando los medios de subsistencia de los habitantes que dependen de cuerpos de agua afectados.
- El caso de la aldea de Dheye ilustra cómo las comunidades más pobres del mundo son a menudo las que más sufren los efectos del cambio climático, a pesar de que son las que menos han contribuido a causarlo.

El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares

El deshielo de los glaciares está haciendo que aumente actualmente la disponibilidad de agua dulce en muchas cuencas de ríos de montaña, extensas y densamente pobladas. Pero este incremento no es sostenible: el suministro de agua de los glaciares comenzará a disminuir a medida que el área glaciada se reduzca. Este descenso se iniciará entre ahora y el próximo cambio de siglo, dependiendo de las características de cada cuenca en particular y del futuro cambio climático.

Ben Marzeion
Georg Kaser



Extremo sur de la Cordillera Blanca, Ancash, Perú. (B. Marzeion)

Los glaciares afectan principalmente de dos maneras el ingreso de agua dulce en las cuencas. La primera es estacional: durante la temporada de fusión, los glaciares liberan dentro de la cuenca el agua que cayó en forma de nieve durante el período de acumulación [1]. La importancia de este efecto depende en gran medida de qué tan glaciada esté la cuenca y de cuánto varíe la precipitación a lo largo de las estaciones. En las cuencas donde sólo hay unos cuantos glaciares o donde la principal temporada de precipitaciones coincide con la temporada de fusión, los glaciares juegan un papel de menor importancia en relación con la disponibilidad de agua [2]. Pero si hay muchos glaciares y la temporada de fusión coincide con precipitaciones escasas, los glaciares pueden proporcionar un porcentaje importante del total de agua disponible durante varios meses cada año (Figura 2.15). Este efecto estacional de los glaciares sobre la disponibilidad del agua en las cuencas es en gran medida independiente del avance o retroceso de los glaciares a más largo plazo, y puede entenderse como una contribución sostenible de los glaciares a la disponibilidad de agua perenne.



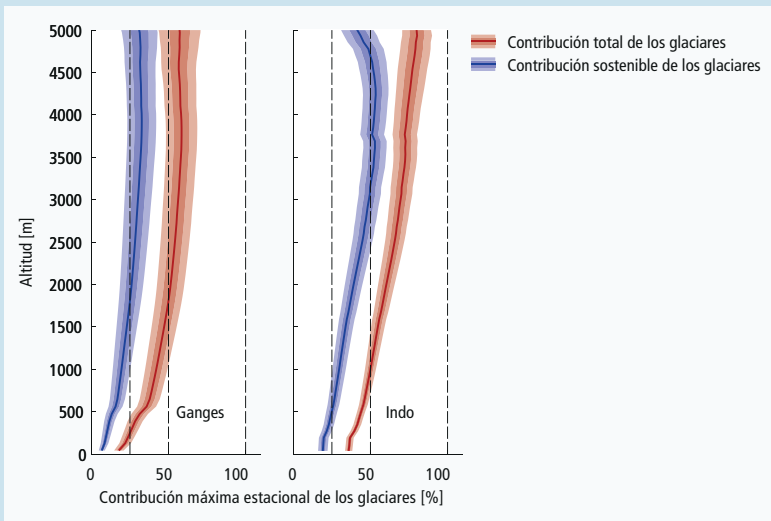


Fig. 2.15. Contribución máxima estacional de los glaciares a la disponibilidad de agua en las cuencas de los ríos Ganges e Indo desde 1981 hasta 2010, como una función de la altitud. El sombreado indica el efecto de la variabilidad del clima. Los glaciares son menos importantes para la disponibilidad total de agua en la cuenca del Ganges, porque en el clima monzónico la precipitación y la fusión tienden a coincidir (B. Marzeion)

El segundo efecto de los glaciares se basa en su capacidad para almacenar agua durante muchos años. Los glaciares en retroceso liberan más agua durante la temporada de fusión que la que capturan durante la temporada de acumulación, lo que aumenta, por consiguiente, la disponibilidad de agua [1]. Pero el retroceso de los glaciares también significa que el área glaciada de la cuenca se está reduciendo, y aunque el retroceso a largo plazo de los glaciares al principio aumenta la disponibilidad de agua, en algún momento esta tendencia se revertirá, y la disponibilidad de agua comenzará a disminuir. Esto significa que el aumento de la liberación de agua por parte de los glaciares en retroceso es insostenible. El fenómeno se conoce a menudo como "pico del agua". La Figura 2.16 ilustra el desequilibrio neto de los glaciares de todo el mundo como una función de tiempo y de futuros escenarios del cambio climático (arriba), y para las regiones glaciadas seleccionadas (abajo). A nivel mundial, se prevé que el pico en una contribución insostenible de agua se producirá entre la mitad y el final del siglo 21, pero a escalas regionales y locales este momento depende en gran medida de las características de cada glaciar en particular. Por ejemplo, mientras más pequeños sean los glaciares en una cuenca, más temprano se producirá el pico [3]. La línea roja en la Figura 1 señala el máximo estacional de la contribución total de los glaciares a la disponibilidad de agua, mientras que la línea azul indica el máximo estacional de su contribución sostenible, la cual no está influenciada por el retroceso de los glaciares.

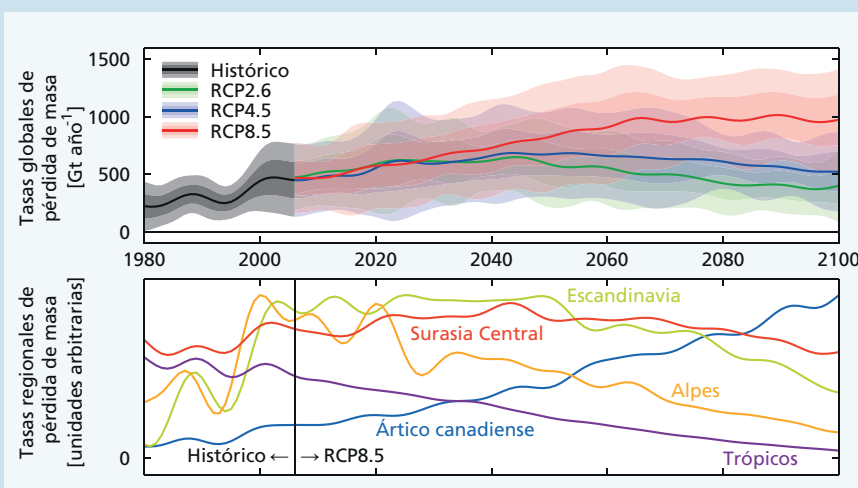


Fig. 2.16. Reconstrucciones y proyecciones de las tasas netas globales de pérdida de masa de los glaciares. El panel superior muestra las sumas globales para diferentes escenarios climáticos, donde la línea llena indica la media multimodelo y la parte sombreada indica la incertidumbre del modelo



Huaraz, Ancash, Perú, con el Huascarán (izquierda) y el Chopicalquí (la derecha) (B. Marzeion)

El retroceso de los glaciares a nivel mundial durante las últimas décadas coincidió con un fuerte aumento en la demanda de agua en muchas regiones del mundo, impulsado tanto por el aumento de la población como por los cambios en la economía y en los estilos de vida. La creciente demanda ha sido satisfecha en parte por la contribución insostenible de los glaciares a la disponibilidad de agua. Esto ya no será posible una vez que su contribución comience a declinar. La clave para evitar una futura escasez estacional de agua en las cuencas fluviales glaciadas es identificar las actuales fuentes disponibles de agua, calcular el futuro desarrollo de estas fuentes e iniciar la adaptación cuanto antes.

Lecciones aprendidas

- Los glaciares en retroceso contribuyen a la disponibilidad estacional de agua a unas altas tasas que son insostenibles. En muchas regiones del planeta, el retroceso de los glaciares que hemos presenciado durante las últimas décadas ha coincido con un rápido aumento en la demanda de agua, y parte de esta demanda ha sido satisfecha por la contribución insostenible de los glaciares a la disponibilidad de agua. Esta contribución disminuirá una vez que los glaciares se reduzcan hasta un tamaño crítico.
- La clave para evitar la escasez de agua en el futuro es prepararse de antemano.





3

Los glaciares de montaña



Los glaciares de montaña: sobre hielo quebradizo

Los glaciares de montaña son indicadores clave del cambio climático. Los cambios en los glaciares son la más clara evidencia que tenemos del cambio climático global. Afectan el aspecto del paisaje en las montañas altas e impactan el suministro de agua en las regiones, las condiciones de riesgo a nivel local y los niveles del mar en todo el planeta. Los glaciares se pueden encontrar en todas las latitudes y es posible compararlos a través de todas ellas, desde el ecuador hasta los polos. Por su sensibilidad a los cambios climáticos, los glaciares pueden utilizarse como indicadores clave en los sistemas de observación del clima a nivel global.

Michael Zemp
Wilfried Haeberli
Martin Hoelzle

Chopicalqui, Perú (E. Hegglin)

Los glaciares han sido observados de forma coordinada entre las naciones durante más de un siglo [1, 2]. Los resultados de los datos recopilados alrededor del mundo no son nada alentadores, y las perspectivas para el futuro próximo lo son aún menos: la evidencia de una contracción acelerada de los glaciares a escala global va en aumento. La tasa promedio de pérdida de grosor por década, con base en la medición de 37 glaciares de referencia en todo el mundo (Figura 3.1) se ha triplicado desde la década de los 80 (Figura 3.2). La máxima pérdida documentada en el período 1980-1999 (en 1998) ya ha sido superada cuatro veces en el siglo XXI: en 2003, 2006, 2010 y 2011 [3]. Los datos aéreos y de satélite confirman la tendencia y señalan pérdidas aún mayores en ciertas regiones tales como el sur de Alaska. Al mismo tiempo, se han encontrado excepciones decadales a nivel regional e individual que muestran un reavance glaciar intermitente, por ejemplo en las partes más húmedas de Noruega, en Nueva Zelanda y los Himalayas Occidentales. Pero evaluadas globalmente de acuerdo con una escala de tiempo de un centenio, la tendencia que predomina es la de un rápido derretimiento de los glaciares.

Distribución de los glaciares del planeta y cambios en su masa y extensión

De acuerdo con estimaciones globales recientes, en todo el mundo hay 170 000 glaciares que cubren una superficie de 730 000 km² [4]. Más del 80 por ciento de esa área está ubicada en el Ártico Canadiense, Alaska, las Altas Montañas de Asia y alrededor de las capas de hielo continental de la Antártida y Groenlandia. Si todos los glaciares del mundo se derritieran, se produciría un aumento del nivel medio del mar de aproximadamente 0.5 metros [5,6]. De hecho, gran parte del agua retenida en los glaciares del mundo puede llegar al océano global en los próximos siglos [7].

Las mediciones de los cambios en la longitud de los glaciares constituyeron los principales datos recopilados durante las fases iniciales del monitoreo internacional de

los glaciares, el cual comenzó en 1894. Los datos aportados por estas simples observaciones son sumamente sólidos. Con ellos no queda duda de que los glaciares de montaña en todo el mundo se han estado encogiendo rápidamente desde finales del siglo XX. La evidencia sugiere que este retroceso global sorprendentemente sincrónico es excepcional. En muchos lugares los glaciares se han reducido ahora casi hasta la extensión mínima que alcanzaron durante los períodos más cálidos del Holoceno, es decir, en los últimos 10 000 años [8], y algunos se han contraído aún más.

Las observaciones basadas en el balance de masa, es decir, la diferencia entre la acumulación (nevadas) y la ablación (derretimiento), indican que la pérdida de hielo está ocurriendo a una tasa considerablemente más rápida que la que pronosticaba el solo impacto de los gases de efecto invernadero. Esto significa que los procesos de retroalimentación probablemente están jugando un papel cada vez mayor, en particular la disminución de la reflectividad [albedo] debido al oscurecimiento de las superficies de los glaciares, el retroceso de las cotas de nieve y una mayor deposición de polvo [9, 10].

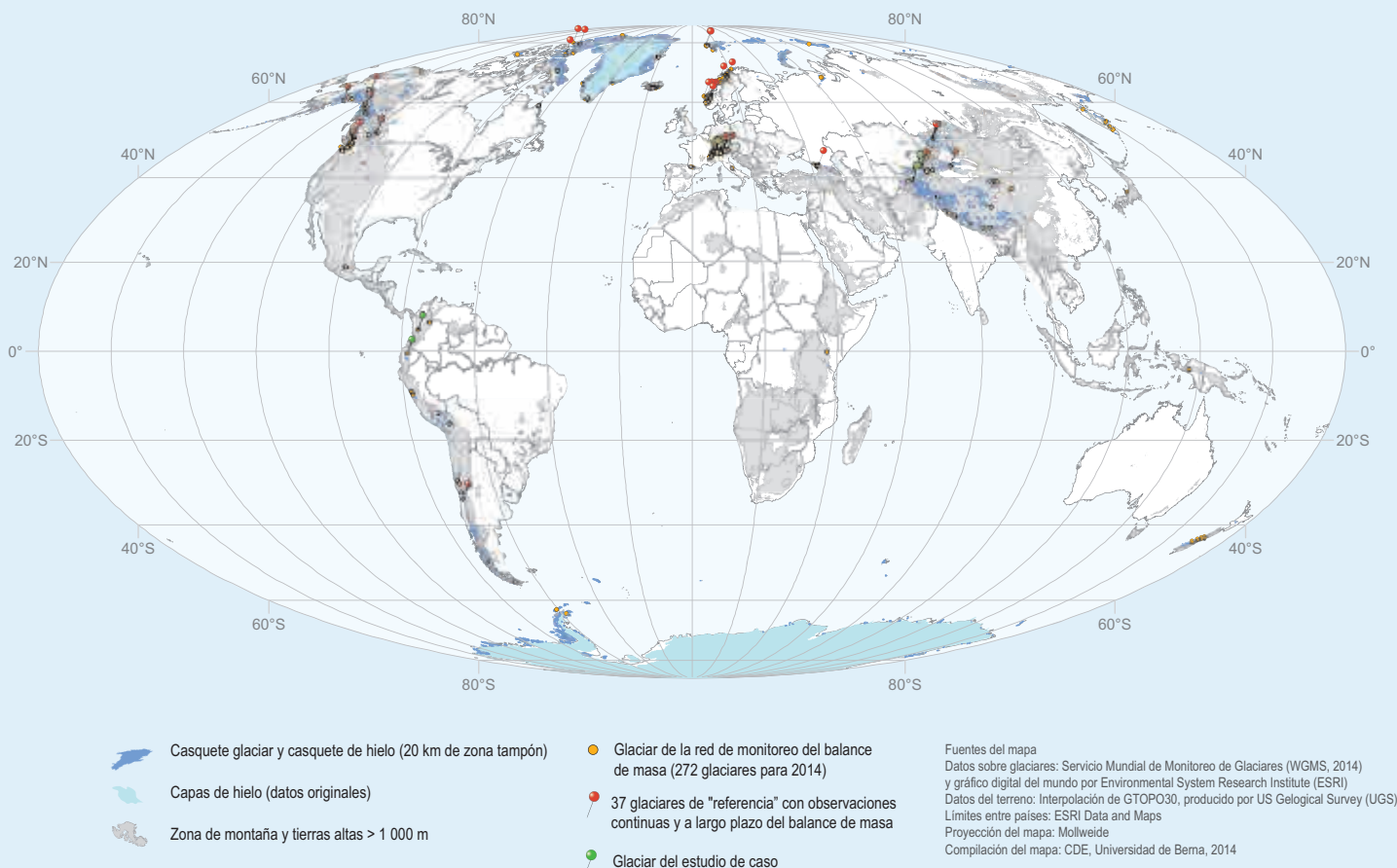
Mensajes sobre políticas

- Continuar y expandir el monitoreo de los glaciares mediante observaciones in situ y por sensores remotos.
- Promover la divulgación gratuita e irrestricta de información y datos estandarizados acerca de la distribución y los cambios de los glaciares.
- Promover la evaluación de los impactos que generan los cambios en los glaciares sobre los riesgos de amenazas a nivel local, la disponibilidad de agua potable en las regiones y el aumento del nivel del mar en todo el planeta.

Nuevas técnicas de medición, nuevos conocimientos

Recientemente, los inventarios de glaciares realizados con base en imágenes de satélite y en información digital del terreno han posibilitado nuevas formas de documentar la distribución de los glaciares y casquetes de hielo y los cambios que los afectan. Los modelos informáticos que combinan datos de la observación de series de tiempo con información de satélite hacen que sea posible examinar los cambios en conjuntos de glaciares más grandes, abarcando regiones de montaña en su totalidad. Los resultados muestran claramente que así el calentamiento global se mantenga en 2 °C, es probable que muchos glaciares pequeños y medianos en las zonas de montaña desaparezcan por completo en las próximas décadas, con graves consecuencias en cuanto a los riesgos de amenazas y los ciclos del agua [11]. En lugar de retroceder

Figura 3.1: Distribución global de los glaciares, casquetes y capas de hielo, así como la localización de 37 glaciares de referencia con observaciones continuas y a largo plazo del balance de masa



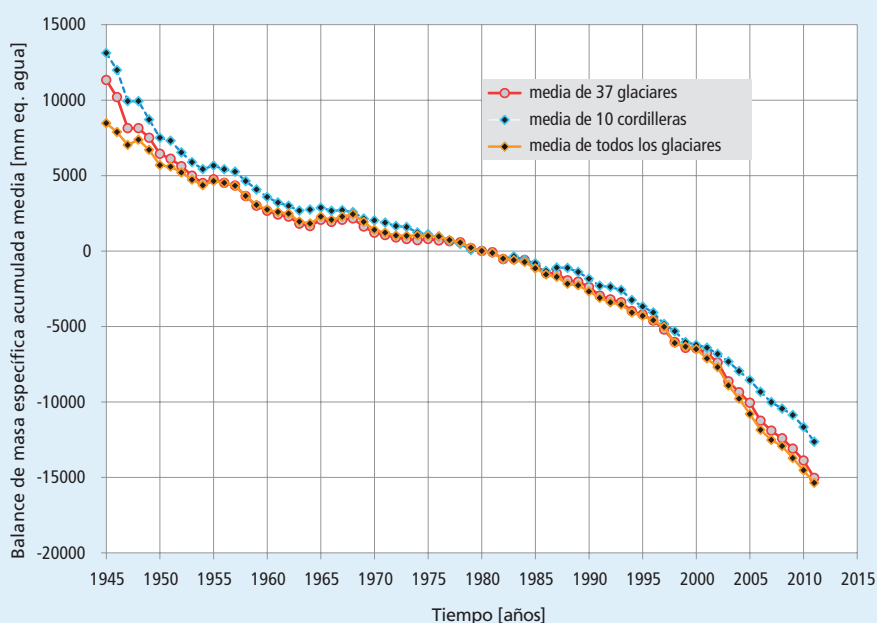
gradualmente, muchos glaciares grandes pueden desarrollar desequilibrios extremos que los lleven a desplomarse o a colapsar, como se observa cada vez más a menudo.

También se han desarrollado técnicas para simular la topografía que quedará expuesta al ir desapareciendo los glaciares. Esto ayuda a prever la formación de nuevos lagos en las depresiones locales de los lechos glaciares [12]. Algunos de estos lagos nuevos podrían tener el potencial de generar energía hidroeléctrica o de preservar el atractivo estético cuando la belleza de un glaciar se ha perdido. Sin embargo, también representan un creciente riesgo de inundaciones y flujos de escombros de gran alcance causados por el rompimiento de morrenas o por avalanchas de rocas que provienen de pendientes de glaciares en deshielo o de laderas que contienen permafrost degradante [13].

Los impactos de la desaparición de los glaciares

El impacto más grave del derretimiento de los glaciares de montaña tiene que ver con los ciclos hídricos regionales y globales. El derretimiento de los glaciares seguirá siendo un gran contribuidor a la elevación del nivel del mar en este siglo [11], y en algunas regiones la estacionalidad de la escorrentía cambiará dramáticamente debido a los efectos combinados de un menor almacenamiento de nieve, un deshielo más temprano y un derretimiento cada vez menor de los glaciares. A fin de evaluar la importancia que tiene el derretimiento de los glaciares para la disponibilidad del agua en un lugar determinado, se debe considerar la contribución estacional del glaciar al abastecimiento de agua, en relación con el tamaño de la cuenca y las correspondientes contribuciones del fundido de la nieve y de las precipitaciones. La importancia de los glaciares para el suministro de agua es muy poca en climas monzónicos, moderada en la mayoría de las cuencas de latitud media, y muy alta en las cuencas estacional o permanentemente secas, tales como las de Asia Central o de las laderas occidentales de los Andes tropicales [14]. En la actualidad, cerca de mil millones de personas, principalmente en Asia, Norteamérica, Suramérica y el Centro y Sur de Europa, dependen del agua proveniente de la fusión de la nieve y de los glaciares durante la estación seca y podrían verse seriamente afectadas por cualquier cambio [15]. En el futuro, la escasez de agua en las largas sequías, intensificada por

Figura 3.2: Balance de masa total acumulada media desde 1945/46. Los valores positivos o negativos indican ganancia o pérdida de hielo, respectivamente, en comparación con el año 1980. La muestra consiste en observaciones de aproximadamente 250 glaciares en total, con series de observación a largo plazo de 37 glaciares en diez cordilleras. Los balances de la media de los primeros años tienen un valor limitado, ya que la muestra es muy pequeña. Fuente: WGMS (2013)



Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS)

Durante más de un siglo, el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS), bajo el liderazgo suizo, así como las organizaciones que le precedieron, han coordinado la compilación y la difusión gratuita a nivel mundial de los datos de observación de los glaciares. Hoy en día, junto con el Centro Nacional de Datos de Hielo y Nieve (NSIDC) y la iniciativa Mediciones del Hielo Terrestre Mundial desde el Espacio (GLIMS), el WGMS supervisa la Red Terrestre Mundial para los Glaciares (GTN-G). Este es el marco para el monitoreo internacional y coordinado de los glaciares dentro del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), el cual respalda a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El WGMS está financiado por la Oficina Federal de Meteorología y Climatología MeteoSwiss en el marco del GCOS de Suiza.

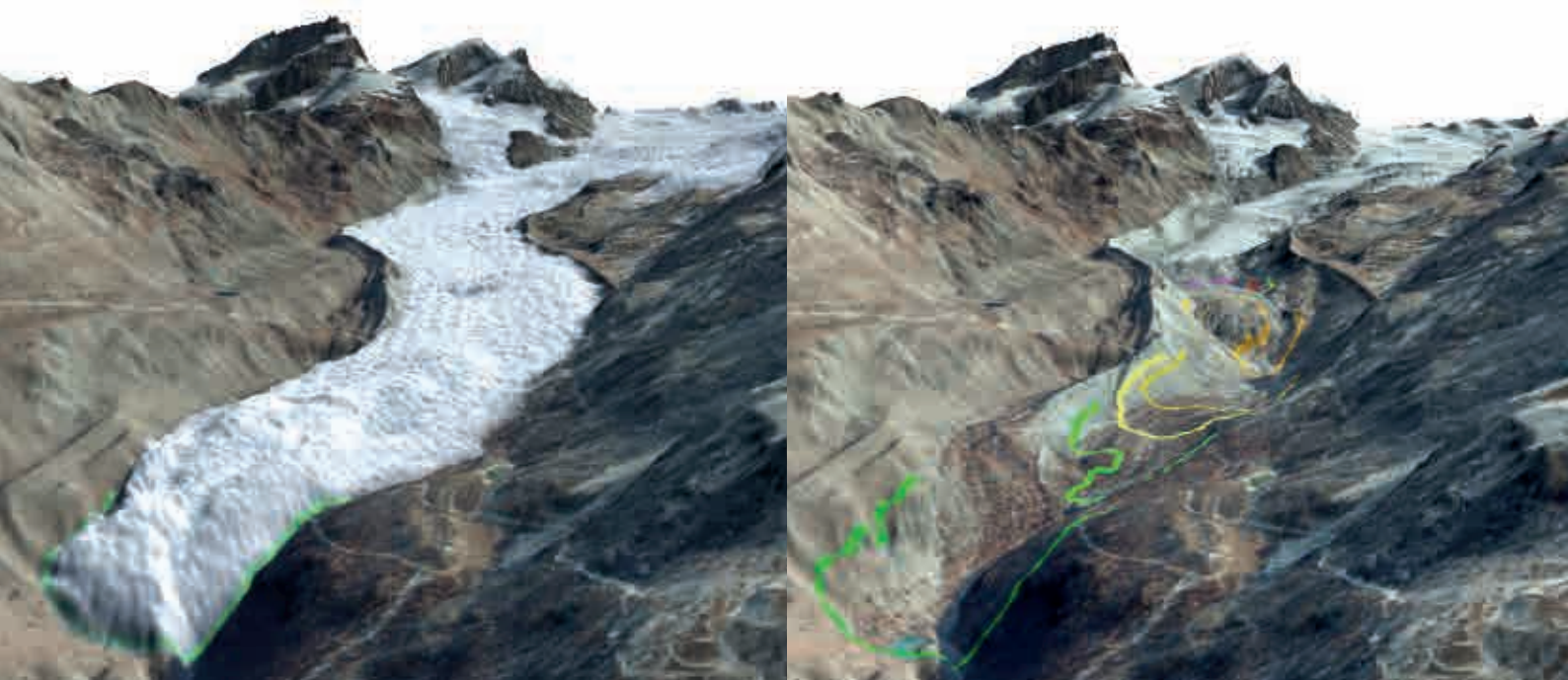
Este esfuerzo se apoya en una red de colaboración científica integrada por más de mil observadores que trabajan en más de 30 países. Esto ha generado una base de datos global sin precedentes, sobre la distribución y cambios de los glaciares. Sin embargo, las observaciones resultantes, especialmente las de programas a largo plazo, se han concentrado en mucha mayor proporción en el hemisferio norte y Europa. Entre las regiones con una cobertura de observación limitada se encuentran zonas altamente glaciadas en el Ártico y la Antártida, como también en los Andes y en Asia (ver figura 3.1).

Para mayor información, ver:

- Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS): <http://www.wgms.ch>
- Sitio web de la Red Terrestre Mundial para Glaciares: <http://www.gtn-g.org>
- Informe sobre los cambios globales en los glaciares (hechos y cifras): <http://www.grid.unep.ch/glaciers/>

los cambios en la cobertura de nieve y hielo en las altas cordilleras podría afectar severamente los medios de subsistencia de las personas y por ende la economía. Algunos de los problemas que podrían surgir durante las estaciones cálidas o secas son la disminución de los suministros de agua, mínimos de descarga más prolongados y épocas de bajo flujo en los ríos, niveles más bajos en los lagos y en las aguas subterráneas, temperaturas más altas del agua, trastornos en los sistemas acuáticos y menor generación de energía hidroeléctrica. Estos efectos podrían agravarse al incrementar la demanda de agua debido al aumento poblacional y a la urbanización, industrialización, irrigación, generación de energía hidroeléctrica y las acciones para combatir incendios. La combinación de un menor suministro y una mayor demanda, como en este caso, podría generar conflictos. Junto con temperaturas atmosféricas más altas, una mayor evaporación y cambios en las condiciones de la nieve, la desaparición de los glaciares de montaña podría poner en primer plano de una manera dramática dos preguntas fundamentales: ¿A quién pertenece el agua? Y ¿quién decide cómo utilizarla en situaciones críticas?

Figura 3.3: Panorámicas del Findelengletscher (Glaciar Findel), Suiza, en 1862 (izquierda) y 2010 (derecha), creadas con base en mapas históricos y por medio de escaneo láser moderno, respectivamente. Las figuras son un aporte de P. Rastner, Universidad de Zurich, y fueron producidas dentro del proyecto Experimento de escaneo láser de glaciares Oberwallis, respaldado por la empresa de energía de Suiza Axpo



Capacitación y alianzas para los sistemas de observación del clima

Entre las regiones con observaciones limitadas de los glaciares, los Andes y Asia Central son probablemente las más vulnerables a los impactos generados por los cambios en el clima y en los glaciares. En estas regiones, los glaciares contribuyen considerablemente al abastecimiento de agua durante las estaciones secas; las personas y la infraestructura son especialmente vulnerables a las amenazas relacionadas con ellos, tales como las inundaciones por desbordamiento de los lagos glaciares. Ambas regiones son actualmente el foco de programas de capacitación y alianzas internacionales. Pero todos los esfuerzos realizados en este sentido para entender los efectos secundarios del cambio climático e identificar medidas de mitigación y adaptación se ven obstaculizados por la falta, a largo plazo, de series de observación meteorológica y glaciar de alta calidad. El proyecto Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima (CATCOS), coordinado por la Oficina de Meteorología y Climatología MeteoSwiss y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), tiene por objetivo mejorar el monitoreo de los gases de efecto invernadero, los aerosoles y los balances de masa de los glaciares en regiones del mundo en donde se carece de datos. En estrecha colaboración con socios regionales, los paquetes de trabajo glaciológico del proyecto CATCOS buscan continuar los programas de medición *in situ* del balance de masa en Colombia y Ecuador [además de realizar allí nuevos estudios geodésicos de glaciares], y reanudar las mediciones *in situ* del balance de masa en Kirguistán [interrumpidas].

Nota: Esta es una versión actualizada de la contribución de W. Haeberli y M. Zemp a: Las montañas y el cambio climático (2009), pp. 22-25



Demostración de las mediciones de densidad de la nieve durante una escuela de verano que tuvo lugar en el marco del proyecto CATCOS en Zermatt, Suiza (M. Zemp)

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

Las cordilleras de Asia Central son torres de agua para grandes poblaciones. La escorrentía de los glaciares representa un importante recurso de agua dulce en las vastas zonas áridas de la región. El balance de masa de los glaciares en esta región es también un indicador importante del cambio climático.

Ryskul Usabaliev
Erlan Azizov



Glaciar Abramov, en Kirguistán (H. Machguth)

Las directrices internacionales para el monitoreo de los glaciares de montaña recomiendan combinar mediciones *in situ* (balance de masa, variaciones del frente) con sensores remotos (inventarios) y modelización numérica. Esto ayuda a salvar la brecha entre los estudios locales detallados de glaciares (orientados a procesos) y conjuntos de datos que son relevantes a nivel global.

Ciertos glaciares en Asia Central – a saber, el Abramov y el Golubin – han sido mencionados por el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares como glaciares de referencia (recuadro 1, página 55). Tras la caída de la antigua Unión Soviética, los esfuerzos de medición fueron en gran medida abandonados. A finales del verano de 2011, científicos de Kirguistán, Uzbekistán, Suiza y Alemania reanudaron las actividades de medición del glaciar Abramov en las montañas Pamir-Alay. Esto tuvo lugar dentro del proyecto Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima CATCOS (ver recuadro página 56) y el proyecto de Agua de Asia Central (CAWa). También se reanudaron las mediciones de los glaciares Golubin, Suek Zapadniy y el Glaciar 354 en las Montañas del Tién Shan en 2010. Los datos obtenidos acerca del balance de masa se analizaron junto con las observaciones de cotas de nieve desde cámaras terrestres y se compararon con mediciones hechas anteriormente.

Los esfuerzos orientados a la capacitación y creación de alianzas buscan transferir a los socios regionales el liderazgo del programa de observación así como generar información para los actores regionales involucrados en la gestión hídrica, la reducción de riesgo de desastres y el sector de la salud.



Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

Los glaciares en los Andes tropicales son conocidos por ser especialmente sensibles al cambio climático. Debido a las condiciones climáticas particulares de la zona tropical, el deshielo se produce durante todo el año en la parte más baja de los glaciares. De esta manera, la cumbre del glaciar deja ver una respuesta de corto plazo ante los cambios en el balance de masa y el clima [1].

Bolivar Cáceres
Jorge Luis Ceballos



Casquete de hielo del volcán Antizana, Ecuador (M. Zemp)

Los glaciares tropicales alcanzaron la máxima extensión de su “Pequeña Edad de Hielo” entre finales del siglo XVII y principios del XIX. Desde entonces, estos glaciares han mostrado un retroceso general, marcado por dos periodos de aceleración: uno a finales del siglo XIX y otro en los últimos 30 años, siendo éste el más pronunciado. Estos cambios se captan mejor mediante las mediciones del balance de masa realizadas mensualmente en Bolivia, Ecuador y Colombia. Se cree que la reciente contracción de los glaciares ha sido impulsada principalmente por el aumento en la frecuencia del fenómeno del Niño y por los cambios en su ocurrencia espacial y temporal, que se combinan con el calentamiento de la tropósfera sobre los trópicos [2]. En el futuro, las temperaturas atmosféricas cada vez más altas y un cambio mínimo en la precipitación podrían reducir en gran medida la cobertura glaciar e incluso hacer desaparecer pequeños glaciares cuyas partes más elevadas se encuentran cerca de la altitud actual de la línea de equilibrio [2]. Este es un grave motivo de preocupación porque en las regiones áridas al occidente de los Andes habitan grandes poblaciones que dependen del agua proveniente de las elevadas cordilleras glaciariadas para la agricultura, el consumo doméstico y la energía hidroeléctrica [3].

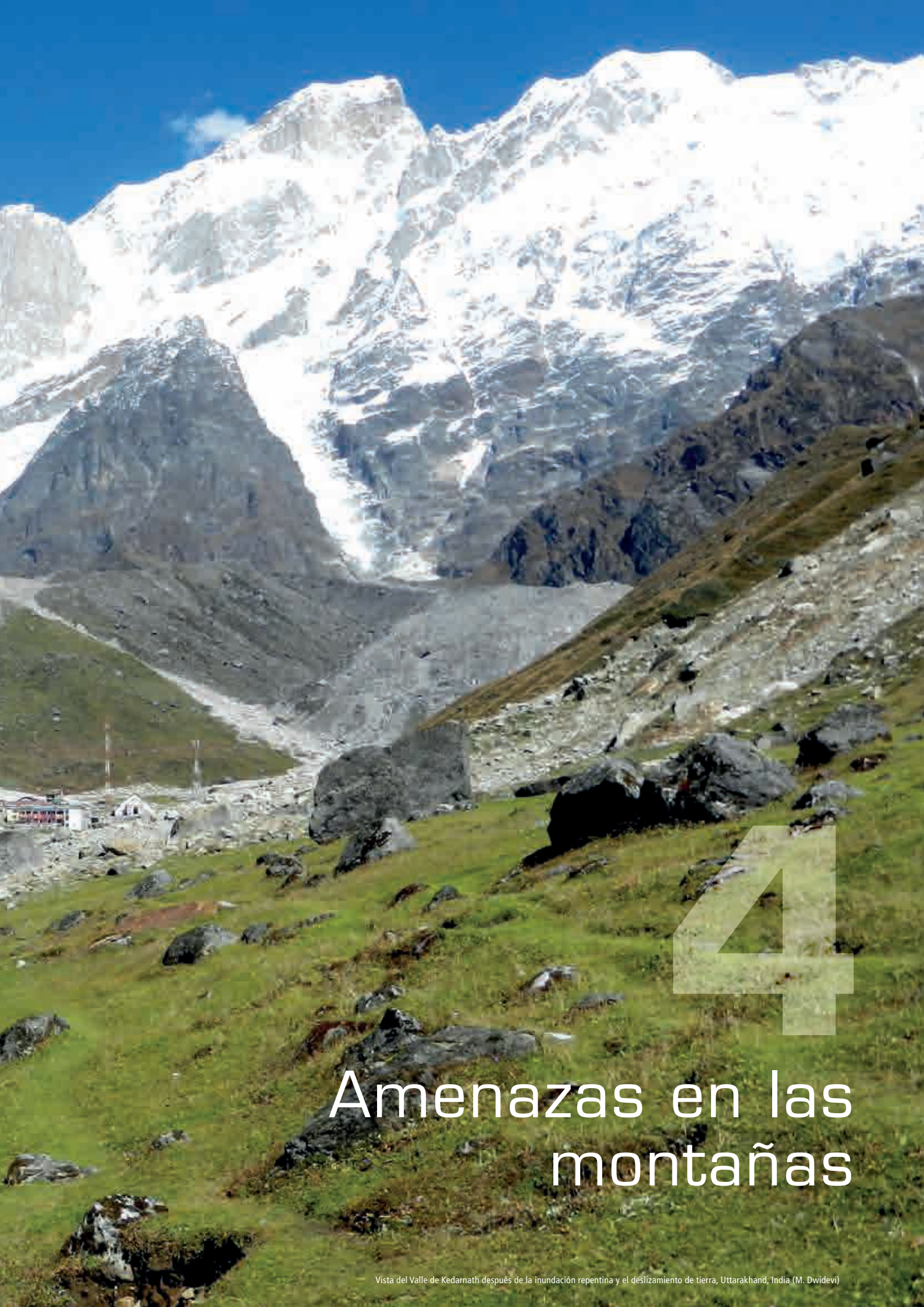




Volcanes activos Nevado del Tolima y Nevado del Ruiz (al fondo, a la derecha), y el Santa Isabel, inactivo (al fondo, en el centro), Cordillera Central de Colombia. (J. Ramírez Cadena)

El proyecto CATCOS –Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima– (ver recuadro 2, página 56) tiene por objetivo fortalecer los programas de monitoreo de glaciares en Colombia y Ecuador. Este programa apoya la continuación de las mediciones del balance de masa en el casquete de hielo del Antisana, en Ecuador. En un esfuerzo conjunto con socios regionales, los participantes están implementando un nuevo estudio geodésico basado en fotografía aérea, con el fin de validar las observaciones *in situ* y evaluar el cambio decadal del volumen de hielo en el casquete glaciar. En Colombia, el proyecto apoya la continuación del programa de balance de masa en Conejeras, un glaciar de desagüe del Nevado Santa Isabel. El proyecto complementa aún más este esfuerzo con un estudio de escaneo láser terrestre de la superficie del glaciar, y con un estudio de radar de penetración de tierra para determinar el grosor del hielo restante. Junto con el programa de balance de masa en el Glaciar Zongo en Bolivia, las dos series de observación mensual en Colombia y Ecuador son vitales para mejorar nuestra comprensión del cambio climático en la tropósfera media de los Andes tropicales y de su impacto en los glaciares, la escorrentía y la disponibilidad de agua dulce para las poblaciones y ecosistemas regionales.





4

Amenazas en las montañas

Cambio climático y amenazas en las montañas

Las regiones de montaña albergan no sólo una gran diversidad de flora y fauna, de terrenos y condiciones climáticas, sino también de amenazas naturales y riesgos. Muchos de los terremotos más fuertes han ocurrido en zonas montañosas cuya singular topografía es en gran parte resultado de una tectónica activa y de erupciones volcánicas. Tan sólo tres terremotos recientes – en las montañas de China (2008), en Haití (2010) y en Japón (2011) – cobraron la vida de más de 320 000 personas. Muchas de estas muertes fueron ocasionadas por deslizamientos de tierra, hundimientos del suelo, ruptura de presas naturales y tsunamis, desencadenados por los terremotos. Es probable que el cambio climático intensifique los riesgos por amenazas no sísmicas, tales como inundaciones, deslizamientos o sequías.

Oliver Korup

Los bosques cumplen una función protectora en muchos paisajes de montaña, en particular mediante la reducción de la erosión del agua (O. Korup)

Las cordilleras forman a menudo barreras climáticas bien definidas, propiciando por ejemplo la aridez en las regiones de sotavento, y acentuando la disponibilidad y variabilidad de los recursos de agua dulce. Pero las montañas también pueden provocar lluvias torrenciales en algunas áreas, tales como zonas de la región oriental de los Himalayas donde los totales anuales de precipitación pueden superar los 20 m. Una topografía que se eleva hasta casi 9 km sobre el nivel del mar contribuye a la acumulación de aguas lluvias y estimula los principales agentes de erosión: los glaciares y ríos que atraviesan terrenos de gran diversidad, socavando las laderas y provocando eventualmente el colapso de picos montañosos. Los deslizamientos de tierra resultantes pueden desplazar varias decenas de kilómetros cúbicos de roca y tierra, que llegan a desafiar las más resistentes estrategias de gestión de riesgos.

Diversas formas de amenazas

Las montañas también albergan las presas más grandes del mundo, tanto las naturales como las hechas por el hombre. La presa natural más alta, que en algunas partes alcanza casi los 600 m de altura, retiene el Lago Sarez, en Tayikistán, el cual almacena cerca de 17 kilómetros cúbicos de agua. Si una presa de esta magnitud falla podría desatar un desbordamiento del lago, con efectos devastadores para las comunidades de las tierras bajas en varios miles de kilómetros a la redonda. Los empinados y estrechos ríos de montaña no logran atenuar la descarga, lo que puede dar lugar a peligrosas inundaciones repentinas. La erosión a largo plazo en las montañas moldea constantemente nuevos paisajes, incluyendo retazos de tierra plana que pueden parecer adecuados para el asentamiento, el uso agrícola y la construcción de infraestructura. Pero desde el punto de vista geológico, estos nuevos paisajes, hechos de sedimentos almacenados, son efímeros y propensos a removerse repentinamente; el piso sobre el que descansan los valles puede ser arrasado en un instante por un torrente de agua, sedimentos, biomasa y desechos humanos en inundaciones y flujos de escombros. Incluso el mayor tsunami del que

se tiene registro tuvo su origen en un paisaje de montaña: un desprendimiento masivo de rocas que entró a la Bahía Lituya en los fiordos de Alaska en 1958 desencadenó una ola de desplazamiento catastrófica que fue a dar hasta el fiordo opuesto a una altura superior a los 500 m. En pocas palabras: la diversidad de las amenazas naturales en las zonas de montaña no tiene paralelo (Figura 4.1).

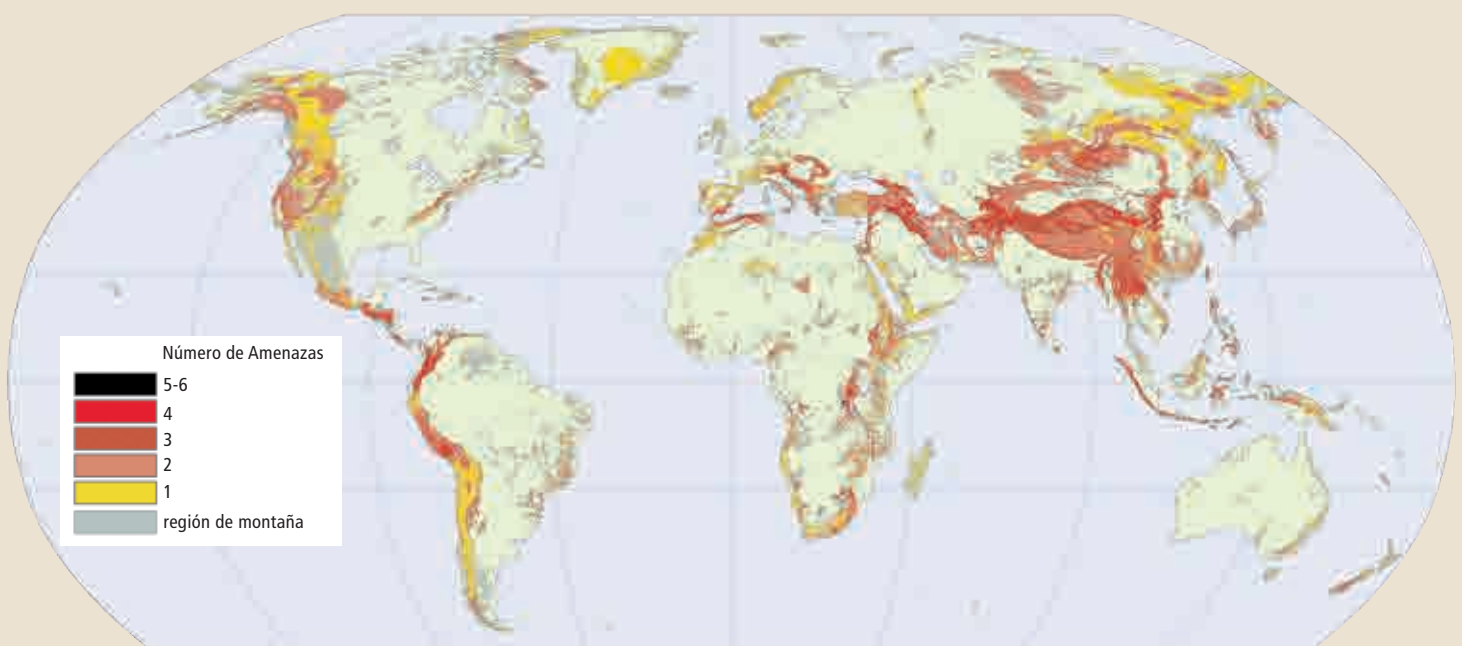
Las montañas son paisajes naturalmente activos, y en términos de asentamiento a menudo se les considera demasiado empinados o susceptibles a amenazas. No obstante, con la presión del crecimiento poblacional, la expansión humana en estos terrenos es cada vez más común, aumentando el número de personas en situación de riesgo ante amenazas naturales. Esto no es sólo un fenómeno rural. Por ejemplo, se considera que ya alrededor del 40 por ciento de las personas que viven en las ciudades más grandes del mundo están expuestas a un riesgo moderado de deslizamientos de tierra, una cifra significativa si se tiene en cuenta que ahora más de la mitad de la humanidad vive en las ciudades. En particular, la población pobre de las urbes a menudo está siendo empujada hacia un terreno más escarpado que apenas si es apto para vivienda. Cabe destacar que, de 1950 a 2010, la mayor parte del crecimiento de la población urbana se produjo en zonas empinadas o montañosas entre los 500 y 1 500 metros [1].

Los factores socioeconómicos, incluyendo los cambios demográficos, influyen en la vulnerabilidad y en el grado de exposición, mientras que el cambio climático influye en la frecuencia y magnitud de las amenazas. Los cambios proyectados en la temperatura, los vientos y las precipitaciones probablemente afecten el ciclo del agua y, por ende, la distribución de la nieve, el hielo y el agua en los cinturones de montañas [2]. El retroceso de los glaciares expone paisajes de lecho rocoso abruptamente tallados, sometidos a grandes cantidades de agua de deshielo y sedimentos, lo que ocasiona intermitentes deslizamientos de tierra, inundaciones y flujos de escombros.

Mensajes sobre políticas

- Las inundaciones, flujos de escombros, avalanchas y deslizamientos de tierra son algunas de las amenazas más sensibles al cambio climático en las regiones de montaña.
- Lo más probable es que el número de personas afectadas por estas amenazas aumente en el futuro.
- La construcción de capacidades y la gestión integral de riesgos puede fortalecer la resiliencia de la comunidad y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones que habitan en las montañas

Figura 4.1. Mapa de las regiones de montaña afectadas por conjuntos de amenazas



La mayoría de las zonas montañosas se ven afectadas por múltiples amenazas, lo cual magnifica el total de los impactos negativos globales. Los riesgos que se tienen en consideración son: terremotos, incendios, conflictos humanos, sequías, impactos sobre la infraestructura, y el cambio climático (Mapa: Cortesía del Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente de PNUMA, Mountain Watch 2002)

Amenazas naturales, riesgos y desastres

Las amenazas naturales aparecen cuando las actividades humanas se cruzan con procesos geológicos, hidrológicos, biológicos o naturales de otros tipos.

Una *amenaza* puede entenderse como la probabilidad de que cierto impacto adverso ocurra dentro de una región y un período determinados. El *riesgo*, en cambio, puede entenderse como la pérdida promedio que se espera de una amenaza en particular, medida ya sea anualmente o de otra forma. El riesgo se calcula a menudo como el producto matemático de la amenaza, la vulnerabilidad (o el potencial de afectación) y el valor de los elementos en riesgo. La gestión integral de riesgos y desastres comprende conjuntos de acciones estratégicas destinadas a reducir el riesgo. Esto se puede lograr disminuyendo las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición (el número de elementos expuestos a una amenaza), o mediante cualquier combinación de ellos. Por último, el término *desastre* se refiere a las consecuencias negativas de las amenazas naturales, por ejemplo daños estructurales importantes o pérdida de vidas.

¿El cambio climático está aumentando las amenazas?

El comienzo del siglo XXI ya ha experimentado varios de los años más cálidos y húmedos desde que comenzaron las observaciones instrumentales del clima [3]. Los veranos excepcionalmente calientes de 2003 y 2010 registraron un aumento en la caída de rocas desde los picos de los Alpes europeos, agudizando la preocupación



Daños provocados por inundación y flujo de escombros, Leh, India (O. Korup)



Depósitos de desprendimiento de rocas, Alpenrhein, Suiza (O. Korup)

generalizada sobre la degradación del permafrost como una posible causa de las extensas fallas en la estabilidad de los taludes rocosos. Tormentas monzónicas atípicas provocaron devastadoras inundaciones repentinas y flujos de escombros en Pakistán, India y China, cobrando la vida de miles de personas y destruyendo más de dos millones de hogares. ¿Están estas y otras amenazas aumentando en las regiones de montaña a causa del cambio climático? Procesos como las fallas en los taludes, y las inundaciones o avalanchas son sumamente episódicos, por lo que constituye todo un desafío distinguir una señal clara de cambio climático a partir de nuestras observaciones; es una tarea que requiere pruebas estadísticas confiables, las cuales pueden ser difíciles de llevar a cabo cuando los inventarios de eventos sólo abarcan unas pocas décadas. Centrarse en eventos poco comunes y de alto poder destructivo puede distorsionar la evaluación de las amenazas, pero estos eventos pueden prestarse para un análisis detallado cuando son capturados en archivos sedimentarios o por otros “testigos silenciosos” en el paisaje.

Durante mucho tiempo los científicos se han interesado en brindar su apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la mitigación de las amenazas en los terrenos de montaña. En particular, los investigadores han dado prioridad al estudio de los riesgos asociados con derrumbes, aguas y sedimentos (Figura 4.2). Parece probable que el cambio climático esté alterando la magnitud y frecuencia de las amenazas generadas por el agua, tales como la inestabilidad de las paredes rocosas de permafrost, avalanchas de hielo y fallas en las represas glaciares. Sin embargo, el término “cambio climático” aparece sólo en un 10 por ciento de todas las publicaciones recientes sobre las amenazas en las montañas [4]. Las regiones montañosas en China, Italia, Taiwán, Irán e India se han convertido en el centro

de atención en cuanto a los resultados de las investigaciones. Esto señala los innumerables problemas ocasionados por las altas densidades de población en activas zonas montañosas, así como el peligro de pasar por alto regiones pobremente documentadas cuando se trata de hacer frente a las amenazas naturales.

Tendencias y estrategias de adaptación

Hay ciertas tendencias que son evidentes, a pesar del incompleto registro histórico de los desastres naturales en zonas de montaña, la diversidad de los impactos y la posible falta de documentación en ciertas áreas (Tabla 4.1). Procesos geofísicos como los terremotos y las erupciones volcánicas (y sus consecuencias) han sido responsables de la mayor parte de los daños económicos y la pérdida de vidas humanas en las regiones montañosas desde comienzos del siglo XX. No obstante, las amenazas hidrometeorológicas, tales como tormentas, inundaciones y sequías, han afectado al mayor número de personas, reflejando la tendencia global. Si el registro pasado sirve de alguna indicación, entonces es probable que el impacto del cambio climático en las montañas se sienta más en términos de un número cada vez mayor de personas afectadas. Las estrategias de adaptación deben tener esto en cuenta y prestar la misma atención a cada componente del ciclo de riesgo, es decir, mediante los esfuerzos en materia de prevención, respuesta y recuperación frente a un determinado desastre natural. Los esfuerzos de prevención no implican exclusivamente costosas medidas de ingeniería. Más bien, la vulnerabilidad de las poblaciones de montaña se puede reducir mediante la construcción de capacidades y el fomento de la resiliencia de la comunidad. Por último, la formación en preparación para emergencias es una acción prometedora para la mitigación de los riesgos de amenazas naturales.

País	Porcentaje de pérdida de vidas humanas	Porcentaje de personas afectadas	Porcentaje de daños
Afganistán	Terremoto (65%)	Sequía (83%)	Inundación (67%)
Bután	Inundación (73%)	Tormenta (74%)	Incendio forestal (100%)
Colombia	Volcán (84%)	Inundación (92%)	Inundación (51%)
Japón	Terremoto (90%)	Inundación (45%)	Terremoto (90%)
Kirguistán	Deslizamiento (58%)	Sequía (89%)	Terremoto (79%)
Nepal	Terremoto (61%)	Sequía (60%)	Inundación (76%)
Nueva Zelanda	Terremoto (66%)	Terremoto (97%)	Terremoto (94%)
Papúa Nueva Guinea	Volcán (53%)	Sequía (40%)	Volcán (53%)
Perú	Terremoto (78%)	Terremoto (36%)	Terremoto (48%)
Suiza	Temperaturas extremas (78%)	Inundación (58%)	Tormenta (44%)
Tayikistán	Inundación (77%)	Sequía (58%)	Temperaturas extremas (48%)

Tabla 4.1. Participación relativa (%) de los diez desastres naturales que más daño han causado desde el comienzo del siglo XX para los países montañosos seleccionados. En Afganistán, por ejemplo, el 65% de las personas que perdieron sus vidas por uno de los diez desastres más causantes de daños, fallecieron por terremotos. En general, los desastres asociados con el clima son particularmente notorios. Fuente: [4]

Cambio climático y control de la erosión en Japón

Los ríos de montaña en Japón están ampliamente regulados en términos de energía hidroeléctrica y control de la erosión. Más de 4 000 embalses y un número aún mayor de diques de retención de sedimentos (sabo) ayudan a mitigar las frecuentes inundaciones y flujos de escombros. Muchas laderas de montaña en Japón han sido estabilizadas en repetidas ocasiones usando medidas de ingeniería para reducir las cargas de sedimentos que entran a los ríos. Los escenarios de cambio climático sugieren para el futuro en Japón más eventos extremos de lluvias y el probable aumento de las inundaciones y flujos de escombros.

Yuichi S. Hayakawa
Norifumi Hotta



Flancos del Monte Nantai, en Japón, altamente intervenidos por la ingeniería (Y. Hayakawa)

La frecuencia de lluvias fuertes y prolongadas en Japón ha aumentado un 30 por ciento durante los últimos 30 años (Figura 4.3). La frecuencia anual de desastres por deslizamientos se ha incrementado de manera similar. Las medidas para abordar esto requieren un cuidadoso equilibrio entre mantener las estructuras de gestión de los ríos y proteger los activos en riesgo. El Parque Nacional Nikko, en el centro de Japón, es un destino turístico muy popular, conocido por sus espectaculares paisajes naturales y culturales; sus santuarios y templos han sido designados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Elevándose por encima de este escenario cultural está el Monte Nantai, un estratovolcán de 2 486 m de altura, que ha permanecido dormido desde su última gran erupción hace 14 000 años. Numerosos deslizamientos de tierra y flujos de escombros provenientes de sus flancos han causado daños a las ciudades de las zonas bajas, donde viven unos 60 000 habitantes. Es probable que este tipo de acontecimientos aumenten, a medida que se intensifican las lluvias extremas. Para prevenir futuros desastres, durante el último siglo se han instalado decenas de sabo, lo que requiere mantenimiento y actualización constantes. Aun así, los deslizamientos de tierra podrían destruir estos esfuerzos de largo plazo para el control de la erosión. El exceso de sedimento en los canales de los ríos, proveniente de los deslizamientos (una consecuencia prevista del cambio climático), podría aumentar el índice de escorrentía de tal manera que las inundaciones degraden los lechos de los canales y debiliten los diques de contención hasta el punto de que estos caigan como las perlas de un collar. De hecho, los ríos de montaña que han sido altamente intervenidos por





Huellas de un deslizamiento de tierra, Península de Kii, Japón (O. Korup)



Presa de retención de sedimento, en los Alpes japoneses (O. Korup)

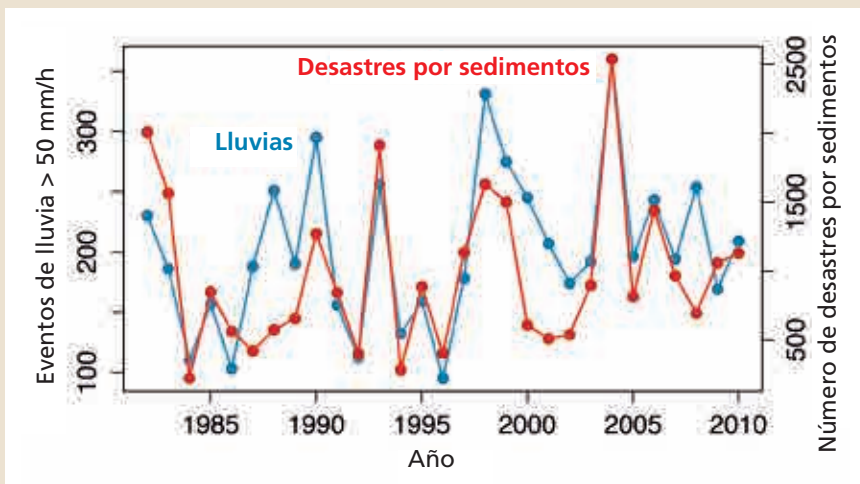


Figura 4.3. Los fuertes episodios de lluvias, así como destructivos movimientos masivos de sedimentos, parecen haber incrementado ligeramente en Japón entre 1982 y 2010. Fuente: [1]

la ingeniería y que están sujetos a eventos de lluvias e inundaciones extremas, son especialmente vulnerables al cambio climático. La vulnerabilidad al cambio climático de los esfuerzos que ha realizado Japón en el tema de gestión de cuencas se ve incrementada por tendencias más amplias, como el descenso y envejecimiento de la población del país y las recientes crisis financieras.

Inundaciones monzónicas atípicas en la cordillera Transhimalaya en India

En los agrestes desiertos de alta montaña de las cordilleras de Ladakh y Zaskar, la gente prefiere vivir cerca de los ríos, ya que estos suministran el agua necesaria para sostener una sofisticada irrigación, haciendo posible la presencia de exuberantes oasis en valles áridos, los cuales sirven como centros de actividad económica y agrícola. No obstante, estos asentamientos cerca de los ríos pueden ser vulnerables a inundaciones y flujos de lodo y otras amenazas que podrían agudizarse con el cambio climático.

Jan Blöthe
Henry Munack



Daños por inundación repentina en Leh, ciudad capital de Ladakh (A. Stolle)

La población de Ladakh se ha más que duplicado desde la década de 1970, empujando los asentamientos periféricos hacia un terreno con mayor actividad geológica y poniendo en peligro los medios de subsistencia y la infraestructura. Las tierras fronterizas de la cordillera Transhimalaya, objeto de disputa entre India, Pakistán y China, también han experimentado un crecimiento masivo del turismo de verano en las últimas décadas, recibiendo hasta 180 000 visitantes al año, al punto de que el turismo se ha convertido en la fuente de ingresos más importante de la región.

La época de verano en la región es también el tiempo de los monzones, los cuales llevan la mayor parte de la exigua precipitación anual en la región (unos 100 mm). Sin embargo, el calentamiento global parece estar afectando la duración e intensidad de los monzones de verano en Asia del Sur. Durante la última década, la región experimentó varios años de eventos de lluvia extremadamente intensos. Los más devastadores ocurrieron durante las noches del 4 al 6 agosto de 2010, cuando las celdas de tormentas monzónicas descargaron en menos de unas cuantas horas más de la mitad





Uno de los muchos oasis de la cordillera Transhimalaya en el valle del Río Indo (O. Korup)

de la precipitación anual media de la región. Las lluvias torrenciales provocaron inundaciones y destructivos flujos de escombros, con niveles pico de descarga de hasta 100 veces la capacidad de flujo de los canales de río. Más de 250 personas murieron, más de 70 aldeas sufrieron daños graves, y las principales rutas de tráfico quedaron bloqueadas durante semanas, interrumpiendo las conexiones vitales de muchas pequeñas comunidades de montaña.

Estos eventos fueron una llamada de alerta sobre la necesidad de hacer una evaluación crucial de las amenazas que se derivan de las lluvias monzónicas atípicas. Tales eventos pueden ocurrir con mayor frecuencia en el futuro, por lo que es crítico que la atención pública continúe centrada en las formas de mitigar estos sucesos o de prepararse para ellos.

Reduciendo la vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos en la región Indo Himalaya

La región Indo Himalaya es altamente vulnerable a diversas amenazas y riesgos causados por extremos climáticos. El cambio climático y los nuevos asentamientos son factores que están alterando las características de este tipo de riesgos. Acontecimientos recientes como las inundaciones monzónicas y los subsecuentes deslizamientos de tierra en Kedarnath (2013) y Cachemira (2014), que condujeron a cientos de muertes y miles de desaparecidos, revelan la terrible cuota que los eventos extremos pueden imponer a las comunidades de montaña.

Nadine Salzmann
Janine Kuriger
Shirish Sinha
Kirtiman Awasthi
Mustafa Ali Khan



Vista del valle con el Templo de Kedarnath al fondo, después de la inundación repentina y el deslizamiento de tierra de 2013 (M. Dwivedi)

Con el fin de reducir la vulnerabilidad de las personas que viven en zonas montañosas en riesgo, el gobierno de India está llevando a cabo un diagnóstico integral de vulnerabilidad, riesgos y amenazas, la cual abarca los 12 Estados Indo Himalayas. La evaluación servirá como una base importante para priorizar, planear e implementar medidas de adaptación a nivel estatal y subnacional (Figura 4.4).

El Programa Adaptación Climática Indo Himalaya (IHCAP) de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) apoya activamente estos esfuerzos, compartiendo la reconocida experticia de Suiza en lo concerniente a las amenazas y riesgos de carácter climático en las regiones de montaña. Como parte de los esfuerzos de colaboración entre India y Suiza, los cuales involucran al estado de Himachal Pradesh y a las instituciones de estos dos países, el IHCAP está llevando a cabo un diagnóstico integral de vulnerabilidad y riesgos para el distrito de Kullu. El conocimiento y la experiencia adquiridos a partir de estudios piloto en Kullu contribuirán al desarrollo de un marco común para la evaluación integral de la vulnerabilidad, riesgos y amenazas para la región Indo Himalaya.





Templo de Kedarnath en Uttarakhand, India, después de haber sido azotado por inundaciones repentinas en 2013 (M. Dwivedi)



Figura 4.4. Proceso y productos que se espera obtener de los estudios colaborativos Indo Suizos en el Distrito de Kullu, en Himachal Pradesh

El elusivo pasado de Pokhara

Los eventos geomorfológicos extremos son demasiado raros como para que se vean reflejados en nuestros registros instrumentales. Pero un análisis de sedimentos en el Valle de Pokhara revela indicios de un devastador deslizamiento de tierra hace 800 años, probablemente uno de los más grandes que han ocurrido en los Himalayas. La degradación del permafrost y el derretimiento de los glaciares, asociados al cambio climático, ¿aumentarán la probabilidad de que ocurran desastres como estos en el futuro?

Wolfgang Schwanghart
Anne Bernhardt
Amelie Stolle



Terrazas formadas por depósitos prehistóricos de flujo de escombros, Seti Khola, Nepal (W. Schwanghart)

La segunda ciudad más grande de Nepal, Pokhara, donde viven más de 300 000 habitantes y a la que acuden más de 800 000 turistas al año, está construida sobre extensos depósitos de sedimentos que pueden haberse formado durante un catastrófico deslizamiento de rocas y escombros hace unos 800 años. De ser cierto, este evento sería uno de los deslizamientos más grandes y más recientes que se hayan registrado en los Himalayas. Remitiéndonos a nuestros tiempos, o más específicamente a mayo de 2012, Pokhara fue azotada por otro tipo de desastre: una inundación repentina que desbordó las riberas del Río Seti, la principal arteria fluvial de Pokhara, causando estragos y arrebatando la vida de más de 70 personas. En ese momento los habitantes aseguraron que nunca antes había sucedido algo parecido en Pokhara.

Pero, según están descubriendo los investigadores, los sedimentos debajo de Pokhara cuentan una historia diferente. Capas de grava y bloques de hasta 100 m de espesor ocupan gran parte del valle de Pokhara. Los lechos de turba en estos depósitos parecen haberse agrupado hace aproximadamente 800 años, lo que sugiere un catastrófico deslizamiento de tierra o flujo de escombros alrededor de esa época, incluyendo varios kilómetros cúbicos de sedimento que represaron a afluentes del Río Seti y formaron lagos, siete de los cuales todavía existen hoy en día. Sorprendentemente,





Pokhara, con el Machapuchare (6 993 m) al fondo, Nepal (T. Kohler)

todos estos depósitos comparten la misma fuente: el Circo Sabche, una vasta depresión rellena con escombros, que se extiende entre los imponentes picos Himalayas de Machapuchare y el Annapurnas II-IV. Este circo también generó la inundación del río Seti en 2012, la cual fue ocasionada por un repentino desbordamiento de un lago de deshielo estancado detrás de una avalancha de hielo. Los aumentos de temperatura, el deterioro del permafrost y el derretimiento de los glaciares, todos ellos asociados con el cambio climático, pueden hacer que los picos del Himalaya sean más inestables en el futuro, probablemente causando nuevas inundaciones súbitas originadas en el Circo Sabche. La evidencia de catástrofes relacionadas con flujos de escombros desde este circo en la edad media, plantea la posibilidad de que Pokhara sea azotada en el futuro por flujos de escombros e inundaciones repentinas cuya magnitud sobrepase por mucho el evento de 2012.





Biodiversidad en las montañas



La biodiversidad en las montañas: patrimonio natural amenazado

Las zonas de montaña son puntos focales de la diversidad biológica global, ya que albergan aproximadamente la mitad de los puntos calientes (hotspots) de biodiversidad del mundo. Los gradientes altitudinales, los cambios de aspecto y las variaciones en geología y suelos que se encuentran en las montañas hacen posible que muchos hábitats diferentes coexistan muy cerca unos de otros.

Katrin Rudmann-Maurer
Eva Spehn
Christian Körner

Bosque de eucaliptos, Snowy Mountains, Australia (Ch. Körner)

Las montañas son el hábitat de muchas plantas y animales endémicos, es decir, especies que no se dan en ninguna otra parte. Las montañas tropicales y subtropicales están entre los principales centros de diversidad de especies vegetales, e incluyen áreas en Costa Rica y Panamá, los Andes orientales tropicales, los Andes subtropicales, los bosques atlánticos de Brasil, la región oriental del Himalaya-Yunnan, el norte de Borneo, Nueva Guinea y África Oriental. Las montañas de América tropical y subtropical, por ejemplo, albergan más de 90 000 especies de plantas con flores (Figura 5.1). Las epífitas, tales como musgos y helechos, son ejemplos sobresalientes de la riqueza de especies en las montañas: se estima que la diversidad de musgos que se encuentra en los cinco países tropicales de los Andes es siete veces mayor que la de toda la cuenca amazónica.

Bosques de montaña y servicios ecosistémicos

Los bosques naturales de montaña son reservas vitales de especies. Los bosques nublados tropicales de hoja perenne, en particular, son muy ricos en especies endémicas, pero a la vez son los tipos de bosques de montaña más frágiles y más disminuidos. Los bosques de montaña son también proveedores de servicios ecosistémicos esenciales, como por ejemplo los recursos de agua dulce o la protección contra amenazas naturales. Muchas de las ciudades más grandes del mundo dependen de los recursos hídricos suministrados por los ecosistemas de montaña. Pero los servicios ecosistémicos interactúan de forma dinámica, y los esfuerzos que se hacen para proteger un tipo de servicio pueden ocasionar pérdidas para otro. Por ejemplo, la tala de un bosque de montaña para aprovechar su valor como madera puede ocasionar una pérdida de protección contra los deslizamientos de tierra.

Agrobiodiversidad: garantía de seguridad alimentaria

Las montañas son importantes centros de agrobiodiversidad, pues albergan una amplia variedad de cultivos y ganado adaptados a las condiciones locales. Estas variedades son un recurso genético crucial y contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria para la creciente población mundial. En los bancos de genes de organizaciones tales como el Centro Internacional de la Papa se pueden encontrar muchos cultivos de montaña; sus reservas, destinadas a preservar la agrobiodiversidad, incluyen papas, batatas, y raíces y tubérculos andinos. Es frecuente que los cultivares o las razas de ganado que han estado durante más tiempo en las regiones de montaña estén mejor adaptados a su clima extremo y su topografía y sean más aptos para mantener los medios de vida de los agricultores de montaña bajo las condiciones del cambio climático.

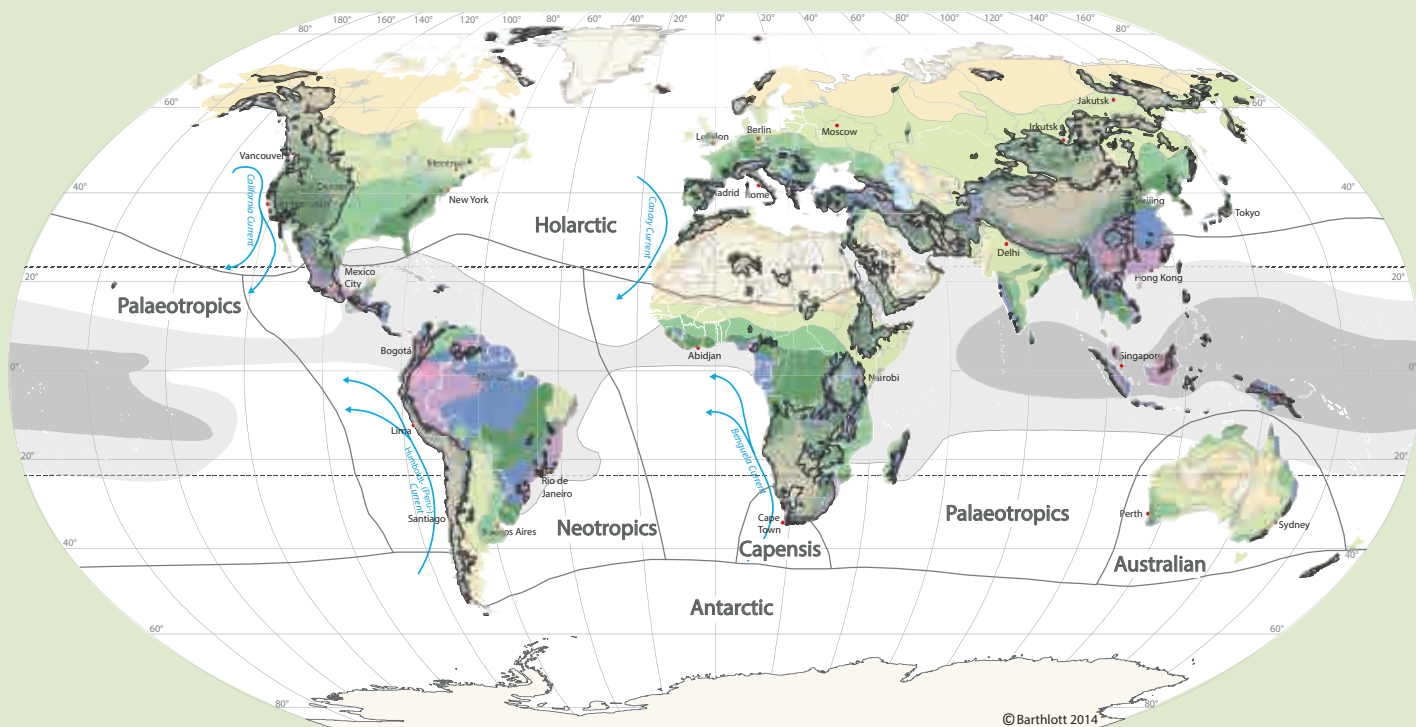
El cambio climático: ¿una amenaza para la biodiversidad de las montañas?

La expansión e intensificación del uso de la tierra es una gran causante de la pérdida de biodiversidad en las zonas montañosas, además del cambio climático, el cual se percibe cada vez más como una de las mayores amenazas para la biodiversidad de las montañas. Las temperaturas atmosféricas han venido aumentando en todo el mundo, con diferencias de magnitud a nivel regional. Para no extinguirse, los organismos individuales deben bien sea escapar, o adaptarse a las cambiantes condiciones ambientales (Figura 5.2). Por ejemplo, ciertas especies de mariposas han estado emigrando al norte, o hacia mayores altitudes, para escapar de temperaturas cada vez más elevadas. Las plantas, por supuesto, no pueden migrar tan rápidamente como los animales. Sin embargo, se han encontrado desplazamientos

Mensajes sobre políticas

- Las múltiples zonas climáticas, junto con los gradientes y la variada topografía que se encuentran en las montañas, permiten que estas alberguen en distancias cortas un alto grado de biodiversidad y muchas especies endémicas. Los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad deben seguir prestando especial atención a las regiones de montaña.
- La variada topografía de las montañas puede permitir que ciertas especies adaptadas al frío encuentren refugios cercanos en un mundo cada vez más caliente.
- Los ecosistemas de montaña prestan servicios esenciales a la humanidad. No se deben escatimar esfuerzos para preservar su biodiversidad. No obstante, los objetivos de protección de la biodiversidad podrían entrar en conflicto con los de producción de alimentos, y el cambio climático podría agravar este dilema.

Figura 5.1. Biodiversidad global y regiones de montaña: Número de especies de plantas vasculares desde una perspectiva regional (100x100 km)



Proyección de Robinson
Paralelos estándar a 38° N and 38° S

Zonas de diversidad (ZD), número de especies de plantas vasculares por 10 000 Km²

- > 27° C Temp. superficial del mar
- > 29° C Temp. superficial del mar
- Corrientes oceánicas frías
- ☒ Montaña y tierras altas > 1 000 m sin Groenlandia y la Antártida

- | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| ■ ZD 1 (<100) | ■ ZD 5 (1000–1500) | ■ ZD 9 (4000–5000) |
| ■ ZD 2 (100–200) | ■ ZD 6 (1500–2000) | ■ ZD 10 (> 5000) |
| ■ ZD 3 (200–500) | ■ ZD 7 (2000–3000) | |
| ■ ZD 4 (500–1000) | ■ ZD 8 (3000–4000) | |

W. Barthlott, M.D. Rauppoor, y J. Mutke 2014, modificado por W. Barthlott, G. Kier, H. Krefl, W. Küper, M.D. Rauppoor, y J. Mutke 2005 y por W. Barthlott, W. Lauer, y A. Placke 1996 Instituto Nees para la Biodiversidad Biológica Vegetal Universidad de Bonn Representación de las montañas: CDE, Universidad de Berna



Pradera de montaña en el Puerto de Furka, Suiza, 2 500 m (Ch. Körner)

tos ascendentes entre ciertas especies de plantas [1], mientras que otras se han adaptado a severos cambios climáticos. Muchas plantas de montaña muestran una reducida tolerancia de hábitat; se asume a menudo que esto las hace más vulnerables frente a condiciones cambiantes. No obstante, por encima de la línea arbórea, la riqueza topográfica de las montañas también provee un mosaico de temperaturas entre los micro hábitats encontrados en distancias cortas, en los cuales las condiciones varían más que el cambio de temperatura pronosticado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Esto ofrece un espacio para “refugios climáticos” o escalones, y los organismos que viven a gran altitud no siempre necesitan migrar muy lejos para encontrar un nuevo hábitat que sea apto para ellos. Cuando las temperaturas atmosféricas globales aumenten en 2 °C, el número de hábitats más frescos se reducirá, produciendo un efecto de apiñamiento y una mayor competencia entre algunas especies por las zonas más frescas restantes; al mismo tiempo, sin embargo, otros tipos de hábitat se volverán más abundantes [2]. Esto afectará tanto a la diversidad de especies de plantas como a la diversidad animal. Para las especies vegetales los hábitats alpinos podrían resultar más atractivos que los de las tierras bajas, debido a que su topografía proporciona micro hábitats favorables. No obstante, ciertas especies poco comunes pueden salir perdiendo a largo plazo en la competencia por espacio, especialmente las que favorecen los climas más frescos.

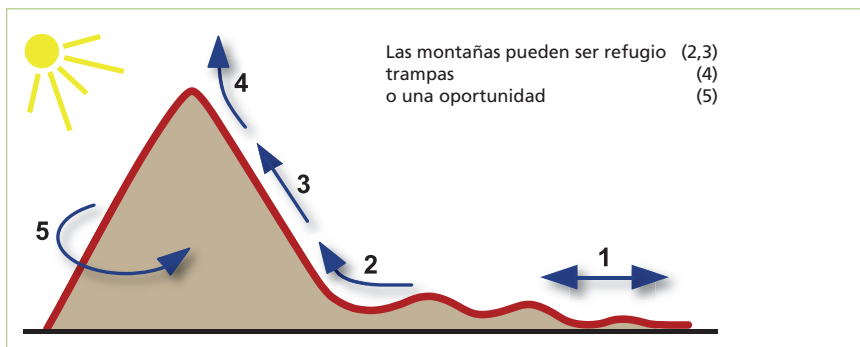


Figura 5.2. Las especies responden al calentamiento global. Las montañas pueden representar: refugio para las especies que ascienden (2, 3); trampas que conducen a la extinción local cuando no es posible ningún movimiento hacia arriba (4); o una oportunidad para escapar de temperaturas más elevadas aprovechando la topografía (por ejemplo, “moviéndose alrededor de la esquina”) (5). Las especies de las tierras bajas a menudo tienen que recorrer grandes distancias para encontrar un hábitat adecuado en respuesta al cambio climático (1). Figura modificada de [4]

El valor de la biodiversidad

A menudo es más fácil obtener apoyo para la protección de cosas que poseen un valor monetario reconocido. Pero la biodiversidad no puede ser asimilada fácilmente en términos económicos. Evidentemente, algunos cultivos de montaña, como por ejemplo el café o el té, sí tienen un valor económico reconocido. Pero ¿cuál es el valor exacto de una planta alpina o de una mariposa? La mayoría de las especies son componentes importantes de ecosistemas de los cuales la humanidad se beneficia directa o indirectamente, por ejemplo mediante los servicios ecosistémicos. Asignar un valor económico específico a cada especie o a cada servicio del ecosistema es casi imposible. Por ejemplo, mantener una cobertura vegetal diversa es prácticamente la única forma sostenible de prevenir la erosión del suelo bajo condiciones y fuerzas ambientales impredecibles. Los bosques de los Alpes europeos requieren un alto nivel de biodiversidad para proporcionar a largo plazo una función de protección contra deslizamientos, caída de rocas y aludes. La protección que provee un bosque de montaña biodiverso hace que sea posible mantener los asentamientos, las rutas de transporte y la infraestructura técnica.

La necesidad de conciliar los objetivos de conservación y de desarrollo

La gestión de la biodiversidad de montaña es cada vez más reconocida como una prioridad global. A nivel mundial, las áreas protegidas han aumentado por lo menos siete veces en los últimos 40 años, principalmente en las zonas montañosas. Sin embargo, es necesario continuar realizando consistentes esfuerzos de conservación, con el fin de alcanzar el objetivo trazado para 2020, de reducir la pérdida de biodiversidad. El cambio climático puede generar más presión para la conservación. Pero el cambio climático también podría aumentar la demanda por el uso intensivo de recursos en las montañas, ya que las tierras bajas cercanas podrían estar expuestas a inundaciones y a temperaturas más elevadas que erosionan las condiciones locales para vivienda [3]. De esta manera, el objetivo de conservación de la biodiversidad y el objetivo de producción de alimentos a menudo parecen estar en contraposición dentro de ciertos escenarios. Una manera de conciliar los objetivos de conservación de la biodiversidad y los objetivos de desarrollo es involucrar a la población local en la tarea de administrar su patrimonio natural. En lugar de aumentar o expandir las áreas protegidas, muchos analistas consideran como alternativa prometedora crear paisajes de conservación en los que, a la vez que se mantiene la biodiversidad, se apoya la actividad agropecuaria diversificada, a pequeña escala, particularmente en África. No obstante, se requieren estrategias diferentes de uso y manejo de la tierra para atender las necesidades de regiones montañosas altamente desarrolladas, como los Alpes europeos, en comparación con las que parecen existir en un estado más natural y primitivo, como los Andes patagónicos.

Irán: Hábitat de una flora única amenazada por el calentamiento global

Localizadas a altitudes por encima de los 3 600 a 3 900 m, las zonas subnivales y nivales de Irán están distribuidas de manera altamente fragmentada a lo largo de los montes Elburz, la cordillera Zagros y el noroccidente de Irán. La vida vegetal en estas zonas se está viendo amenazada por el calentamiento global.

Jalil Noroozi



Monte Damavand, 5 671 m, Irán (J. Noroozi)

En áreas diminutas dispersas a lo largo de los paisajes montañosos del país, las zonas subnivales y nivales de Irán (Figura 5.3) se encuentra el hábitat de 151 especies de plantas vasculares, de las cuales 51 pueden considerarse verdaderas especies subnivales-nivales. Sólo se dan en estas zonas, y el 68 por ciento de ellas son endémicas de Irán (Figura 5.4). La proporción de especies endémicas se reduce dramáticamente a medida que se desciende en altitud: sólo el 53 por ciento de las especies que se dan entre las zonas subnivales-nivales y alpinas de Irán son endémicas; la proporción de especies endémicas se reduce aún más, hasta el 20 por ciento de todas las especies que se encuentran entre las zonas subalpinas y subnivales-nivales. Por lo tanto, las especies que tienen una distribución vertical estrecha, restringida a altitudes elevadas, a menudo también presentan una distribución estrecha en términos geográficos. Por el contrario, las especies caracterizadas por una mayor distribución altitudinal con frecuencia se encuentran también ampliamente distribuidas a nivel geográfico.

En general, el nivel de endemismo es muy alto en las zonas altas de Irán, semejantes a las zonas montañosas que se encuentran alrededor de la cuenca del Mediterráneo, tales como los Apeninos centrales, la Sierra Nevada o la Cordillera del Atlas. Esto parece ser principalmente el resultado de una fragmentación de zonas frías y un marcado aislamiento orográfico en épocas más recientes, así como tam-



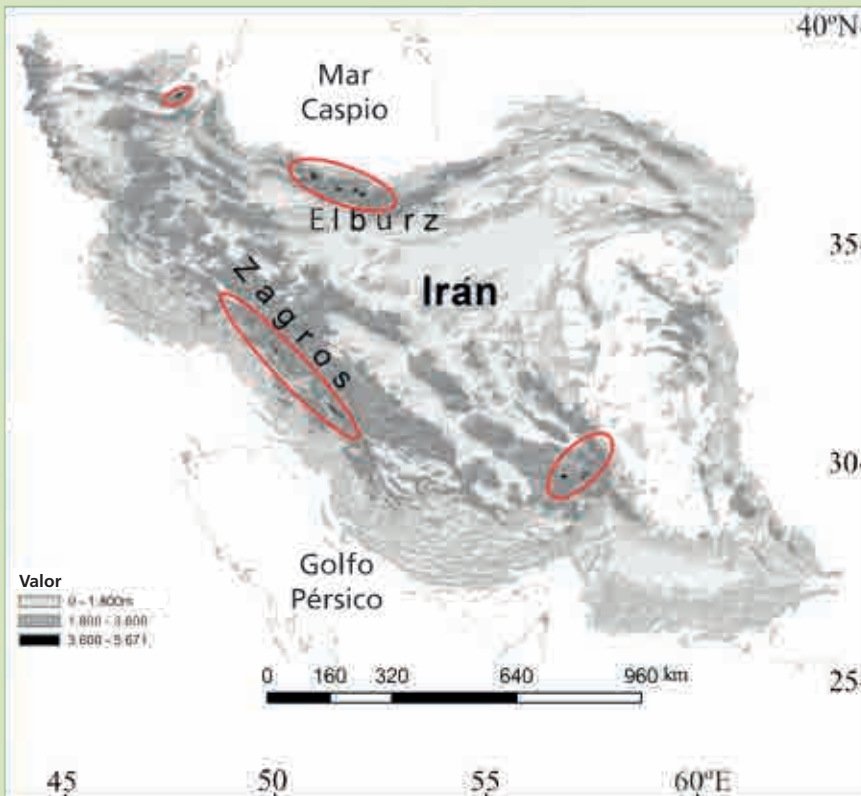


Figura 5.3. Las zonas montañosas de Irán (en color gris) y la distribución de su zona subnival-nival (manchas negras individuales en los círculos rojos). Modificado de [1]

bién un resultado de la ausencia de una glaciación extensa durante el Pleistoceno. El pequeño tamaño de los hábitats fríos en Irán y la estrecha distribución de su flora de montaña adaptada al frío hacen que muchas de estas plantas sean altamente vulnerables al cambio climático, a tal punto que el aumento de las temperaturas podría causar su extinción. Muy pocas áreas protegidas en el país abarcan hábitats subnivos. Salvaguardar la flora montañosa vulnerable de Irán requerirá la expansión de las áreas altas protegidas.

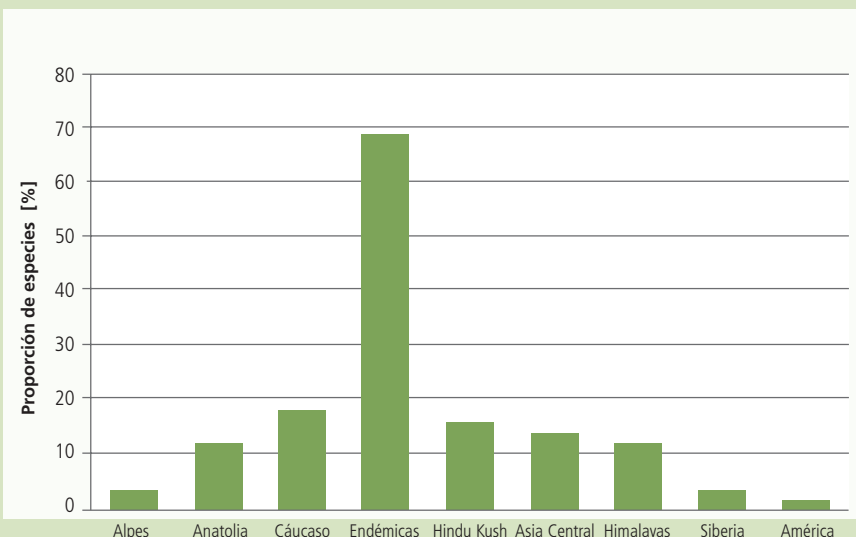


Figura 5.4. Distribución mundial de las especies de plantas que en Irán se encuentran únicamente en su zona subnival-nival. Acá se muestra el porcentaje de especies que son endémicas de Irán o que también existen en otras cadenas montañosas y en otras zonas del planeta: el 68% de estas especies existe únicamente en Irán, mientras que el 4% también ocurre en los Alpes europeos, etc. Modificado de [1]

Lecciones aprendidas

- En las cumbres más altas de las montañas de Irán hay un alto endemismo. Entre las especies de plantas que se producen únicamente en las zonas subnivas-nivales de las montañas iraníes, el 68 por ciento son endémicas de Irán.
- Estas especies son altamente vulnerables al calentamiento global, lo que podría causar su extinción.



Androsace villosa en el Monte Alam Kuh, 3 800 m, Irán (J. Noroozi)

Manejo de zonas de pastoreo resilientes al clima en las tierras altas de Etiopía

El sobrepastoreo de las tierras altas de Etiopía es causante del 20 por ciento de la erosión anual del suelo en el país [1], y especies vegetales que son esenciales están desapareciendo de los terrenos, principalmente debido al libre pastoreo. Los esfuerzos para mejorar la gestión del acceso a las zonas de pastoreo comunales pueden apoyar la conservación de la biodiversidad y aumentar la resiliencia de las comunidades al cambio climático.

Lemlem Aregu
Ika Darnhofer
Maria Wurzinger



Aldea en las tierras altas de Etiopía. En la parte inferior derecha se ven las reservas de heno (M.Wurzinger)

A pesar de que muchas comunidades de las tierras altas de Etiopía permiten el libre pastoreo, la comunidad Kuwalla en la región de Amhara al norte de Etiopía utiliza un sistema rotacional para manejar sus pastos comunales. La comunidad desarrolló este sistema después de reconocer los impactos negativos del sistema de libre acceso, el cual practicaban hasta 1990. Se produjo una severa erosión del suelo y la formación de cárcavas o zanjas condujo a la pérdida de tierras de pastoreo. Los pastos sufrieron una degradación severa y el número cada vez menor de especies vegetales ya no proporcionaba una nutrición adecuada para los bueyes, un activo crucial requerido en las labores de labranza.

Tres factores principales permitieron a la comunidad revertir la tendencia negativa. En primer lugar, los líderes tradicionales vieron la necesidad de un cambio y movilizaron a la comunidad, aprovechando sus habilidades, conocimiento y autoridad como "padres de los pastores". En segundo lugar, se creó una institución local que permitía a los miembros de la comunidad discutir y revisar las normas que regían el acceso a los pastos comunales y su utilización. Las normas se adaptaron con base en la experimentación, con cerramientos que aseguraran la regeneración de los pastos. En tercer lugar, la comunidad colaboró con los organismos gubernamentales, asegurando su respaldo para hacer cumplir las normas, impidiendo por ejemplo el paso del ganado de los pueblos vecinos y a la vez protegiendo la autonomía local. Estas medidas contribuyeron a reducir la presión de pastoreo y permitieron la regeneración de los pastos.



Este caso muestra que un manejo eficaz de las zonas de pastoreo basado en la comunidad puede hacer posible que crezcan de nuevo valiosas especies de forrajes, lo que garantiza un suministro adecuado de alimento para los bueyes y las vacas (ver Tabla 5.1), especialmente durante temporadas críticas del año. Unas normas adecuadas también pueden ayudar a las comunidades de agricultores a hacer frente a la variabilidad del clima [2] y al cambio climático, ya que el acceso a los pastos se establece con base en los patrones de lluvia. Esto permite el uso focalizado de los pastos en función de las etapas de rebrote o crecimiento y en los niveles de mezcla de especies.



Trilla tradicional de los cultivos cosechados, con la ayuda del ganado (M. Wurzinger)

Antes del cerramiento		Después del cerramiento	
Especie	Valor alimenticio	Especie	Valor alimenticio
<i>Snowdenia polystachya</i> (Muja)	Bajo	<i>Cynodon dactylon</i> (Serdo)	Alto
<i>Sporobolus natalensis</i> (Murgn)	Bajo	<i>Snowdenia polystachya</i> (Muja)	Alto
<i>Trifolium</i> spp (Wajima)	Medio	<i>Andropogon abyssinicus</i> (Gaja)	Alto
		<i>Medicago polymorpha</i> (Mesobei)	Alto
		<i>Sporobolus natalensis</i> (Murgn)	Alto
		<i>Trifolium</i> spp (Wajima)	Alto
		<i>Eleusine floccifolia</i> (Arma)	Medio
		Armetmato (NI)	Medio
		<i>Pennisetum</i> sp	Alto
		<i>Cyperus rigidifolius</i> (Engecha)	Alto
		<i>Hyparrhenia dregeana</i> (Zeba)	Medio
		<i>Lanceolata minor</i> (Gorteb)	Medio
		<i>Arthraxon prionodes</i> (Yekok Sar)	Medio

Tabla 5.1. Especies de plantas que se regeneran gracias a la introducción de un sistema de pastoreo rotacional, y valor de estas especies como forraje (de acuerdo con la comunidad)

NI: El nombre científico de la especie no está identificado. Fuente: [4]

Cómo perciben el cambio climático los agricultores de las tierras altas de Etiopía

“En los últimos tiempos estamos experimentando cambios en las precipitaciones. Las lluvias kiremt, que son nuestra principal temporada de cultivos, solían comenzar a principios de julio y terminar a principios de octubre, y llovía todos los días o cada dos días. En estos tiempos, nunca se sabe. Algunos años, llegan a comienzos de junio y finalizan a principios de septiembre; otros años, llegan a finales de julio y continúan hasta el final de octubre. A veces la lluvia cesa en medio de la temporada, durante una o dos semanas. Es decir, que ya no se puede confiar en la lluvia”.

Comentario de un anciano en una discusión de grupo focal, octubre de 2012



Campeño visitando su plantación de árboles de forraje, Etiopía (M. Wurzinger)

Si bien la gestión de las zonas de pastoreo ha mejorado, no se puede decir lo mismo de la equidad de género, ya que las mujeres están excluidas de la institución que rige estos terrenos. Así que sus preferencias no son tomadas en consideración. También se les ha prohibido cosechar ciertas especies de gramíneas utilizadas para elaborar platos o recipientes tradicionales en los que se sirven o almacenan alimentos. Obviamente esto restringe a las mujeres y también perjudica la mezcla de especies en las zonas de pastoreo, ya que ciertas especies llegan a ser demasiado abundantes y desplazan a otras que los animales prefieren pastar [3].

Manejo flexible de las zonas de pastoreo

“Cuando tenemos baja producción de cultivos debido a que llueve menos, nos quedamos sin residuos de cosecha, que es lo que usamos como forraje, y nos toca abrir los pastizales comunales para el pastoreo un poco antes de lo normal, con el fin de alimentar a nuestros bueyes y vacas”.

Miembro del comité de manejo de pastos, octubre de 2012

Lecciones aprendidas

- Es posible garantizar un uso más sostenible de los recursos comunes y aumentar la resiliencia al cambio climático mediante un empoderamiento de las comunidades que estimule el liderazgo y el uso del conocimiento local y promueva plataformas que permitan el aprendizaje y la acción colectiva.
- Se sigue haciendo caso omiso de las mujeres en el manejo de los pastos. Incluir las en la toma de decisiones sobre este tema fortalecería la capacidad de las comunidades para adaptarse con eficacia en tiempos de incertidumbre y mejoraría la justicia social.

Bosques de montaña para conservar la biodiversidad y proteger contra las amenazas naturales

Los bosques de montaña en los Alpes y en otras regiones montañosas ofrecen protección efectiva contra amenazas naturales tales como desprendimientos de rocas, avalanchas y derrumbes superficiales. Fomentar la biodiversidad ayuda a mantener y aumentar las funciones de protección en el largo plazo, especialmente de cara al cambio climático.

Peter Bebi
Frank Krumm



Bosque natural de coníferas en el Parque Nacional de Harz, en Alemania, el cual muestra una alta diversidad estructural de clases de edad y etapas de descomposición (F. Krumm)

Casi el 50 por ciento de los bosques de Suiza brindan protección contra las amenazas naturales. Sin la protección natural que dan los bosques, sería necesario desarrollar otras medidas de protección en zonas muy extensas de los Alpes en las que se encuentra infraestructura importante (por ejemplo las carreteras) [1]. Comparada con otras medidas de protección, la protección natural que proveen los bosques cambia con el paso del tiempo y, por consiguiente, es susceptible a variaciones periódicas o abruptas. Bajo los escenarios proyectados del calentamiento global, es de esperar que aumenten las funciones de protección alrededor de los límites arbóreos sensibles a la temperatura. No obstante, las funciones protectoras de los bosques también podrían verse reducidas drásticamente como resultado de perturbaciones a gran escala, tales como los incendios forestales o las plagas de insectos (se prevé un aumento de ambos como consecuencia del cambio climático). De hecho, uno de los mayores desafíos en la gestión de los bosques de protección es el de entender cómo van a responder a los disturbios y cómo se puede mantener o fortalecer su capacidad para recuperarse después de perturbaciones mayores.

Aunque se han llevado a cabo pocas investigaciones centradas específicamente en el tema de la biodiversidad en los bosques de protección, sí contamos con evidencia científica que apoya enfáticamente la conclusión de que la resiliencia de los ecosistemas forestales depende de la biodiversidad a múltiples niveles [2]. Por ejemplo, a nivel de una especie, se ha demostrado que los rodales puros de



abetos, que son comunes en los bosques montanos y en los bosques subalpinos del norte de los Alpes, son más propensos a plagas de escarabajos del abeto [3] que los rodales en donde conviven más especies. Estos son más resilientes a dichos brotes y mantienen mejor su función protectora. De la misma manera, los bosques que despliegan mayor diversidad de tipos de raíces (que alcanzan diferentes capas de suelo y están vinculadas con diferentes especies de hongos micorrícicos) son en general menos propensos a la erosión del suelo y a los derrumbes superficiales.

En general, la diversidad dentro de un rodal forestal, incluyendo diferentes capas verticales y madera seca, proporciona un hábitat favorable para una variedad de otras especies de flora y fauna, y ofrece una mayor resiliencia frente a daños o de-

Resiliencia

La resiliencia es la capacidad de un ecosistema forestal para sostener su estructura, función y retroalimentaciones fundamentales cuando se ve confrontado con perturbaciones tales como un calentamiento sin precedentes o disturbios naturales a gran escala [2]



Las perturbaciones a gran escala en los bosques de montaña, tales como este incendio forestal, pueden disminuir la protección que proporcionan estos ecosistemas contra las amenazas naturales (U. Wasem)

ribamiento de los árboles a causa de los insectos. Incluso los bosques de montaña naturales constituidos por una sola especie arbórea (por ejemplo el abeto) pueden incluir áreas y hábitats estructuralmente diversos para especies raras [4]. A nivel del paisaje, los bosques de protección que se extienden a través de paisajes heterogéneos son menos susceptibles a incendios forestales masivos y a otros disturbios a gran escala, ya que las variaciones de espacio en la estructura del bosque inhiben la propagación de perturbaciones [5]. La sucesión forestal sincrónica en los Alpes ha conducido a etapas homogéneas de desarrollo generalizadas, las cuales pueden proporcionar actualmente una buena protección contra las amenazas naturales (por ejemplo, desprendimientos de rocas, avalanchas) gracias a altos recuentos de tallos, pero podría también comprometer su resiliencia a ciertas amenazas. Aunque es posible que los objetivos de la gestión de bosques que buscan maximizar la biodiversidad y los que buscan minimizar los riesgos para la infraestructura humana no siempre coincidan en el corto plazo, sí convergen cada vez más cuando se consideran desde una perspectiva de largo plazo, sobre todo en lo que respecta al cambio climático. Esto está siendo cada vez más reconocido en las políticas de gestión de las autoridades forestales que están a cargo de los bosques de protección (por ejemplo [6]).

Lecciones aprendidas

- Fomentar una mayor diversidad a diferentes niveles ayudará a mantener o incrementar la resiliencia de los bosques de protección a perturbaciones de gran escala y a los efectos del cambio climático.
- Esto, a su vez, aumentará la protección que brindan estos bosques contra las amenazas naturales en el largo plazo.





Seguridad alimentaria en las montañas



Montañas, cambio climático y seguridad alimentaria

El cambio climático puede empeorar las condiciones de vida de muchos agricultores de montaña que ya padecen la inseguridad alimentaria. Pero si ellos aprovechan las prácticas autóctonas y ponen en marcha estrategias de adaptación, pueden volverse más resilientes a los impactos y reducir su vulnerabilidad frente a la amenaza del hambre.

Thomas Hofer
Sara Manuelli
Alessia Vita

Cultivo de mijo en Chilime Khola, Nepal (T. Hofer)

Las personas que viven en las montañas se encuentran entre las más pobres y las que más hambre padecen en el mundo: en los países en vías de desarrollo, la gran mayoría de los habitantes de estas regiones viven por debajo de la línea de la pobreza y muchos experimentan la inseguridad alimentaria (Tabla 6.1). El terreno montañoso, con sus laderas empinadas y su clima a menudo adverso, impone a los agricultores y a quienes se dedican a la cría y pastoreo de animales unas condiciones de vida y de trabajo realmente difíciles. El crecimiento de los cultivos es más lento en altitudes elevadas, por lo que muchos de estos campesinos obtienen sólo una cosecha por año. Además, en las regiones de montaña los suelos están a menudo degradados y no proporcionan los nutrientes que se requieren para un adecuado crecimiento de las plantas. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que alrededor del 45 por ciento del área montañosa del mundo no es apta para la agricultura, la cría de ganado o las actividades forestales, o lo es sólo marginalmente [1].

Las dietas típicas de las montañas tienden a limitarse a alimentos ricos en almidón, y se caracterizan a menudo por su baja diversidad alimentaria. Los estudios nutricionales han mostrado que la población de las montañas es particularmente propensa a sufrir deficiencias de micronutrientes. Se encontró, por ejemplo, que los habitantes de los Andes, los Himalayas y cadenas de montañas en China tienen unas de las tasas más altas de deficiencia de yodo.

Desafíos del cambio climático

Según el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) correspondiente a 2014, en los próximos años el aumento de las temperaturas y una mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos tendrán impactos negativos directos sobre los cultivos, el ganado, los bosques, la pesca y la productividad de la acuicultura [2]. Se encuentran par-

tualmente en riesgo las poblaciones de montaña que dependen de la actividad agrícola y ganadera en los países en vías de desarrollo.

Los ecosistemas de montaña son extremadamente vulnerables al cambio climático. Al mismo tiempo, impactos tales como el rápido derretimiento de los glaciares y la reducción de la capa de nieve tienen implicaciones que van mucho más allá de los límites de las montañas. Los cambios en el volumen de los glaciares de montaña y en sus patrones estacionales de deshielo, una mayor variabilidad de la temperatura, y eventos extremos de precipitación, tendrán un enorme impacto sobre los recursos hídricos en muchas partes del mundo. El agua dulce que se origina en las montañas es fundamental para el logro de la seguridad alimentaria en el mundo: muchos agricultores, tanto en las regiones altas como en las tierras bajas, dependen de ella para el riego de sus cultivos. Las amenazas ocasionadas por el clima, tales como tormentas, deslizamientos de tierra, avalanchas e inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares, afectan a las comunidades de montaña al trastornar su acceso a infraestructuras básicas como son los servicios de salud, las escuelas, los servicios de extensión, las carreteras y los mercados. El aislamiento limita las oportunidades de estas poblaciones no sólo para comerciar sino también para generar ingresos, lo cual debilita aun más su seguridad alimentaria. La actividad agrícola y ganadera es la ocupación predominante y la principal fuente de alimento en las zonas montañosas. La agricultura de montaña, que en gran medida es una agricultura familiar, es "verde" por naturaleza: tiene un bajo impacto sobre el medio ambiente y ayuda a mitigar el cambio climático al emitir sólo cantidades muy pequeñas de gases de efecto invernadero, a la vez que aumenta la captura de carbono en plantas y suelos.

Mensajes sobre políticas

- Implementar políticas de agricultura climáticamente inteligente diseñadas específicamente para cada contexto nacional y regional.
- Empoderar a los pequeños productores con igualdad de derechos y oportunidades para acceder a créditos, recursos productivos y seguridad en la tenencia de la tierra.
- Asegurar el acceso de los pequeños productores a los mercados y a una participación justa en la cadena de valor.



El trabajo en una granja cerca de Gasa, Bután (L. Hislop, GRID-Arendal)



¿Pueden los agricultores de montaña seguirle el paso al cambio?

Los habitantes de las regiones de montaña siempre han estado acostumbrados al hecho de que el clima varíe considerablemente de un año a otro, de una estación a otra y de un día a otro, así como entre diferentes altitudes e incluso entre diferentes grados de exposición de las pendientes. Han adaptado sus sistemas tradicionales de uso de la tierra a esta variabilidad, por ejemplo mediante el cultivo de plantas amantes del sol en las laderas más cálidas, y el desplazamiento del ganado hacia los pastizales altos de verano después de que la nieve se ha fundido. No obstante, con el cambio climático la variabilidad del clima puede con el tiempo llegar a aumentar más allá de los límites alcanzados hasta ahora, y esto va a suponer un gran reto para la capacidad de adaptación de las comunidades que viven de la tierra.

Es probable que muchos agricultores de montaña que ya son vulnerables y padecen la inseguridad alimentaria vean empeorar sus condiciones de vida por el cambio climático. La pérdida de cosechas y de ganado son algunos de los riesgos que enfrentan. Al mismo tiempo, la apremiante necesidad de hacer frente a los desafíos del cambio climático ofrece una oportunidad para transformar la manera en que los sistemas alimentarios utilizan los recursos naturales; una oportunidad de hacer más sostenible la agricultura de montaña y promover nuevas formas de reducir la pobreza y el hambre. Una forma de ayudar a estas poblaciones a fortalecer su resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático puede ser la de apoyar y promover prácticas tradicionales, soluciones, y opciones de adaptación, todas ellas sostenibles, a través de políticas adecuadas, investigación científica y construcción de capacidades.

Definición de la agricultura climáticamente inteligente por parte de la FAO

La agricultura climáticamente inteligente es un enfoque para desarrollar las condiciones técnicas, políticas y de inversión con el fin de lograr el desarrollo agrícola sostenible para la seguridad alimentaria en el contexto del cambio climático. Contribuye a la consecución de la seguridad alimentaria nacional y de los Objetivos de Desarrollo, con tres propósitos:

1. Incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas
2. Adaptar y desarrollar resiliencia al cambio climático
3. Reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero donde sea posible

La agricultura climáticamente inteligente...

- aborda la adaptación y construye resiliencia a las crisis;
- considera la mitigación del cambio climático como un posible beneficio colateral;
- es un enfoque de ubicación específica y de conocimiento intensivo;
- identifica opciones integradas que creen sinergias y reduzcan las compensaciones;
- identifica barreras para su adopción y proporciona soluciones adecuadas;
- fortalece los medios de subsistencia mediante un mejor acceso a los servicios, el conocimiento y los recursos;
- integra el financiamiento climático con las fuentes tradicionales de inversión agrícola.

Fuente: [3]

Oportunidades del cambio climático

Las montañas también podrían beneficiarse de ciertos efectos positivos del cambio climático. Las temperaturas más altas podrían aumentar la productividad maderera y posibilitar el crecimiento de cultivos a altitudes más elevadas, al menos en lugares con suficiente agua y con suelos adecuados. Una temporada de cultivos más prolongada y una descomposición acelerada del material orgánico del suelo, podrían llevar a una mejor absorción de nutrientes por parte de los árboles y otras plantas, y por ende a un mayor crecimiento y productividad.

Cada vez se está adoptando más en todo el mundo la agricultura climáticamente inteligente, como una forma de garantizar un desarrollo rural sostenible a fin de lograr la seguridad alimentaria en el contexto del cambio climático. Este tipo de agricultura se ocupa de los cambios requeridos en las prácticas agrícolas en un mundo con temperaturas más altas, e identifica soluciones basadas en las condiciones locales y en el conocimiento autóctono. La agricultura climáticamente inteligente puede contribuir a aumentar la resiliencia de las comunidades de montaña.

Seguridad alimentaria	Indicadores	
Países en vías desarrollo con zonas de montaña que cubren más del 70% del territorio nacional	Número de personas que sufren desnutrición (millones)	Prevalencia de insuficiencia alimentaria (%)
Armenia	NA	6.9
Bután	NA	NA
Burundi	5.9	76.7
Kirguistán	0.3	11.2
República Democrática Popular Lao	1.7	37.1
Líbano	NA	6.5
Lesoto	0.3	23.9
Nepal	5	23.6
Ruanda	3.4	38.4
Tayikistán	2.1	38.5
Global	842.3	18.4

Tabla 6.1. Seguridad alimentaria en los países montañosos en vías de desarrollo. Prevalencia de la insuficiencia alimentaria: proporción de la población total de un país que se encuentra en estado de desnutrición, con base en los requerimientos energéticos para una actividad física moderada. Fuente: [4]

Creación de conciencia sobre el cambio climático en las montañas

En los últimos años, una serie de actividades y eventos nacionales e internacionales han abordado el impacto del cambio climático en las regiones de montaña, destacando su papel como sistemas de alerta temprana e intercambiando conocimientos y aprendizajes científicos y tradicionales acerca de las medidas de adaptación:

- **Iniciativa estratégica del Banco Mundial sobre las montañas y el cambio climático: reuniones regionales en Chile, Tayikistán, Uganda y Marruecos, 2011-2012**

Bajo esta iniciativa del Banco Mundial, la Alianza para las Montañas organizó cuatro reuniones regionales que congregaron a delegados gubernamentales, legisladores, científicos, y expertos en el tema del cambio climático. Los participantes compartieron y fortalecieron sus conocimientos acerca de los impactos de cambio climático en las zonas de montaña, discutieron opciones de adaptación en sus ecosistemas y estrecharon las alianzas y la cooperación entre los países con regiones montañosas.

- **Días de las Montañas en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC): Durban, Sudáfrica, 2011, y Doha, Catar, 2012**

Estos eventos, celebrados durante las Conferencias de las Partes de la CMNUCC, llamaron la atención sobre los graves efectos adversos que tiene el cambio climático en la vida de las comunidades de montaña y sobre cómo el papel de las montañas como torres de agua del mundo está siendo amenazado por el derretimiento de los glaciares. Allí se abogó sobre la necesidad de apoyar a las comunidades de montaña en todo el mundo a través de la acción política, el desarrollo de capacidades y la investigación científica.

- **Conferencia Internacional de Países de Montaña sobre el Cambio Climático: Katmandú, Nepal, 2012**

Auspiciada por el Gobierno de Nepal en el contexto de la Alianza para las Montañas, esta conferencia ofreció un foro a los países montañosos para compartir conocimientos y experiencias referentes al impacto del cambio climático sobre las montañas. Hablaron sobre riesgos comunes a todos ellos, deliberaron acerca de un enfoque compartido y unificado para hacer frente a preocupaciones específicas relacionadas con los ecosistemas de montañas y los medios de subsistencia, y analizaron las perspectivas de desarrollo de estas regiones en el contexto del cambio climático, incluyendo el alivio de la pobreza.

- **Día Mundial de los Paisajes: Varsovia, Polonia, 2013**

La sesión "Construcción de Resiliencia al Cambio Climático en las Montañas" fue organizada por la Secretaría de la Alianza para las Montañas, con el fin de abordar el tema del derretimiento de los glaciares inducido por el cambio climático, y sus repercusiones de gran alcance sobre el ciclo del agua y los medios de subsistencia de las comunidades de las montañas y de las tierras bajas. El evento hizo énfasis en que el empoderamiento de la comunidad local es esencial para la construcción de resiliencia al cambio climático en las montañas.

- **El Programa de la UNESCO: El Hombre y la Biosfera (MAB) en las zonas de montaña**

El Hombre y la Biosfera (MAB por sus siglas en inglés), un programa interdisciplinario de investigación ambiental que existe desde hace muchos años, tiene una parte dedicada a las montañas. El programa evalúa los impactos del cambio global y climático sobre los frágiles ecosistemas de montaña, utilizando las reservas de la biosfera de la montaña como sitios de estudio y monitoreo.

- **El Foro Mundial de las Montañas en Cuzco, 2014**

Este evento congregó alrededor de 200 actores involucrados en el tema de las montañas, provenientes de todas partes del mundo, con el fin de promover una acción concreta y colaborativa para el desarrollo sostenible de las regiones de montaña y propiciar el diálogo político. Las actividades se agruparon en torno a cuatro áreas temáticas: cambio climático, agricultura familiar, comunidades de montaña y comunidades urbanas.



Cuenca en Panchase sobre Pokhara, Nepal (T. Kohler)

El camino a seguir

Los agricultores de montaña tienen muchas opciones para combatir los efectos adversos del cambio climático y para garantizar la seguridad alimentaria de sus familias en las tierras altas. Algunas de estas opciones son:

- Adoptar un enfoque de paisaje integrado y articular mejor las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y acuicultura, con el fin de ayudar a diversificar las fuentes de ingresos y lograr que los sistemas alimentarios de las montañas sean más resilientes al cambio climático.
- Adoptar sistemas agropecuarios sostenibles y orgánicos y diversificar los sistemas alimentarios. La agricultura orgánica reduce la necesidad de riego intensivo a la vez que aumenta la capacidad del suelo no sólo para retener el agua sino también para mejorar su calidad.
- Mantener y promover la gran agrobiodiversidad de los cultivos y la ganadería en las montañas, la cual ofrece un potencial importante para la adaptación al cambio climático, contribuye a la seguridad alimentaria y puede proporcionar ingresos.
- Promover, integrar y compartir el conocimiento autóctono que sobre el medio ambiente tiene la gente local, así como sus prácticas de adaptación al cambio climático y sus estrategias de seguridad alimentaria, y mejorarlos a través de medidas políticas y de inversiones.
- Promover una gestión comunitaria del riesgo de desastres (CBDRM por sus siglas en inglés) y desarrollar la capacidad técnica de las instituciones locales y de los grupos de granjeros para gestionar los riesgos de desastres.
- Fortalecer la capacidad de todos los grupos de interés para reconocer los procesos y tendencias del cambio climático, negociar e implementar medidas de mitigación y adaptación y crear conciencia al respecto.

Conservación de la agroforestería en el Monte Kilimanjaro

El sistema agroforestal *kihamba* abarca 120 000 hectáreas de la ladera sur del Monte Kilimanjaro. Es una de las formas más sostenibles de agricultura de montaña y provee de sustento a aproximadamente un millón de personas. Un proyecto para restablecer los cultivos de café en el sistema ha mejorado los ingresos en efectivo de los agricultores, a la vez que preserva las funciones ecológicas y sociales de este sistema.

Organización para la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO)



Basado en múltiples capas, el sistema *kihamba* maximiza el uso de la tierra limitada y brinda alimentos nutricionalmente variados durante todo el año (D. Boerma, FAO)

El sistema agroforestal *kihamba*, en Tanzania, maximiza el uso de tierra limitada. Basado en una estructura de vegetación de múltiples capas semejante a la del bosque tropical de montaña, el sistema brinda una gran variedad de alimentos y un número considerable de servicios ambientales que van más allá de las zonas en donde se practica. Con la gran cantidad de biomasa que produce y su capacidad de reciclar la materia orgánica en las granjas, el sistema *kihamba* también contribuye de manera significativa al almacenamiento de carbono. Los árboles y densa vegetación del Monte Kilimanjaro garantizan que pueda seguir funcionando como torre de agua para la región circundante.

El café como cultivo comercial ecológicamente compatible posibilitó la adaptación exitosa del sistema agroforestal *kihamba* a la nueva economía monetaria. Pero la fluctuación de los precios del café y la propagación de plagas y enfermedades hicieron que a la larga los agricultores abandonaran cerca del 20 por ciento de los





El sistema *kihamba* en el Kilimanjaro (Tanzania) es una de las formas más sostenibles de agricultura de montaña en el mundo entero (D. Boerma, FAO)

cultivos de café de la zona. Un proyecto llevado a cabo por la iniciativa de Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) respondió liderando una serie de actividades de agricultura climáticamente inteligente en 660 hogares. La atención se centró en la conversión al cultivo de café orgánico certificado, la adopción de la vainilla como cultivo adicional de alto valor comercial y la introducción de la acuicultura de la trucha a lo largo de los canales de riego. El proyecto también rehabilitó el sistema de riego para reducir la pérdida de agua y amplió la capacidad de los estanques de almacenamiento para ayudar a los agricultores a hacer frente a las estaciones secas más largas que son consecuencia del cambio climático. Se espera que la formación en gestión sostenible de la tierra y en gestión del café aumente en un 25 por ciento los ingresos en efectivo de las granjas en un período de tres años.

Adaptación al cambio climático en los Andes peruanos

Julio C. Postigo

Los habitantes de Quelccaya se han estado adaptando durante siglos a los cambios del clima. Pero a medida que las condiciones climáticas continúan volviéndose más severas, la población se ha visto cada vez más presionada para responder, ya que la combinación de factores socio ambientales amenaza con sobrepasar la capacidad adaptativa de la comunidad. En estas circunstancias, las comunidades andinas necesitan políticas que les ayuden a reducir su vulnerabilidad y aumenten su resiliencia a los cambios climáticos.



Nevado Huascarán, Perú (I. Cambior, FAO)

Quelccaya es una población de aproximadamente 110 familias de pastores, quienes habitan la parte sur de los Andes peruanos, en el distrito de Corani. Está situada en un altiplano entre las cordilleras oriental y occidental de los Andes, sobre el que se eleva el mayor glaciar tropical del mundo: el casquete de hielo de Quelccaya. Este inmenso glaciar se está derritiendo a un ritmo acelerado. Su lengua glaciar más extensa retrocedió aproximadamente 10 veces más rápido (aprox. 60 m/año) entre 1991 y 2005 que entre 1963 y 1978 (aprox. 6 m/año) [1, 2].

Los habitantes de Quelccaya sienten los impactos del cambio climático, principalmente en este rápido retroceso del glaciar, en un aumento en las temperaturas extremas, y en los cambios en la estación de lluvias [3] (Tabla 6.2). Pero no todos estos cambios tienen consecuencias negativas. Por ejemplo, algunas familias han comenzado a sembrar papa a una altitud de 4 200 m en un área donde el microclima se ha vuelto relativamente favorable.

La principal forma como la población de Quelccaya responde a los cambios climáticos es adaptando la manera como usan sus tierras y cambiando sus patrones de movimiento de los rebaños, de acuerdo con los cambios en la cubierta terrestre [4]. Los agricultores y pastores tienen amplia experiencia con las perturbaciones naturales, incluyendo la variabilidad climática (ver recuadro página 101). Mediante la adaptación de su sistema de agricultura, ellos renuevan su capacidad institucional y crean oportunidades para la transformación.





Alpacas pastando cerca de un corral de piedra (FAO)

La evidencia muestra que durante los últimos 150 años las instituciones de la comunidad han reaccionado a las perturbaciones socioeconómicas y climáticas y han sido a la vez moldeadas por ellas. Pero las persistentes presiones socioeconómicas, junto con unas condiciones climáticas cada vez más hostiles, podrían agobiar la capacidad institucional de Quelccaya y poner en peligro su habilidad para responder a una amplia gama de amenazas. Se necesitan políticas que ayuden a disminuir la vulnerabilidad de la comunidad, favorecer su adaptación y aumentar su resiliencia al cambio climático.

Respuestas de la comunidad a la variabilidad del clima

Los agricultores y pastores responden a la sequía irrigando sus tierras y movilizándolo sus rebaños. Al irrigar la tierra, preservan, expanden y crean humedales. El agua para el riego es desviada desde los manantiales, ríos y lagos a través de canales que tienen por lo general varios kilómetros de largo y que son construidos conjuntamente por muchas familias y durante varios años. Esto requiere coordinación y cooperación al interior de las familias y comunidades y también entre ellas. La creciente variabilidad de las precipitaciones ha hecho que cada vez sea más importante la gestión de canales para el mantenimiento de los pastos y humedales destinados al pastoreo estacional.

La movilidad del ganado y su acceso a zonas diferentes de pastizales es una respuesta crucial a eventos climáticos extremos tales como las sequías. Como bien lo dice un pastor: “¿Qué hacemos cuando hay una sequía? ... *llevamos los animales a otra zona donde hay forraje... los mudamos a los humedales que tienen agua*”.

Precipitaciones	Temperatura
Retraso en la aparición de la temporada de lluvias	Noches más frías
Temprana finalización de la temporada de lluvias	Días más cálidos
Precipitaciones irregulares durante la estación de lluvias: pocos días de fuertes precipitaciones seguidos por días secos	Retroceso de los glaciares

Tabla 6.2 Efectos del cambio climático percibidos en el sur de los Andes peruanos. Fuente: [3]

Fomento del uso eficiente del agua en Asia Central

En Kirguistán, las mujeres agricultoras han adoptado nuevas técnicas de irrigación para hacer frente a la escasez de agua ocasionada por las sequías. Como resultado de esto, ahora están recogiendo las cosechas más temprano en la temporada y cultivando nuevas variedades de vegetales que ayudan a mejorar las condiciones nutricionales de las familias y a obtener precios superiores en el mercado.

Aida Jamangulova



Mujeres cultivando hortalizas de invernadero en Kirguistán (A. Karsymbek)

Kirguistán, al igual que muchos países montañosos, es propenso a fenómenos meteorológicos extremos y a las amenazas relacionadas con ellos, tales como inundaciones, deslizamientos de tierra, sequías y olas de frío. Los expertos dicen que los fenómenos relacionados con el clima han llegado a ser más frecuentes en los últimos 10 años y advierten sobre la posibilidad de que el cambio climático incrementará aún más las amenazas y reduzca la seguridad alimentaria en el futuro. El rápido deshielo de los glaciares y la creciente variabilidad en las precipitaciones podrían afectar la productividad de los cultivos y, en el largo plazo, la disminución en las precipitaciones anuales podría disminuir la disponibilidad de agua, intensificar la sequía y acelerar la degradación del suelo. En 2012, la Agencia para Iniciativas de Desarrollo (ADI por sus siglas en inglés), una red regional de grupos de autoayuda para mujeres, lanzó un proyecto para fomentar el uso eficiente de los recursos hídricos, introduciendo técnicas de irrigación que ahorran agua y contribuyen a aumentar la productividad y los ingresos familiares. Miembros de dos grupos en una aldea de la provincia de Osh en el sur de Kirguistán, comenzaron a sembrar en sus huertas caseras hortalizas de invernadero, usando riego por goteo y recolección de agua. Las nuevas técnicas les han ayudado a mitigar el impacto de las fluctuaciones del clima y a adaptarse a la creciente escasez de agua: ahora pueden





Las montañas de Kirguistán son vulnerables a los efectos del cambio climático (A. Karsymbek)

cosechar los vegetales más temprano y venderlos en los mercados. El proyecto no sólo ha aumentado la disponibilidad de vegetales nutritivos sino que además ha introducido cultivos que eran nuevos para la región, como por ejemplo la coliflor, los tomates cherry y la yerbabuena. Ahora estos productos están siendo incorporados a la dieta local. Es importante diseñar medidas de adaptación al cambio climático para que estas aborden las necesidades y opciones específicas de los diferentes grupos seleccionados (Tabla 6.3).

Principal medio de subsistencia	Opciones para gestionar los riesgos climáticos
La subsistencia y la actividad agropecuaria de los pequeños productores	Reducir las pérdidas postcosecha Mejorar la eficiencia en el uso del agua para abordar la creciente variabilidad en las lluvias Garantizar el acceso a servicios de extensión para la adaptación del cambio climático (semillas resistentes a las sequías, etc.)
Agricultura de mediana a gran escala	Fortalecer los sistemas tempranos de alerta para inundaciones, sequías, olas de calor y temporadas de frío
Mano de obra no calificada (rural)	Establecer redes sociales de seguridad a nivel nacional para hacer frente a los impactos relacionados con el clima, mejorando la prestación de ayuda efectiva después de los desastres. Apoyar la jardinería doméstica para posibilitar un mayor acceso a una diversidad de alimentos
Mano de obra no calificada (urbana)	Estabilizar los precios de los alimentos (alerta temprana de precios, etc.) Apoyar la jardinería doméstica para posibilitar un mayor acceso a una diversidad de alimentos
Remesas	Garantizar el acceso de las mujeres a servicios agrícolas para la adaptación al cambio climático (semillas resistentes a las sequías, etc.)
Provisiones Sociales	Crear resiliencia hacia los riesgos e impactos relacionados con el clima, a través de obras públicas y de redes sociales de seguridad

Tabla 6.3. Gestión de los riesgos climáticos para una mayor seguridad alimentaria en los hogares

La seguridad alimentaria en el Hindu Kush Himalayas y la carga adicional del cambio climático

Algunas regiones del mundo son más vulnerables que otras a la inseguridad alimentaria. Para muchos habitantes del Hindu Kush Himalayas, la inseguridad alimentaria ya es una realidad de la vida. La mitad de las personas que padecen desnutrición en el mundo viven en Bangladés, China, India, Nepal y Pakistán, y en todos estos países las zonas de montaña tienen los más altos niveles de deficiencia alimentaria.

Tiina Kurvits
Lawrence Hislop



El cambio climático y el encarecimiento de los alimentos a nivel global están desafiando nuestra capacidad para alimentar a una población mundial en aumento. Los más recientes aportes al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) reconocen la inseguridad alimentaria como uno de los riesgos críticos del cambio climático [1]. Los desastres ocasionados por el clima, tales como inundaciones, sequías y tormentas, se encuentran entre los principales agentes que conducen a la inseguridad alimentaria. Al mismo tiempo, los mercados se han mostrado altamente sensibles a los extremos climáticos recientes.

La inseguridad alimentaria ya es una realidad de la vida en el Hindu Kush Himalayas. El severo clima de la región, el terreno agreste, los suelos pobres y las cortas temporadas de siembra limitan la productividad agrícola, ocasionando frecuentes déficits de alimentos. Se pronostica que los impactos del cambio climático y de los fenómenos meteorológicos extremos sobre la seguridad alimentaria serán particularmente severos en las regiones de montaña, y el Hindu Kush Himalayas, uno de los llamados "puntos calientes del cambio climático", no es la excepción. Los efectos adversos del cambio climático en esta región se ven agravados por los ya



elevados niveles de pobreza y desnutrición, el alto grado de dependencia de los alimentos cultivados localmente, y el agotamiento de los recursos naturales, así como por una infraestructura deficiente.

Los agricultores de semisubsistencia del Hindu Kush Himalayas cuentan con una gran diversidad de prácticas agrícolas, y tradicionalmente se han adaptado bien al microclima local. Sin embargo, la diversidad y recursividad de que hacían gala los agricultores en el pasado, ahora se ponen seriamente a prueba frente al cambio climático. Las recientes evaluaciones de vulnerabilidad muestran que más del 40 por ciento de los hogares en el Hindu Kush Himalayas se enfrentan a una disminución en los rendimientos de sus cinco cultivos más importantes, como consecuencia de inundaciones, sequías, heladas, granizo, plagas y enfermedades [2].



Terrazas irrigadas, Nepal (T. Hofer)

Los agricultores de esta región siempre han sido expertos en el uso de la flexibilidad inherente a los sistemas alimentarios de las regiones de montaña. Actualmente están respondiendo a los nuevos retos cambiando sus prácticas. Esto incluye retrasar la siembra y la cosecha, resembrar, cambiar las variedades de los cultivos y abandonar los cultivos básicos y las variedades de ganado. Cada vez más agricultores se dedican a cultivos comerciales que les abren las puertas a nuevas oportunidades de generación de ingresos pero que también los dejan a merced de los vaivenes del mercado.

El nivel de seguridad alimentaria experimenta grandes variaciones a lo largo de toda la región del Hindu Kush Himalayas (Figuras 6.1 y 6.2). Comparado con el decrecimiento global de la desnutrición en las últimas dos décadas, el número de personas desnutridas en los países del Hindu Kush Himalayas ha venido disminuyendo más lentamente, y la tasa de desnutrición sigue siendo elevada. Las zonas de montaña tienen los más altos niveles de insuficiencia alimentaria en estos países [1], y la persistente desnutrición, especialmente en los niños, continúa siendo un asunto apremiante.

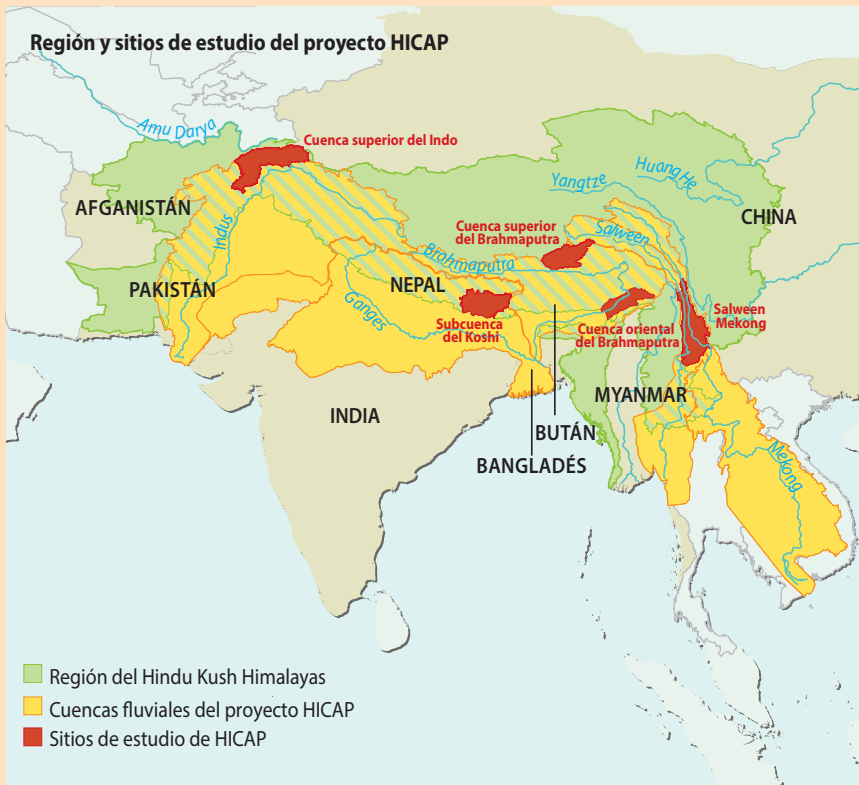
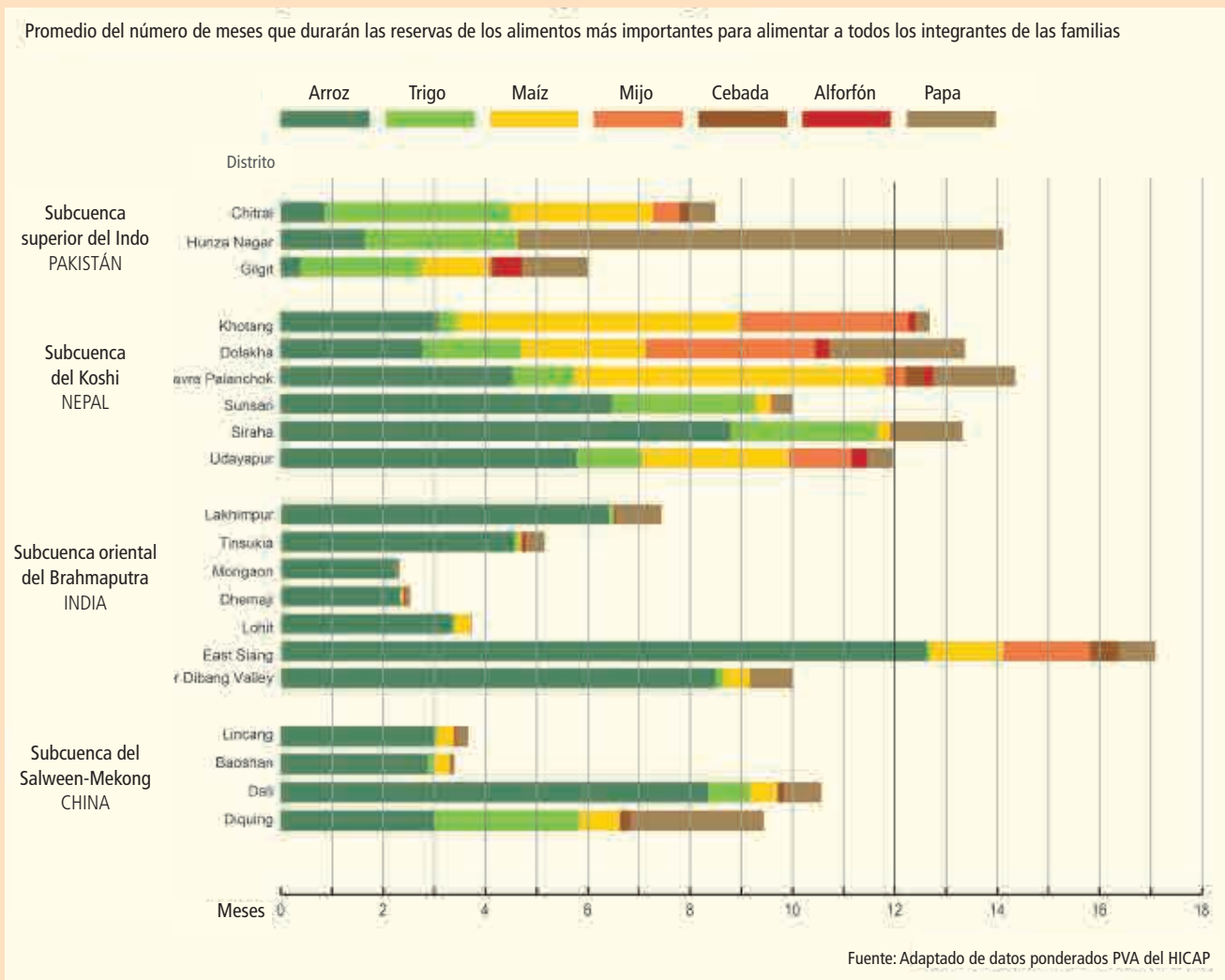


Figura 6.1. Programa de Adaptación al Cambio Climático en los Himalayas (HICAP): Región y sitios de estudio del proyecto

Figura 6.2. Seguridad alimentaria de las familias en el Hindu Kush Himalayas





Terrazas abandonadas debido a la emigración, Nepal (T. Kohler)

La emigración es uno de los mayores desafíos sociales que enfrenta la agricultura en el Hindu Kush Himalayas. La proporción de hogares comprometidos con empleos fuera del sector agrícola oscila entre el 13 por ciento en Pakistán y el 57 por ciento en Nepal [2]. Aunque el trabajo fuera del sector agrícola es una fuente de remesas financieras y sociales, también conduce a la escasez de mano de obra en las granjas. Cada vez más mujeres y personas mayores deben asumir solas la responsabilidad del manejo de sus parcelas. Las mujeres tienden a verse más profundamente afectadas que los hombres por el cambio climático y los desastres, ya que su movilidad es más limitada y tienen menos acceso a la información, los recursos y la toma de decisiones.

Se prevé que el cambio climático afectará la seguridad alimentaria de muchas maneras. Los escenarios indican que los glaciares de los Himalayas liberarán más agua en las próximas una o dos décadas, seguido esto por una disminución gradual en la mayoría de las principales cuencas fluviales. Al mismo tiempo, las precipitaciones se están volviendo más cambiantes [3]. En general, la disponibilidad de agua variará considerablemente en toda la región, y el suministro de agua en el futuro será menos predecible. La mayoría de las proyecciones sugieren que la productividad agrícola se verá disminuida por fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes y por una variabilidad cada vez mayor en las precipitaciones.

Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria no serán los mismos a través de todo el Hindu Kush Himalayas. Hay marcadas tendencias que indican calentamiento y mayor propensión a la sequía en China y en la Cuenca de Koshi en Nepal, un creciente estrés hídrico invernal en Asia del Sur, alta variabilidad de los monzones y más frecuentes desastres asociados con inundaciones en la Cuenca Alta del Indo y en las llanuras de otras cuencas, y calentamiento a altitudes más elevadas en todas las cuencas. Todas estas tendencias representan un alto riesgo para la agricultura.

Lecciones aprendidas

- Desarrollar políticas y mecanismos de apoyo a los pequeños agricultores para que expandan la flexibilidad inherente a sus sistemas de cultivo. Promover sistemas que proporcionen servicios ecosistémicos cruciales para la producción de alimentos (regulación del agua, diversidad genética, control de plagas, gestión de suelos).
- Impulsar variedades de cultivos autóctonos que posiblemente sean más resilientes al cambio climático.
- Volver a evaluar las tecnologías climáticamente inteligentes mirándolas a través de una óptica de género. Reestructurar y adaptar los sistemas agrícolas a las cambiantes oportunidades que resultan de la emigración y el cambio climático.





Economía de montaña



Economías de montaña, desarrollo sostenible y cambio climático

Las montañas cubren el 24 por ciento de la superficie terrestre del planeta, albergan el 12 por ciento de la población humana y proveen el 40 por ciento de los bienes y servicios globales, incluyendo agua, energía hidroeléctrica, madera, biodiversidad, minerales, recreación y protección contra inundaciones [1]. Pero a pesar de su importante contribución, aún no reciben suficiente atención dentro de las agendas para el desarrollo. Además, el cambio climático ha traído consigo nuevos retos, ya que las economías de montaña son por lo general agrarias y dependen de sectores sensibles al clima, tales como la agricultura, la gestión forestal y la ganadería.

Golam Rasul
Eklabya Sharma

Medios de subsistencia a la sombra del Himalaya (Cortesía de ICIMOD)

Cada vez hay mayor conciencia sobre la importancia de los servicios ecosistémicos que prestan las montañas. Pero sus habitantes, que son quienes ayudan a sostener estos servicios, rara vez reciben una compensación adecuada. En los últimos tiempos, fenómenos tales como el crecimiento poblacional y urbanístico, la emigración, la globalización, el desarrollo económico y el cambio climático han planteado nuevos desafíos para las estrategias tradicionales de subsistencia de las poblaciones de montaña y para los mecanismos que se requieren para afrontar estos temas. Poblaciones que antes eran autosuficientes, ahora se encuentran en terribles condiciones de pobreza. En muchos países, los habitantes de las montañas son económicamente más pobres que los de las tierras bajas. Es urgente desarrollar mecanismos de adaptación para estas comunidades, que les permitan gestionar el cambio y beneficiarse de una manera sostenible de su medio ambiente y de la economía.

Características clave de las economías de montaña

Las regiones montañosas en todo el mundo comparten características comunes, incluyendo terrenos escarpados, marcadas variaciones geográficas, condiciones de lejanía y difícil acceso. Aunque las economías de montaña varían considerablemente, por lo general permanecen a la zaga del resto del país o región donde están ubicadas. Las economías rurales en los países en desarrollo son usualmente débiles, y las comunidades de montaña tienden a experimentar enormes sufrimientos. El terreno montañoso está asociado a una producción pequeña y dispersa, altos costos de transporte, restricciones a las economías de escala, infraestructura física y económica deficiente, y escaso desarrollo en los sectores industrial y de servicios. Normalmente prevalecen las actividades del sector primario, donde las comunidades de montaña suministran materias primas y productos de los recursos naturales a las poblaciones de las tierras bajas. Muchas poblaciones de montaña en los países en vías de desarrollo dependen para su sustento de la agricultura, los bosques, los pastos, la ganadería y la recolección de productos forestales no maderables

(PFNM). Sus tierras no son usualmente aptas para la agricultura intensiva, existen pocos mercados especializados y la agricultura es principalmente de secano, de bajos insumos y baja intensidad.

Por lo general las zonas montañosas están ubicadas lejos de puertos marítimos y otros centros de actividad económica, lo cual contribuye aún más a su marginación económica. Aunque estas zonas pueden ser ricas en recursos, la inversión local tiende a ser baja y las actividades en torno a los recursos rara vez garantizan un empleo adecuado o, por lo menos, unas condiciones de vida dignas, a tal punto que las comunidades carecen a menudo de los servicios sociales y económicos básicos. Donde hay industrias establecidas, estas son principalmente extractivas, tales como la minería, la energía hidroeléctrica o la explotación maderera. Los vínculos de producción y las condiciones comerciales entre las tierras altas y las tierras bajas son usualmente desiguales y favorecen a las tierras bajas.

La globalización y las economías de montaña

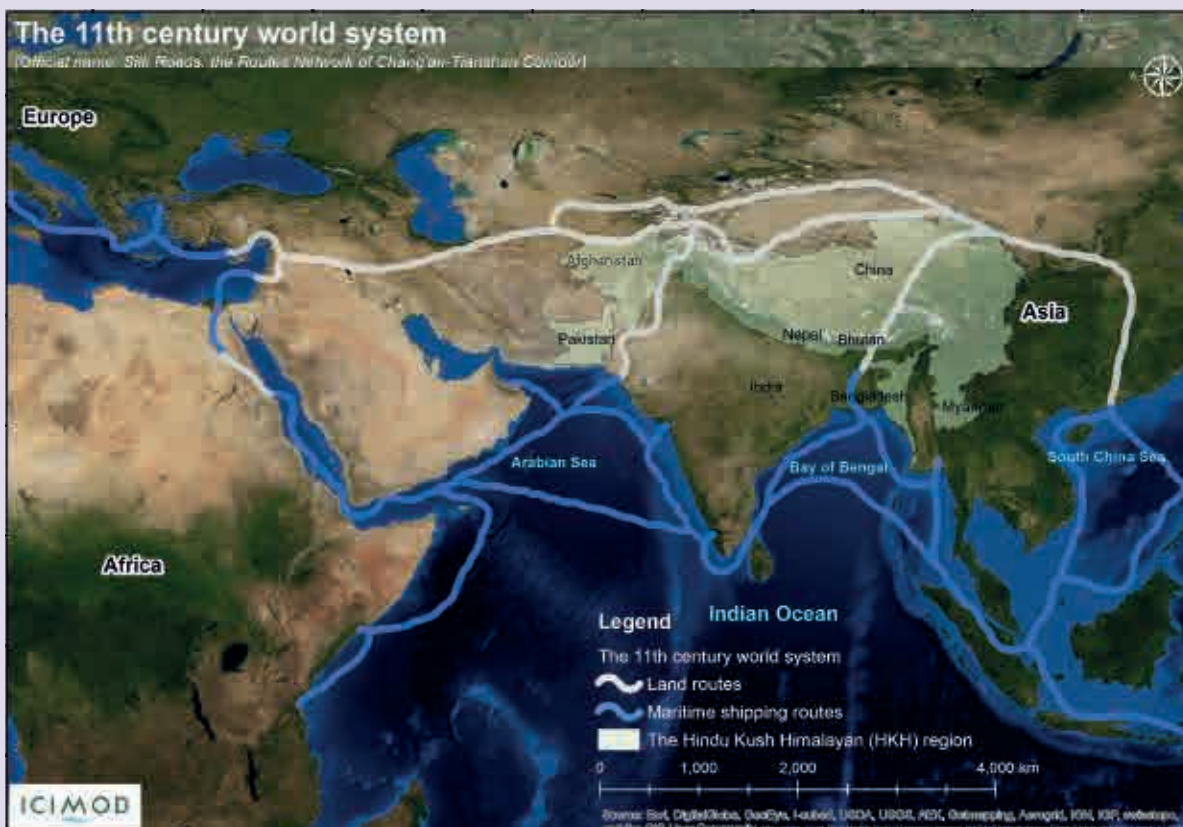
La comunidad global ha sido testigo de cambios dramáticos durante el último siglo. La población humana se ha cuadruplicado y la urbana se ha multiplicado por un factor de 13; las tierras de cultivo se han duplicado, las extracciones de agua se han incrementado siete veces, las tierras de regadío cinco veces, el uso de energía 13 veces, la producción industrial 40 veces y las emisiones de CO2 17 veces [2]. En todo el mundo ha habido rápidos cambios en demografía, crecimiento económico, urbanización, globalización y liberalización económica, junto con avances en telecomunicaciones y tecnología.

En este escenario, la demanda de recursos de las montañas, ya sean bienes básicos (commodities) esenciales (por ejemplo la madera) o productos de nicho (por ejemplo las plantas medicinales), es mayor que nunca, y se avecinan nuevos cambios. Los esfuerzos realizados para expandir el comercio y mejorar las carreteras

Mensajes sobre políticas

- Las regiones de montaña afrontan desafíos específicos, entre los que se cuentan la desigualdad en el intercambio, la pobreza y el cambio climático. Estos retos requieren políticas específicas para las montañas dentro de los planes y programas de desarrollo a nivel nacional.
- Es preciso estimular la inversión en las regiones de montaña creando un entorno propicio. Las inversiones generan empleo y liberan el potencial de estas regiones para una economía verde y un desarrollo sostenible en áreas tales como los productos naturales y orgánicos, el agua, la energía hidroeléctrica y el turismo.
- Las políticas deben promover una distribución justa de los beneficios provenientes del desarrollo de los recursos de las montañas.
- Es necesario fortalecer las capacidades de las instituciones de las montañas, con el fin de mejorar su acceso a los mercados, robustecer la seguridad de los medios de subsistencia y avanzar en la cooperación transfronteriza.

Figura 7.1. Cinturón Económico de la Ruta de la Seda: en blanco, principal ruta terrestre; en azul, ruta marítima. Fuente: [9]





Lamas en el Cerro de Pasco, Perú (M. Wurzinger)

y redes de transporte están conectando a numerosas comunidades de montaña con mercados nacionales, regionales y globales. En muchos sitios la agricultura de montaña está pasando de ser una agricultura de subsistencia a ser una agricultura comercial, incluyendo la producción de cultivos comerciales, la horticultura y la venta de productos forestales no maderables (PFNM). El turismo en las montañas también está creciendo. Al mismo tiempo, los jóvenes de las comunidades rurales están emigrando a áreas urbanas y a otros países, dejando atrás a las mujeres y a las personas mayores; esto ha conducido a la “feminización” de la fuerza de trabajo en algunas zonas montañosas, e incluso, en algunos casos, a una disminución de la población. No obstante, esta emigración de la fuerza laboral también puede proveer remesas que se necesitan bastante y que elevan los niveles de vida y llegan a transformar, en algunos casos, las oportunidades que ofrecen las montañas.

Las montañas y la “economía verde” en el mundo

Las montañas son cruciales para muchos de los asuntos más apremiantes que afronta hoy la comunidad global: agua, energía, seguridad alimentaria, adaptación al cambio climático y protección de la biodiversidad [3]. Ellas ofrecen diversos hábitats con un abanico de especies raras y endémicas, son el hogar de personas nativas de distintas culturas, y son fuente de recursos culturales, espirituales y de esparcimiento para las poblaciones urbanas. Tienen un enorme impacto en los habitantes del mundo entero y son cruciales para la “economía verde” y el desarrollo sostenible en el planeta.

Las regiones de montañas son una fuente vital de servicios ecosistémicos y, en suma, juegan un papel significativo en el desarrollo económico, la protección del medio ambiente, la sostenibilidad ecológica y el bienestar humano. Vale la pena resaltar que el agua suministrada por las montañas tiene una importancia crítica para cada continente, contribuyendo con entre el 40 y el 90 por ciento del flujo de los



Campechina de las montañas cargando forraje para el ganado (Cortesía de ICIMOD)

ríos en muchos lugares. El sistema montañoso del Hindu Kush Himalayas suministra agua para cerca de 1 300 millones de personas. De manera similar, las Montañas Rocosas, los Andes, las montañas del Atlas y algunas del Oriente Medio, alrededor del Mediterráneo, y en las zonas sur y oriental de África, juegan un papel definitivo en el abastecimiento de agua para sus respectivas regiones y para las tierras bajas [4]. Al contar con 6 000 km³ de reservas de hielo, las más extensas después del Polo Norte y el Polo Sur, la región de los Himalayas es ciertamente el “Tercer Polo” de la Tierra. Se estima que los recursos de agua dulce almacenados en el hielo y la nieve de la región son suficientes para irrigar al mundo entero durante dos años, a la totalidad de Asia durante tres años, o a Asia del Sur durante 5 o 6 años [5].

Mientras que las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando en todo el planeta, las economías y comunidades de montaña aún muestran, en general, una baja huella de carbono. Las labores agropecuarias en las montañas operan en gran medida con bajos insumos externos, a menudo por necesidad, más que por elección. Además, sus sistemas de producción, incluyendo la conservación de suelos, la protección de cuencas y la preservación de variedades autóctonas de semillas, producen externalidades positivas para la comunidad global y pueden ayudar a abordar los impactos del cambio climático.

La mitad de los puntos calientes de diversidad (hotspots) del mundo y una tercera parte de las áreas protegidas están en las montañas, las cuales son definitivas para conservar y aprovechar la diversidad biológica en beneficio de una economía verde. Estas regiones también han provisto los recursos genéticos para muchos de los principales cultivos alimenticios, y albergan una diversidad genética que podría resultar esencial para aumentar la resiliencia de los cultivos alimenticios de todo el mundo al cambio climático y a otros cambios. Las montañas también juegan un papel importante en la regulación climática a nivel regional y global, a través de precipitaciones orográficas, evapotranspiración, influencia de zonas extendidas de hielo y nieve, y bosques que secuestran carbono y mitigan el cambio climático.



Campeños con rebaños mezclados de alpacas y llamas, Perú (M. Radolf)

Recuadro 1: Sector minero en Perú: pocos beneficios para las comunidades locales

La inversión minera ha crecido exponencialmente en Latinoamérica desde el año 2000. En Perú, la inversión aumentó de US\$109 millones in 2003 a US\$3500 millones in 2013. En Colombia, la proporción de los ingresos públicos generados por la minería se duplicó, pasando de 12 por ciento a 25 por ciento entre 2009 y 2012. Aunque la minería tiene beneficios económicos, también impone grandes desafíos. El dramático crecimiento de esta actividad ha estado acompañado por un aumento de los conflictos y la violencia en torno a las operaciones mineras a gran escala en las tierras altas de los Andes peruanos, remotas y sobrecogedoramente pobres. Las comunidades locales usualmente se oponen a la minería, por temor a que esta contamine los suelos de la zona y las fuentes de agua, a la vez que les deja muy pocos beneficios directos. De hecho, a pesar de las leyes que establecen que la mitad de los ingresos por minería deben retornar a las áreas mineras, y no obstante los enormes beneficios obtenidos por las compañías mineras, las vidas de la gente local no han mejorado significativamente. En promedio, el 40 por ciento de los peruanos vive en la pobreza, y en los Andes las tasas de pobreza están por encima del 70 por ciento. La minería parece haber agudizado las desigualdades económicas y los conflictos. Para reducir la pobreza en las comunidades de montaña afectadas se requieren prácticas mineras más responsables y una distribución más equitativa de los beneficios [8].

Asuntos y desafíos clave para las economías de montaña

Las economías de montaña enfrentan desafíos particulares a nivel económico, social y ambiental, debido a sus características biofísicas inherentes y a políticas socioeconómicas más amplias. Los principales retos que deben afrontar estas economías en los países en vías de desarrollo son la inequidad en el intercambio, la pobreza, la desigualdad y el cambio climático.

Las políticas económicas y los patrones de desarrollo están a menudo parcializados en contra de las regiones de montaña. Las políticas económicas nacionales se concentran usualmente en extraer sus recursos para beneficiar a las tierras bajas, lo cual a menudo ocasiona conflictos y tensiones sociales (recuadro 1). Por ejemplo, las inversiones que se realizan en las montañas de los Andes y de Asia Central están enfocadas principalmente en la minería, mientras que en la región de los Himalayas el objetivo primordial es la energía hidroeléctrica. La materia prima, el capital y el recurso humano fluyen desde las montañas hacia los llanos, donde hay mejores oportunidades de inversión y retornos más altos, debido a una mejor infraestructura física y económica y a mayores oportunidades a nivel de los mercados.

Usualmente las zonas montañosas sufren de mayores niveles de pobreza y vulnerabilidad que las tierras bajas. Tanto en los países con altos ingresos como en los de bajos ingresos, las tasas de pobreza tienden a ser más elevadas en las regiones de montaña, y el ingreso per cápita tiende a ser menor (Tabla 7.1). De manera similar, la seguridad alimentaria, hídrica y energética es por lo general más baja en estas zonas. En Tayikistán, por ejemplo, un país montañoso de Asia Central, las tasas de retraso en el crecimiento infantil se elevan hasta un 39 por ciento [6]. La desigualdad económica entre las tierras altas y las tierras bajas también está aumentando a nivel general, lo cual posiblemente contribuya a un mayor número de conflictos en las regiones montañosas en diferentes partes del mundo, tales como Afganistán, Cachemira, Filipinas, Colombia y el Cuerno de África. En muchas regiones, las áreas de conservación están establecidas en áreas de pobreza extrema, lo cual compromete aún más los medios de subsistencia de los habitantes de las montañas, a menos que se aborde cuidadosamente esta situación.

El cambio climático es una preocupación de primer orden que complica y exacerba la pobreza y la inseguridad en cuanto a los medios de subsistencia de las comunidades de montaña. Los cambiantes patrones climáticos y regímenes hídricos, así como un aumento de las inundaciones, sequías y otros eventos extremos, podrían agudizar la crisis alimentaria, hídrica y energética.

	Desarrollo humano		Ingreso nacional bruto per cápita	
	Países con altos ingresos	Países con bajos ingresos	Países con altos ingresos en US\$	Países con bajos ingresos en US\$
Todas las regiones	0.890	0.493	40 046	2 904
Las montañas	0.872	0.462	35 621	2.227

Tabla 7.1. Desarrollo humano e ingreso per cápita

Fuente: Calculado a partir de datos de [7]

Políticas y estrategias para economías de montaña sostenibles

Para construir economías de montaña sostenibles es necesario mejorar las economías locales y reducir la desigualdad con respecto a las tierras bajas, a la vez que se garantiza el mantenimiento de los ecosistemas para beneficio de todos. Los esfuerzos que se lleven a cabo para mejorar las economías de montaña también pueden aliviar la presión sobre las tierras bajas cercanas al reducir la migración y las crecientes demandas por servicios sociales, entre otras cosas. Las nuevas políticas deben garantizar que no se sobreexploten los recursos de las montañas para obtener una ganancia económica, ya que la degradación de estos ecosistemas ocasiona daños no sólo a sus comunidades sino también a las regiones en su totalidad y, en última instancia, a todo el planeta. De esta manera, las nuevas iniciativas para

Recuadro 2: Desarrollo del cinturón económico de la Ruta de la Seda, que conecta a Asia con Europa

Durante un discurso en Kazajistán el 7 de septiembre de 2013, el Presidente de China, Xi Jinping, anunció la iniciativa de implementar el tradicional Cinturón Económico de la Ruta de la Seda (SREB por sus siglas en inglés). Otros países que hacen parte de la Ruta de la Seda han acogido la iniciativa. La Antigua Ruta de la Seda (en la latitud más alta) atraviesa China, Mongolia, Rusia, los países de Asia Central y Europa; La otra Ruta de la Seda (a lo largo) se extiende desde el norte de Mongolia, bajando hasta India nororiental, y desde el Norte de Asia Central bajando hasta Afganistán, Pakistán e India; por último, el Cinturón Económico de la Ruta de la Seda también incluye las rutas marítimas que conectan a Europa, África y Asia (Figura 7.1). El gobierno chino, así como varias instituciones, están promoviendo iniciativas afines orientadas a promover el desarrollo económico a la vez que se protege el medio ambiente. El SREB abarca muchas regiones de montaña, lo cual requerirá especial atención con el fin de equilibrar los objetivos de desarrollo económico y la seguridad ambiental [9].

conectar las economías de Asia y Europa a través de la Ruta de la Seda podrían plantear desafíos ambientales (recuadro 2).

Es preciso desarrollar mecanismos globales, regionales y nacionales que reconozcan y compensen a las comunidades de montaña por sus contribuciones para mantener los servicios ecosistémicos que nos benefician a todos. Las políticas también deben brindar incentivos a estas comunidades para que continúen conservando los recursos naturales, mejorando la prestación de servicios ecosistémicos y generando ingresos de formas que sean amigables con el medio ambiente. Dentro de las áreas prometedoras de inversión en las montañas están el ecoturismo y el procesamiento y comercialización de productos de nicho (por ejemplo las plantas medi-



Mejorar la situación de las mujeres: un desafío en el desarrollo de las regiones de montaña (Cortesía de ICIMOD)

Recuadro 3: Políticas para sostener la agricultura de montaña: el ejemplo de Suiza

El gobierno suizo ofrece mejores pagos directos a los agricultores de montaña de acuerdo con parámetros específicos (por ejemplo, la pendiente y la elevación), como una forma de compensarles por el trabajo adicional que implica la gestión sostenible de cuencas y paisajes en nombre de servicios ecosistémicos de mutuo beneficio. Aproximadamente el 68 por ciento de estos agricultores en Suiza recibe apoyo del gobierno, hasta por cerca de US\$150 millones al año [10]. También se otorgan préstamos sin interés para inversión en las zonas de montaña. Este tipo de políticas apoyan la agricultura sostenible, la economía de montaña y los medios de sustento en estas regiones, y estimulan la inversión privada en las zonas montañosas [11].

Recuadro 4: Enfoque comunitario de REDD+: una solución gana-gana

Un amplio porcentaje de la población de Nepal depende en gran parte de los bosques como su medio de subsistencia, lo cual ejerce una presión considerable sobre estos recursos. En 2009, ICIMOD inició un proyecto piloto de REDD+ a cuatro años, para probar la viabilidad de implementar un mecanismo de incentivos REDD+. El proyecto ofreció un incentivo económico por la mejora de la biomasa, el cual ayudó a reducir las emisiones de carbono, mejorar el crecimiento de los bosques y promover el secuestro de carbono, al tiempo que se mejoraron los medios de subsistencia de las personas [12].

cinales). Algunos ejemplos de políticas que favorezcan a las comunidades pobres en las montañas son los pagos especializados (recuadro 3), REDD+ (reducción de las emisiones generadas por la deforestación y la degradación de los bosques; (ver recuadro 4) y los pagos por servicios ecosistémicos (PES por sus siglas en inglés)



La dicotomía de rural-urbano: alpacas pastando en la carretera (B. Wolfinger)

¿Alpacas o llamas? Gestión de la incertidumbre entre los ganaderos de los Altos Andes

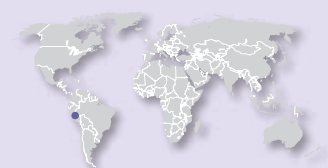
La vida de los pequeños agricultores en los Altos Andes siempre ha estado moldeada por duras condiciones climáticas. En alturas por encima de los 4 000 m la producción de cultivos es prácticamente imposible. En cambio, la producción ganadera ha garantizado un sustento modesto a los campesinos durante siglos. Pero hoy en día las prácticas de subsistencia de los pequeños productores se están haciendo cada vez más difíciles, debido al cambio ambiental y económico. Las condiciones climáticas se han vuelto más impredecibles, la calidad y cantidad de los pastos y el agua ha disminuido y las condiciones del mercado son altamente volátiles.

Marlene Radolf
Gustavo A. Gutiérrez Reynoso
Maria Wurzinger



Rebaño de alpacas en Perú (M. Radolf)

En las provincias de Pasco y Daniel Carrión, en los Andes centrales de Perú, la estrategia predominante de subsistencia para los campesinos es la diversificación de la producción ganadera. La mayoría de ellos mantienen varias especies de ganado en diferentes combinaciones, incluyendo alpacas, ovejas, llamas y vacunos, pues ven la diversificación como una manera de reducir su vulnerabilidad a los cambios o impactos ambientales y económicos. La tradición también juega un papel primordial, ya que los campesinos siguen criando las mismas especies de ganado que se han mantenido durante generaciones. Consideran arriesgado dedicarse a especies únicas, así que muy pocos lo hacen. Aquellos que se especializan tienden a concentrarse en alpacas, ya que en las últimas décadas el mercado global para la fibra de alpaca ha sido relativamente fuerte. Otros pequeños productores que mantienen rebaños diversificados también han aumentado el número de alpacas, a la vez que reducen sus rebaños de ovejas debido a la caída en los precios de la lana.



Las llamas: campeonas en la adaptación a condiciones ambientales difíciles

Las llamas (lama glama) pertenecen a la familia de los camélidos. Han desarrollado diversas adaptaciones que les permiten afrontar mejor las duras condiciones ambientales de los Andes, y producir carne y fibra en condiciones extremas. Sus adaptaciones incluyen:

- Altos niveles de hemoglobina y células rojas de forma elíptica en la sangre, las cuales aumentan su captación de oxígeno, y un corazón de mayor tamaño para bombear oxígeno y protegerlos contra el mal de altura.
- Tracto digestivo de movimiento lento que es capaz de digerir de manera más eficiente un alimento de baja calidad con alto contenido de fibra.
- Metabolismo que se ajusta en los momentos de baja ingesta (energética), disminuyendo sus requerimientos de proteínas y agua y por lo tanto haciéndolas aptas para zonas secas con recursos alimentarios escasos.
- El comportamiento de las llamas en pastoreo favorece los recursos forrajeros. Han dividido sus labios superiores, que son móviles y les ayudan a seleccionar hojas de partes duras de las plantas. Usando sus afilados incisivos, cortan forrajes cortos y ricos en lignina sin dañar toda la planta. Las llamas también tienen en sus patas almohadillas más suaves que otros animales, las cuales les sirven como amortiguador y no compactan o erosionan los suelos en la misma medida [2-4].



Alpacas y llamas: los campesinos peruanos consideran que las llamas son más resistentes para afrontar las incertidumbres climáticas (M. Radólf)



Llama campeona en una exhibición local de animales en Perú (M. Wurzingler)

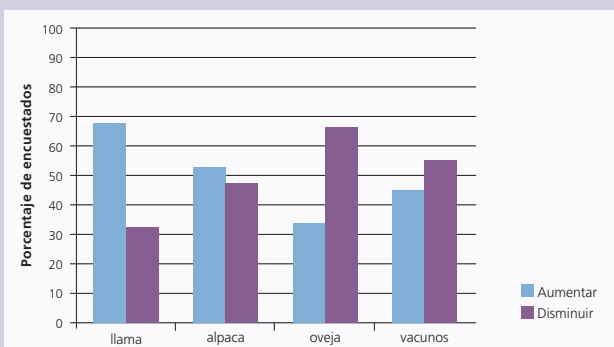
La precipitación anual ha venido disminuyendo en la región durante la última década; ahora es de 900 mm por año, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Además del sobrepastoreo y de las actividades mineras que reducen las áreas de pastizales y el potencial para pastoreo a nivel local, prácticamente todos los agricultores consideran que el cambio climático es una limitante importante para la producción, pero las opiniones difieren en cuanto a su magnitud y en cuanto a la trayectoria del cambio. Muchos mencionan cambios estacionales evidentes, con lluvias que ahora se producen durante la "temporada seca", y poco o nada de lluvia durante la "temporada de lluvias". Algunos perciben menos lluvia durante todo el año, mientras que otros notan un ligero incremento en las precipitaciones en tan sólo los últimos 5 a 10 años. Muchos observan más heladas y más nieve.



Granja en los Andes peruanos (M. Radolf)

¿Alpacas o llamas como respuesta a un clima cambiante?

Los productores tratan de hacer frente a estos nuevos patrones climáticos ajustando la composición de sus rebaños. Cuando se les pregunta acerca de los desarrollos futuros en la composición de especies en sus parcelas, muchos hablan de sus planes para aumentar la cantidad de llamas porque estas se perciben como más resistentes y posiblemente mejor equipadas para afrontar la incertidumbre ambiental y climática (Figura 7.2). La evidencia científica respalda este punto de vista; las llamas son una opción ideal de ganadería en tiempos inciertos (recuadro página 119). Sin embargo, la demanda actual por productos provenientes de las llamas es baja (al igual que los precios), por lo que los campesinos están sometidos a perder ingresos si mantienen más llamas, lo cual es un lujo que no pueden permitirse. Ya alrededor del 65 por ciento de estos pequeños productores debe buscar además otras tareas diferentes a las agropecuarias para poder sobrevivir; esto incluye trabajos en la construcción, los negocios, el transporte, la enseñanza, etc. [1]. La mayoría siente que esta es una tendencia que va en aumento. Es probable que esto también traiga consigo cambios culturales y sociales más amplios, ya que la emigración a las zonas urbanas puede ocasionar un creciente abandono de las tierras, separación de las familias, y comunidades de montaña compuestas más por mujeres, niños pequeños y ancianos. Además, los hijos de los campesinos manifiestan cada vez más su preferencia por los empleos que no involucran la cría de animales. Muchos integrantes de la generación más joven no se sienten atraídos por la perspectiva de permanecer y trabajar en sus tierras en condiciones ambientales difíciles.



Lecciones aprendidas

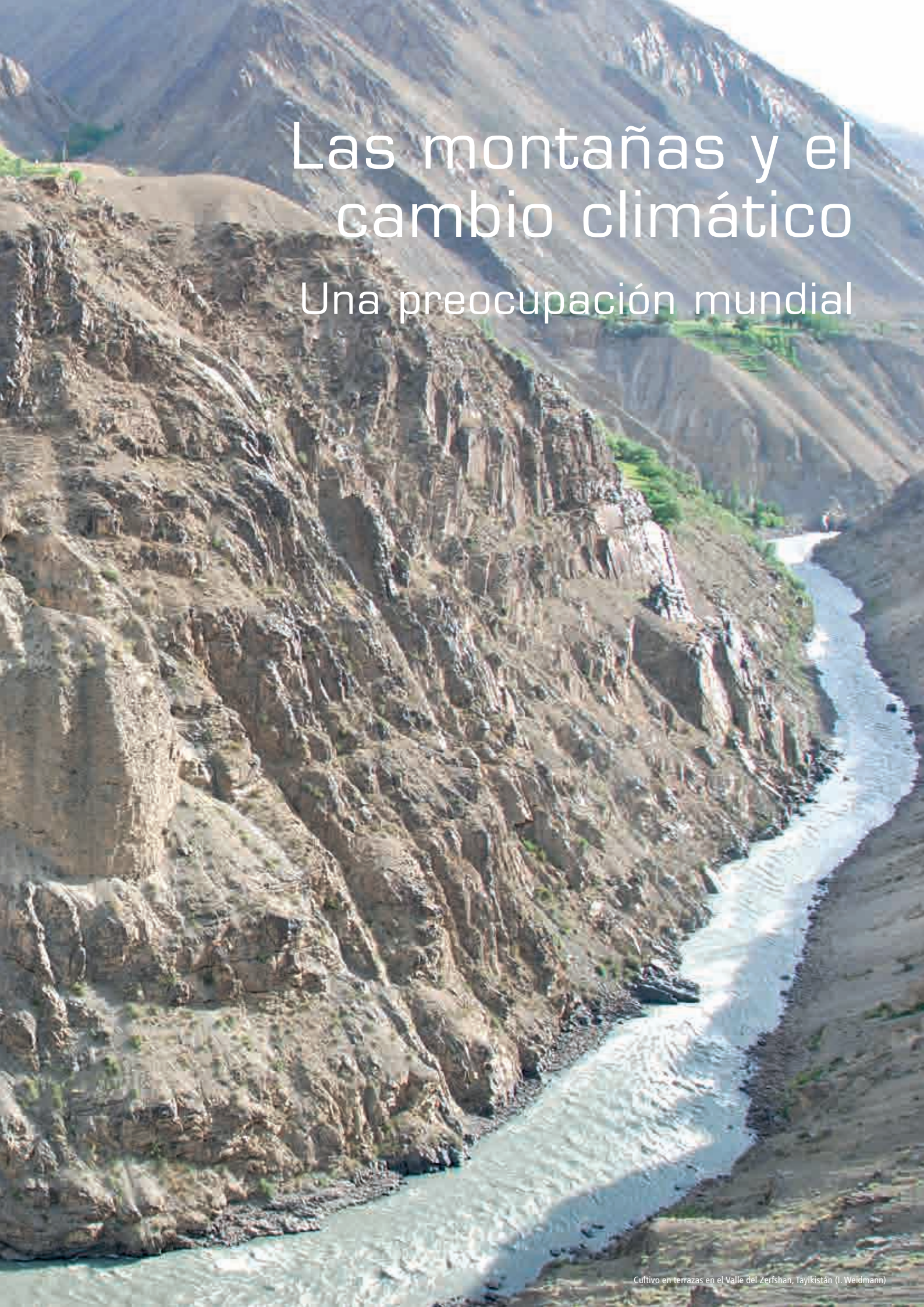
- Se requiere un enfoque integral para el desarrollo rural en los Altos Andes, con el fin de incentivar a los campesinos y a otras personas para que sigan buscando allí sus medios de subsistencia. Los jóvenes, en particular, necesitan tener acceso a mejores oportunidades de educación y de ingresos.
- Los ganaderos necesitan un fuerte apoyo técnico para mejorar su productividad y adoptar nuevas estrategias de producción. Esto requiere un proceso en el que participen diferentes grupos de interés, incluyendo a los campesinos, las ONG, gobiernos locales, instituciones de investigación, universidades e industria.

Figura 7.2. Planes de los agricultores para el desarrollo de la composición de su ganado. Fuente: [1]



Desde temprana edad los niños están involucrados en el manejo de los rebaños, Perú (M. Wurzinger)





Las montañas y el cambio climático

Una preocupación mundial

Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial

Algunas de las señales más claras y visibles del cambio climático, tales como el retroceso de los glaciares, se encuentran en las zonas de montaña. Pero las implicaciones del cambio climático en las montañas se extienden mucho más allá de las regiones de montaña: el cambio climático en las montañas es un tema que concierne a todo el planeta.

Resumen de los temas clave

El cambio climático en las montañas es una realidad. Las regiones de montaña se han calentado considerablemente durante los últimos 100 años, a una tasa comparable con la de las tierras bajas. Mientras está previsto que las temperaturas en las zonas montañosas continuarán aumentando en todo el planeta, las proyecciones de las precipitaciones muestran un patrón más diferenciado, con algunas regiones en las que se esperan más lluvias, como los Andes tropicales, el Hindu Kush Himalayas, Asia Oriental, África Oriental y la región de los Cárpatos. Las regiones para las que se pronostican menos lluvias incluyen las montañas del Mediterráneo, Mesoamérica, Suráfrica y los Andes del Sur. En general, los patrones de precipitación pueden cambiar, y la intensidad puede aumentar (ver Capítulo 1).

Se afectará la disponibilidad de agua; las consecuencias se extenderán mucho más allá de las regiones montañosas. Las montañas abastecen de agua dulce a la mitad de la población mundial. Se tiene previsto que el cambio climático afectará la disponibilidad de estos recursos hídricos, incluso en las regiones donde se esperan más lluvias. Esto se debe a los cambios en los patrones estacionales de precipitación y al incremento de las lluvias a expensas de las nevadas. Como resultado, habrá menos agua disponible cuando más se necesita (Capítulos 2 y 3), con importantes implicaciones para el desarrollo en las zonas montañosas y más allá de ellas, especialmente en lo que concierne al suministro de agua para el riego, el desarrollo urbanístico, la industrialización y la producción de energía hidroeléctrica. Esto requerirá un uso más sostenible del agua, por ejemplo aumentando el almacenamiento, y que se establezcan o reformulen acuerdos para distribuirla más equitativamente al interior de cada país y entre países. Como lo muestran los estudios de caso en esta publicación, unas instituciones efectivas y una buena gobernanza en todos los niveles, basados en una sólida evidencia y en la participación, son cruciales para alcanzar estos objetivos.

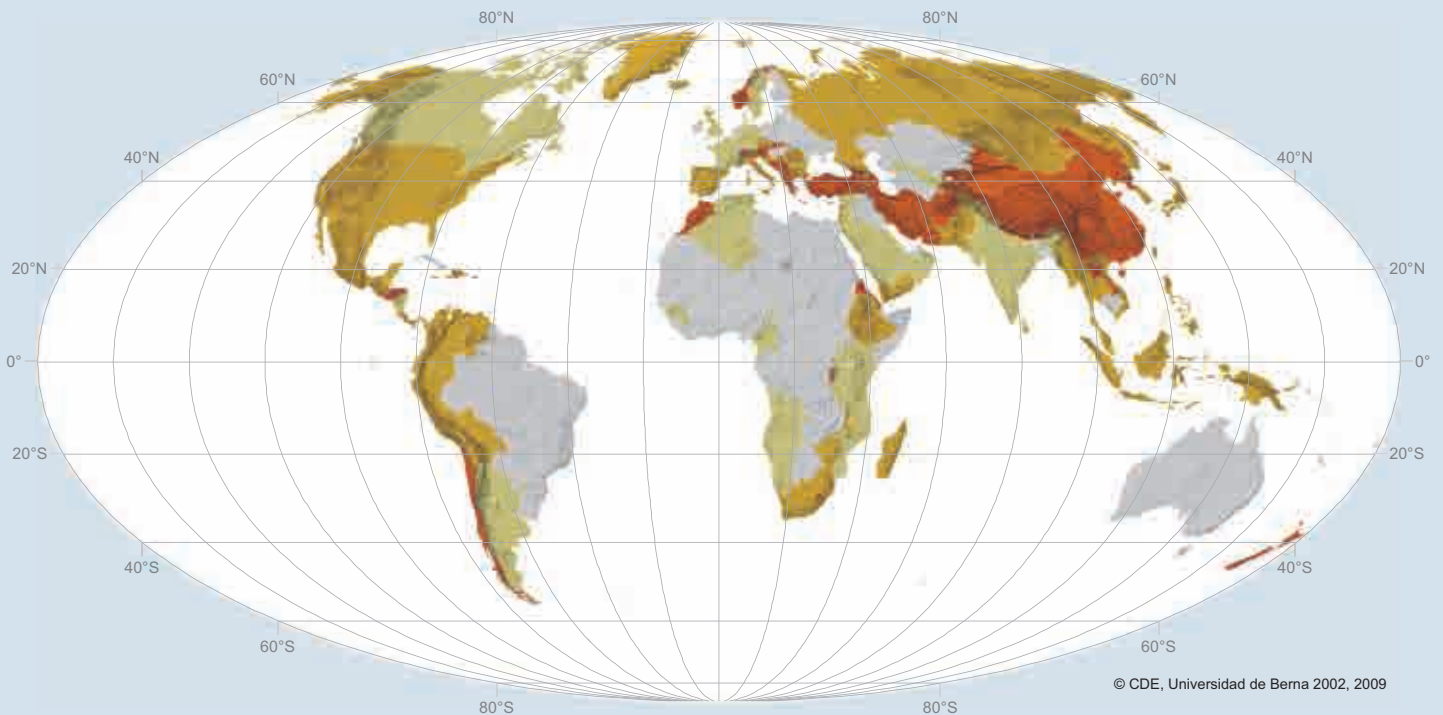
Es probable que el cambio climático aumente el grado de exposición a los peligros. Las zonas montañosas normalmente están expuestas a múltiples amenazas. Eventos extremos tales como tormentas, avalanchas, deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas, pueden volverse más comunes e intensos en las regiones de montaña. La degradación del permafrost y la formación de lagos glaciares implicarán amenazas adicionales. La expansión de asentamientos, carreteras y otras obras de infraestructura en áreas montañosas propensas a desastres pondrá en riesgo a un mayor número de personas (Capítulo 4). Para abordar esto, serán claves un manejo integral de cuencas y una gestión integral de riesgos, incluyendo mejoras en sistemas de alerta temprana, planeación del uso de la tierra, respuesta ante emergencias y esfuerzos de recuperación.

¿Qué le deparará el futuro a la biodiversidad de las montañas? Las montañas albergan cerca de la mitad de los puntos calientes de biodiversidad del planeta. El cambio climático afectará este importante patrimonio mundial de modo específico para cada lugar, y de forma que aún se debate (Capítulo 5). La presión que el hombre ejerce directamente sobre recursos de las montañas tales como el suelo y los minerales también está poniendo en peligro la biodiversidad. Como un punto a favor, mucho se ha logrado ya en la protección de la biodiversidad de montaña, incluyendo la agrobiodiversidad. Las áreas protegidas son una de las categorías de uso de la tierra que más rápidamente han crecido en todo el mundo, especialmente en las regiones de montaña. Sin embargo, las comunidades de montaña deberían obtener, en razón a estos esfuerzos, beneficios más tangibles que los que han recibido hasta ahora. La compensación por los servicios ambientales es un medio clave para lograr este objetivo.

Impactos del cambio climático en la pobreza y la seguridad alimentaria.

Cerca del 12 por ciento de la población mundial vive en las montañas, la gran mayoría en países en vías de desarrollo. En muchas regiones montañosas las tasas de pobreza son más elevadas que en las tierras bajas y la insuficiencia alimentaria está más extendida. En general, el índice de desarrollo humano y el ingreso per cápita son más bajos en las zonas montañosas que en las regiones circundantes (Capítulos 6 y 7). A menudo bastante alejadas de los centros de desarrollo económico, las zonas montañosas suelen ofrecer a sus habitantes un rango muy reducido de opciones cuando se trata de garantizar sus medios de subsistencia. Esto ha desencadenado una emigración generalizada desde las regiones de montaña. No obstante, si bien el cambio climático puede significar una carga adicional para las comunidades de estos ambientes, también puede traer oportunidades: el aumento en las temperaturas podría permitir el cultivo de especies que antes estaban limitadas a altitudes más bajas y podría incrementar la productividad de los pastos. Además, la agricultura climáticamente inteligente también está aumentando en muchas regiones.

Mapa de los países del mundo y sus zonas de montaña



Porcentaje de zona de montaña por país

0–10 %	25–50 %
10–25 %	50–100 %

Fuente del mapa
 Datos del terreno: Interpolación de GTOPO30, producido por US Geological Survey (UGS)
 Administrativo: ESRI Data and Maps
 Proyección del mapa: Mollweide
 Autores del mapa: Sebastian Eugster, Hans Humi, Albrecht Ehrensperger, Thomas Kohler y Kristina Imbach 2002 (CDE, Universidad de Berna)
 Compilación del mapa 2009: Ulla Gaemperli Krauer (CDE, Universidad de Berna)

Escala del mapa: aprox. 1:200,000,000

Poniendo en perspectiva el cambio climático

Las regiones de montaña están expuestas a numerosos factores de cambio, incluyendo la urbanización, la migración, la integración de los mercados, la competencia por los recursos y la presión hacia economías de escala. Estas tendencias más amplias pueden tener impactos inmediatos más directos sobre las regiones de montaña que los generados por el cambio climático. Lo mismo es cierto para los conflictos y la falta de seguridad humana. Por lo tanto, la acción sobre el cambio climático debe estar integrada a una agenda más amplia de desarrollo sostenible. Esta agenda debe reconocer la gran diversidad de estas regiones en términos de su medio ambiente natural y de sus poblaciones, culturas y economías (ver mapa en la página 125). Las políticas de desarrollo diseñadas a la medida de las necesidades y potencialidades de cada región, incluyendo una acción climáticamente inteligente, son una posible avenida de progreso. Involucrar a las poblaciones de montaña en la formulación de estas políticas aumenta el sentido de pertenencia local y brinda oportunidades para utilizar sus valiosos conocimientos sobre medidas de adaptación.

El cambio climático en las montañas: una externalidad enorme y una responsabilidad global

Muchas regiones de montaña están ubicadas en países en vías de desarrollo relativamente pequeños (ver mapa en la página 125). Aunque probablemente su contribución a las causas del cambio climático ha sido poca, deben soportar sus efectos. Desde la perspectiva de estos países, el cambio climático es una externalidad de gran magnitud, asociada con crecientes costos. No obstante, las medidas de adaptación necesarias tendrán que complementarse con esfuerzos orientados a la mitigación pues debe abordarse la causa que subyace en la raíz del problema: las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto requiere una acción dirigida a frenar las emisiones generadas por los centros de crecimiento poblacional y de comercio en las tierras bajas, tanto en los países industrializados como en las economías emergentes. Algunos de los países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero tienen grandes zonas montañosas (ver mapa en la página 125).



Huayna Potosí, Bolivia (M. Andrade)

Mensajes para la formulación de políticas

El cambio climático podría poner en peligro la provisión de bienes y servicios de las montañas

1. Las montañas proveen bienes y servicios esenciales, incluyendo el agua dulce para la mitad de la humanidad, energía hidroeléctrica, una rica biodiversidad, importantes minerales y hermosos paisajes para la recreación y el turismo. Las montañas son vitales para el desarrollo global sostenible y deben incluirse en los marcos de políticas globales.
2. El cambio climático en las montañas es una realidad. Las montañas se han calentado considerablemente durante los últimos 100 años y el calentamiento continuará. Esto podría poner en peligro la provisión de bienes y servicios de las zonas de montaña.
3. La falta de datos sobre el cambio climático en las montañas y sobre sus efectos globales impide una acción efectiva. Es necesario mejorar sustancialmente el monitoreo a largo plazo y el intercambio gratuito e irrestricto de datos estandarizados dentro de cada país y entre ellos.

Medidas probadas para abordar el cambio climático en las montañas

4. El tiempo de actuar es ahora. Las siguientes son algunas de las medidas que han demostrado su efectividad: mejorar el manejo de cuencas a nivel nacional y transfronterizo, mejorar el almacenamiento de agua, expandir la gestión integral de riesgos, conservar la biodiversidad y la agrobiodiversidad que benefician a las comunidades de montaña, promover instituciones efectivas y adhesión a principios de buen gobierno, y construir plataformas para el intercambio de conocimientos y el desarrollo de capacidades.
5. Existen numerosos mecanismos de financiación para la adaptación al cambio climático y para su mitigación, especialmente por parte del sector público y la sociedad civil. Podrían surgir fondos adicionales por parte del sector privado, provenientes de remesas y de fuentes especiales tales como fondos de compensación a las regiones de montaña por los bienes y servicios que proporcionan.

Importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en las montañas

6. Poverty alleviation and improvement of food security demand specific tools that go beyond climate change action. These tools can be complemented by climate-smart agriculture and economic diversification.
7. Considering their vital role in providing key goods and services to humankind, mountains must be included in the climate change debate as well as in the post-2015 development agenda and Sustainable Development Goals.

Referencias y lecturas adicionales

1 El clima y las montañas

El cambio climático y las montañas

- [1] Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild M. & Zhai, P.M. 2013. Observations: Atmosphere and surface. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [2] Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. & Lo, K. 2010. Global surface temperature change. *Revs. Geophys.*, 48(4): 1–29. <http://dx.doi.org/10.1029/2010RG000345>.
- [3] Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J.M., Dufresne, J.L., Fife, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J. & Wehner, M. 2013. Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1029–1136. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [4] Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137(656): 553–597. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>.
- [5] Bradley, R.S., Keimig, F., Diaz, H.F. & Hardy, D.R. 2009. Recent changes in freezing level heights in the tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophys. Res. Lett.*, 36(17): 1–4. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL038826>.

El cambio climático en los Alpes europeos

- [1] Ceppi, P., Scherrer, S.C., Fischer, A.M. & Appenzeller, C. 2012. Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008. *Int. J. Climatol.*, 32(2): 203–213. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2260>.
- [2] Gilbert, A. & Vincent, C. 2013. Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 40(10): 2102–2108, <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50401>.
- [3] Nemeč, J., Gruber, C., Chimani B. & Auer, I. 2013. Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset. *Int. J. Climatol.*, 33(6): 1538–1550. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3532>.
- [4] Hantel, M. & Hirtl-Wielke, L.-M. 2007. Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *Int. J. Climatol.*, 27(10): 1265–1275. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1472>.
- [5] Beniston, M. 2012. Is snow in the Alps receding or disappearing? *WIREs Clim. Chang.*, 3(4): 349–358. <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.179>.
- [6] Brocard, E., Philippon, R., Jeannot, P., Begert, M., Romanens, G., Levrat G. & Scherrer, S.C. 2013. Upper air temperature trends above Switzerland 1959–2011. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118(10): 4303–4317. <http://dx.doi.org/10.1002/jgrd.50438>.
- [7] Perroud, M. & Bader, S. 2013. *Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen*. Umwelt-Zustand Vol. 1308. Bern and Zurich, Switzerland, Federal Office for the Environment and Federal Office of Meteorology and Climatology.
- [8] Lenoir, J., Gégout, J.-C., Guisan, A., Vittoz, P., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N.E., Dullinger, S., Pauli, H., Willner, W., Grytnes, J.-A., Virtanen, R. & Svenning, J.-C. 2010. Cross-scale analysis of the region effect on vascular plant species diversity in southern and northern European mountain ranges. *PLoS ONE*, 5(12): 1–13. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0015734>.
- [9] MeteoSwiss. 2013. *Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht*. Fachberichte Vol. 243. Zürich-Flughafen, Switzerland, Federal Office of Meteorology and Climatology.
- [10] Strauss, F., Formayer, H. & Schmid, E. 2013. High resolution climate data for Austria in the period 2008–2040 from a statistical climate change model. *Int. J. Climatol.*, 33(2): 430–443. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3434>.
- [11] Springer, C., Matulla, C., Schöner, W., Steinacker, R. & Wagner, S. 2013. Downscaled GCM projections of winter and summer mass balance for Central European glaciers [2000–2100] from ensemble simulations with ECHAM5-MPIOM. *Int. J. Climatol.*, 33(2): 1270–1279. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3511>.
- [12] CH2014-Impacts. 2014. *Toward quantitative scenarios of climate change impacts in Switzerland*. Bern, Switzerland, OCCR, MeteoSwiss, FOEN, C2SM, Agroscope & ProClim.

Cambios observados y cambios futuros en los Andes tropicales

- [1] Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendocza, J., Ménégoz, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. & Wagnon, P. 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1): 81–102. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.
- [2] Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. & Bradley, R.S. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Sci. Rev.*, 89(3–4): 79–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>.
- [3] Ramallo, C. 2013. *Caractérisation du régime pluviométrique et sa relation à la fonte du glacier de Zongo (Cordillère Royale)*. Grenoble, France, Université Joseph Fourier. (PhD dissertation)
- [4] Seiler, C., Hutjes, R. & Kabat, P. 2013. Climate variability and trends in Bolivia. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 52(1): 130–146. <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0105.1>.

- [5] Sicart, J.-E., Wagnon, P. & Ribstein, P. 2005. Atmospheric controls of heat balance of Zongo Glacier (16°S, Bolivia). *J. Geophys. Res.*, 110(D12): 1–17. <http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005732>.
- [6] Diaz, H.F., Eischeid, J.K., Duncan, C. & Bradley, R.S. 2003. Variability of freezing levels, melting season indicators, and snow cover for selected high-elevation and continental regions in the last 50 years. *Clim. Chan.*, 59(1–2): 33–52.
- [7] Bradley, R.S., Keimig, F., Diaz, H.F. & Hardy, D.R. 2009. Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophys. Res. Letts.*, 36(17): 1–4. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL038826>.
- [8] Diaz, H.F., Bradley, R.S. & Ning, L. 2014. Climatic changes in mountain regions of the American Cordillera and the Tropics: Historical changes and future outlook. *Arct., Antarct., Alp. Res.*, 46(4). (in press)
- [9] Barnett, T.P., Pierce, D.W., Hidalgo, H.G., Bonfils, C., Santer, B.D., Das, T., Bala, G., Wood, A.W., Nozawa, T., Mirin, A.A., Cayan, D.R. & Dettinger, M.D. 2008. Human-induced changes in the hydrology of the Western United States. *Science*, 319(5866): 1080–1083. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1152538>.
- [10] Breshears, D.D., Huxman, T.E., Adams, H.D., Zou, C.B. & Davison, J.E. 2008. Vegetation synchronously leans upslope as climate warms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 105(33): 11591–11592.
- [11] Cayan, D.R., Kammerdiener, S., Dettinger, M.D., Caprio, J.M. & Peterson, D.H. 2001. Changes in the onset of spring in the Western United States. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 82(3): 399–415.
- [12] Diaz, H.F. & Eischeid, J.K. 2007. Disappearing “Alpine Tundra” Köppen climatic type in the western United States. *Geophys. Res. Lett.*, 34(18): 1–4. <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL031253>.
- [13] Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R. & Swetnam, T.W. 2006. Warming and earlier spring increase in U.S. forest wildfire activity. *Science*, 313(5789): 940–943. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1128834>.
- [14] Garcia, M.L. 2011. *Tres décadas de observación de la vegetación de alta montaña en el Parque Nacional Sajama*. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. (Master's thesis)
- [15] Lutz, D.A., Powell, R.L. & Silman, M.R. 2013. Four decades of Andean timberline migration and implications for biodiversity loss with climate change. *PLoS ONE*, 8(9):1–9. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0074496>.

El cambio climático y el carbono negro en los Himalayas

- [1] UNEP. 2009. *Recent trends in melting glaciers, tropospheric temperatures over the Himalayas and summer monsoon rainfall over India*. Nairobi, Kenya, Division of Early Warning and Assessment, United Nations Environment Programme.
- [2] Gautam, R., Hsu, N.C., Lau, K.M., Tsay, S.C. & Kafatos, M. 2009. Enhanced pre-monsoon warming over the Himalayan-Gangetic region from 1979 to 2007. *Geophys. Res. Lett.*, 36(7): 1–5. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL037641>.

El cambio climático en la región de los Cárpatos

- [1] CARPATCLIM. c2011–2014. *CARPATCLIM: Climate of the Carpathian Region*. <http://www.carpatclim-eu.org>; accessed on 22 Oct 2014.
- [2] CARPIVIA. c2011–2013. CARPIVIA project: Carpathian integrated assessment of vulnerability to climate change and ecosystem-based adaptation measures. <http://www.carpivia.eu>; accessed on 29 Oct 2014.
- [3] CarpathCC. c2010–2014. *CarpathCC: Climate change in the Carpathian region. Climate Change Framework Project*. <http://www.carpathcc.eu>; accessed on 29 Oct 2014.
- [4] UNEP. 2014. *Future imperfect: Climate change and adaptation in the Carpathians*. Vienna, Austria, United Nations Environment Programme.
- Box: CARPIVIA. c2014. *Strategic agenda on adaptation to climate change in the Carpathian region*. http://www.carpathianconvention.org/tl_files/carpathiancon/Downloads/03%20Meetings%20and%20Events/COP/2014_COP4_Mikulov/Follow%20Up/DOC12_Climate%20Change%20Strategic%20Agenda_FINAL_26Sep.pdf; accessed on 29 Oct 2014.

2 El agua de las montañas

El agua de las montañas y el cambio climático desde una perspectiva socioeconómica

- [1] Viviroli, D., Dürr, H.H., Messerli, B., Meybeck, M. & Weingartner, R. 2007. Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resour. Res.*, 43(7): 1–13. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005653>.
- [2] Viviroli, D., Weingartner, R. & Messerli, B. 2003. Assessing the hydrological significance of the world's mountains. *Mount. Res. and Develop.*, 23(1): 32–40.
- [3] Rössler, O., Luzi, B., Addor, N., Figura, S., Köplin, N., Livingstone, D. & Schädler, B. 2014. *Hydrological responses to climate change: River runoff and groundwater*. Bern, Switzerland, Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern.
- [4] Bryan, G., Baraer, M.M., Fernandez, A., Immerzeel, W., Moore, R.D. & Weingartner, R. Forthcoming. Glaciers as Water Resources. In C. Huggel, J. Clague, A. Kääb & M. Carey, eds. *The high-mountain cryosphere: Environmental changes and human risks*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- [5] Meybeck, M., Green, P. & Vörösmarty, C. 2001. A new typology for mountains and other relief classes. *Mount. Res. Develop.*, 21(1): 34–45.
- [6] Price, M.F., Byers, A.C., Friend, D.A., Kohler, T. & Price, L.W., eds. 2013. *Mountain geography: Physical and human dimensions*. Oakland, CA, University of California Press.

Agua de los Andes para los desiertos costeros de Perú

- [1] Acosta, L., Angulo, O. & De Bièvre, B. 2013. *Análisis Hidrológico para mejorar la calidad y el rendimiento del agua en las cuencas de Lima*. Technical Report for the Nature Conservancy.
- [2] Buytaert, W. & De Bièvre, B. 2012. Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Wat. Resour. Res.*, 48(8): 1–13. <http://dx.doi.org/10.1029/2011>.
- [3] Céleri, R., Buytaert, W., De Bièvre, B., Tobón, C., Crespo, P., Molina, J. & Feyen, J. 2010. Understanding the hydrology of tropical Andean ecosystems through an Andean network of basins. In A. Herrmann, S.A. Schumann & L. Holko, eds. *Status and perspectives of hydrology of small basins*, pp. 209–212. IAHS Publication No. 336. Wallingford, UK, International Association for Hydrological Sciences.
- [4] Tovar, C., Arnillas, C.A., Cuesta, F. & Buytaert, W. 2013. Diverging responses of tropical Andean biomes under future climate conditions. *PLoS ONE*, 8(5): 1–12. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0063634>.

Evaluación del balance de aguas en la Cuenca Superior del Indo

- [1] Hewitt, K. 2014. *Glaciers in the Karakoram Himalaya: Glacial environments, processes, hazards and resources*. Heidelberg, Germany, Springer.
 - [2] Winiger, M., Gumpert, M. & Yamout, H. 2005. Karakoram–Hindukush–western Himalaya: Assessing high-altitude water resources. *Hydrol. Proc.*, 19(12): 2329–2338.
 - [3] Gardelle, J., Berthier, E. & Arnaud, Y. 2012. Slight mass gain of Karakoram glaciers in the early twenty-first century. *Nat. Geosci.*, 5(5): 322–325.
 - [4] Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 25(5): 1965–1978.
 - [5] Immerzeel, W.W., Pellicciotti, F. & Shrestha, A.B. 2012. Glaciers as a proxy to quantify the spatial distribution of precipitation in the Hunza basin. *Mt. Res. Dev.*, 32(1): 30–38.
- Fowler, H.J. & Archer, D.R. 2005. Conflicting signals of climate change in the upper Indus Basin. *J. Clim.*, 19(17): 4276–4293. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3860.1>.
- Wiltshire, A.J. 2014. Climate change implications for the glaciers of the Hindu Kush, Karakoram and Himalayan region. *Cryosphere*, 8(17): 941–958.

Impactos del calentamiento global sobre la escorrentía de montaña: mensajes clave del Informe del IPCC

- [1] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M., eds. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [2] IPCC. 2014. Summary for policymakers. In C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1–32. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Opciones de gestión del agua en los Alpes en el contexto del cambio climático

- [1] Reynard, E., Bonriposi, M., Graefe, O., Homewood, C., Huss, M., Kauzlaric, M., Liniger, H., Rey, E., Rist, S., Schädler, B., Schneider, F. & Weingartner, R. 2014. Interdisciplinary assessment of complex regional water systems and their future evolution: How socioeconomic drivers can matter more than climate. *WIREs Water* 1(4): 413–426. <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1032>.
- [2] Huss, M., Voinesco, A. & Hoelzle, M. 2013. Implications of climate change on Glacier de la Plaine Morte. *Geogr. Helv.*, 68(4): 227–237. <http://dx.doi.org/10.5194/gh-68-227-2013>.
- [3] Finger, D., Hugentobler, A., Huss, M., Voinesco, A., Wernli, H., Fischer, D., Weber, E., Jeannin, P.-Y., Kauzlaric, M. & Wirz, A. 2013. Identification of glacial meltwater runoff in a karstic environment and its implication for present and future water availability. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(8): 3261–3277.
- [4] Bonriposi, M. 2013. *Les usages de l'eau dans la Région de Crans-Montana-Sierre: description, quantification et prévisions*. Lausanne, Switzerland, University of Lausanne. (PhD dissertation)
- [5] Schneider, F. & Homewood, C. 2013. Exploring water governance arrangements in the Swiss Alps from the perspective of adaptive capacity. *Mt. Res. Dev.*, 33(3): 225–233.
- [6] Schneider, F., Bonriposi, M., Graefe, O., Herweg, K., Homewood, C., Huss, M., Kauzlaric, M., Liniger, H., Rey, E., Reynard, E., Rist, S., Schädler, B. & Weingartner, R. 2014. Assessing the sustainability of water governance systems: The sustainability wheel. *J. Env. Plan. Manag.* <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2014.938804>.

Traslado de una aldea completa como último recurso

- [1] Devkota, F. 2013. Climate change and its socio-cultural impact in the Himalayan region of Nepal: A visual documentation. *Anthrovision*, 1(2). <http://anthrovision.revues.org/589>.
- [2] Bernet, D., Pittet, D., Ambrosi, C., Kappenberger, G. & Passardi, M. 2012. Moving down or not? A key question for Samzong, Yara and Dheye, three villages in Upper Mustang, Mustang District, Nepal. Part IV: Dheye. Avegno, Switzerland, Kam For Sud and SUPSI. http://ita.kamforsud.org/wp-content/uploads/PartIV_Dheye.pdf; accessed on 29 Oct 2014.
- [3] Bernet, D., Baumer, M., Devkota, F. & Lafranchi Pittet, S. 2014. Moving down or not? Phase II: Dheye. Water supply related technical support for the necessary resettlement of Dheye village in Thangchung. Avegno, Switzerland, Kam For Sud and SUPSI. http://ita.kamforsud.org/wp-content/uploads/PhaseII_Dheye.pdf; accessed on 29 Oct 2014.

El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares

- [1] Jansson, P., Hock, R. & Schneider, T. 2003. The concept of glacier storage: A review. *J. Hydrol.*, 282(1): 116–129.
- [2] Kaser, G., Grosshauser, M. & Marzeion, B. 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *PNAS*, 107(47): 20223–20227. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1008162107>.
- [3] Huss, M. 2011. Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resour. Res.*, 47(7): 1–14.
- [4] Marzeion, B., Jarosch, A.H. & Hofer, M. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere*, 6(4): 1295–1322.

3 Los glaciares de montaña

Los glaciares de montaña: sobre hielo quebradizo

- [1] Haeberli, W. 1998. Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring. In W. Haeberli, M. Hoelzle & S. Suter, eds. *Into the second century of worldwide glacier monitoring: Prospects and strategies*, pp. 35–51. Paris, France: UNESCO.
- [2] Zemp, M. 2012. *The Monitoring of Glaciers at Local, Mountain, and Global Scale*. Schriftenreihe Physische Geographie, Vol. 65. University of Zurich, Switzerland. (habilitation treatise)
- [3] Zemp, M., Nussbaumer, S.U., Naegeli, K., Gärtner-Roer, I., Paul, F., Hoelzle, M. & Haeberli, W., eds. 2013. *Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011)*. Zurich, Switzerland: WGMS, ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, WMO. <http://dx.doi.org/10.5904/wgms-fog-2013-11>.
- [4] Vaughan, D.G., Comiso, J.C., Allison, I., Carrasco, J., Kaser, G., Kwok, R., Mote, P., Murray, T., Paul, F., Ren, J., Rignot, E., Solomina, O., Steffen, K. & Zhang, T. 2013. Observations: Cryosphere. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 317–382. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [5] Radić, V. & Hock, R. 2010. Regional and global volumes of glaciers derived from statistical upscaling of glacier inventory data. *J. Geophys. Res.*, 115(F1): 1–10. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JF001373>.
- [6] Huss, M. & Farinotti, D. 2012. Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe. *J. Geophys. Res.*, 117(F4): 1–10. <http://dx.doi.org/10.1029/2012JF002523>.
- [7] Marzeion, B., Jarosch, A.H. & Hofer, M. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere*, 6(4): 1295–1322.
- [8] Solomina, O., Haeberli, W., Kull, C. & Wiles, G. 2008. Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Glob. Planet. Chang.*, 60(1–2): 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.00>.
- [9] Oerlemans, J., Giesen, R.H. & Van Den Broeke, M.R. 2009. Retreating alpine glaciers: Increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret de Morèratsch, Switzerland). *J. Glaciol.*, 55(192): 729–736. <http://dx.doi.org/10.3189/002214309789470969>.
- [10] Paul, F., Machguth, H. & Käab, A. 2005. On the impact of glacier albedo under conditions of extreme glacier melt: The summer of 2003 in the Alps. *EARSEL Proc.*, 4(2): 139–149.
- [11] Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. & Unnikrishnan, A.S. 2013. Sea level change. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1137–1216. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [12] Linsbauer, A., Paul, F. & Haeberli, W. 2012. Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach. *J. Geophys. Res.*, 117(F3): 1–17. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JF002313>.
- [13] Haeberli, W. 2013. Mountain permafrost: Research frontiers and a special long-term challenge. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 96(1): 71–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2013.02.004>.
- [14] Kaser, G., Grosshauser, M. & Marzeion, B. 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *PNAS*, 107(47): 20223–20227. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1008162107>.
- [15] UNEP. 2007. *Global outlook for ice and snow*. Nairobi, Kenya, UNEP. http://www.unep.org/geo/geo_ice/; accessed on 29 Oct 2014.

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

No hay referencias o lecturas adicionales.

Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

- [1] Francou, B., Ribstein, P., Saravia, R. & Tiriau, E. 1995. Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier: Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia. *J. Glaciol.*, 41(137): 61–67.
- [2] Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégot, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. & Wagnon, P. 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1): 81–102. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.
- [3] Vergara, W., Deeb, A.M., Valencia, A.M., Bradley, R.S., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. & Haeussling, S.M. 2007. Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *Eos*, 88(25): 261–264.

4 Amenazas en las montañas

Cambio climático y amenazas en las montañas

- [1] UN. 2014. *World urbanization prospects, the 2014 revision*. <http://esa.un.org>; accessed on 29 Oct 2014.
- [2] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M., eds. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [3] WMO. c2014. *World Meteorological Organization*. <http://www.wmo.int>; accessed on 29 Oct 2014.
- [4] CRED. c2009–2014. *EM-DAT: The international disaster database*. Version 12.07. Brussels, Belgium, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. <http://www.emdat.be>; accessed on 18 Aug 2014.

Cambio climático y control de la erosión en Japón

- [1] MLIT. 2012. *White paper on land, infrastructure, transport and tourism in Japan, 2011*. Tokyo, Japan, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. <http://www.mlit.go.jp/english/white-paper/2011.pdf>; accessed on 29 Oct 2014.

Inundaciones monzónicas atípicas en la cordillera Transhimalaya en India

- Bookhagen, B., Thiede, R.C. & Strecker, M.R. 2005. Abnormal monsoon years and their control on erosion and sediment flux in the high, arid northwest Himalaya. *Earth and Planet. Sci. Letts.*, 231(1–2): 131–146.
- Hobley D.E.J., Sinclair H.D. & Mudd, S.M., 2012. Reconstruction of a major storm event from its geomorphic signature: The Ladakh floods, 6 August 2010. *Geol.*, 40(6): 483–486.

Reduciendo la vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos en la región Indo Himalaya

- Dobhal, D.P., Gupta, A.K., Mehta, M. & Khandelwal, D.D. 2013. Kedarnath disaster: facts and plausible causes. *Curr. Sci.*, 105(2): 171–174.

El elusivo pasado de Pokhara

- Fort, M. 2010. The Pokhara Valley: The product of a natural catastrophe. In P. Migo, ed. *Geomorphological Landscapes of the World*, pp. 265–274. Berlin, Germany, Springer.
- Ives, J.D., Shresta, R.B. & Mool, P.K. 2010. *Formation of glacial lakes in the Hindu Kush-Himalayas and GLOF risk assessment*. Kathmandu, Nepal, ICIMOD, UNISDR, GFDRR.
- Quincey, D.J., Richardson, S.D., Luckman, A., Lucas, R.M., Reynolds, J.M., Hambrey, M.J. & Glasser, N.F. 2007. Early recognition of glacial lake hazards in the Himalaya using remote sensing datasets. *Glob. Planet. Chan.*, 568(1–2): 137–152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.013>.

5 Biodiversidad en las montañas

La biodiversidad en las montañas: patrimonio natural amenazado

- [1] Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barančok, P., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Calzado, M.R.F., Kazakis, G., Krajčič, J., Larsson, P., Mallau, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutsrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I. & Grabherr, G. 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nat. Clim. Chan.*, 2(2): 111–115.
 - [2] Scherrer, D. & Körner, C. 2011. Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. *J. Biogeogr.*, 38(2): 406–416.
 - [3] IPCC. 2014. Summary for policymakers. In C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1–32. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
 - [4] Körner, C. 2013. Alpine ecosystems. In S.A. Levin, ed. *Encyclopedia of biodiversity*, 2nd edition, Vol. 1, pp. 148–157. Amsterdam, The Netherlands, Academic Press.
- Körner, C., Paulsen, J. & Spehn, E.M. 2011. A definition of mountains and their bioclimatic belts for global comparisons of biodiversity data. *Alp. Bot.*, 121(2): 73–78.

Irán: Hábitat de una flora única amenazada por el calentamiento global

- [1] Noroozi, J., Pauli, H., Grabherr, G., Breckle, S.W. 2011. The subnival–nival vascular plant species of Iran: A unique high-mountain flora and its threat from climate warming. *Biodiver. Conserv.*, 20(6): 1319–1338.
- Noroozi, J. 2014. *A glance at the wild flowers of Iranian mountains*. 2nd edition. Teheran, Iran, Karim Khan Zand.
- Noroozi, J., Akhiani, H., Breckle, S.W. 2008. Biodiversity and phytogeography of the alpine flora of Iran. *Biodiver. Conserv.*, 17(3): 493–521.

Manejo de zonas de pastoreo resilientes al clima en las tierras altas de Etiopía

- [1] Melese, B. 1992. Integrated planning and rehabilitation of arable lands: The case of Sirinka catchment, Ethiopia. In Queensland Department of Primary Industries, editor. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Integrated Land Use Management for Tropical Agriculture*. Brisbane, Australia, Queensland Department of Primary Industries.
- [2] Tompkins, E.L. & Adger, W.N. 2004. Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecol. Soc.*, 9(2): 10. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10/>; accessed on 29 Oct 2014.
- [3] Aregu, L., Darnhofer, I. & Wurzing, M. 2013. Does excluding women undermine the resilience of communal grazing land? A case study in Amhara region, Ethiopia. In European Society for Rural Sociology, ed. *Rural resilience and vulnerability: The rural as locus of solidarity and conflict in times of crisis*, Proceedings of the XXVth ESRS Congress, 29 July–1 August in Florence, Italy, pp. 283–284. Pisa, Italy, Laboratorio di studi rurali SISMONDI.
- [4] Aregu, L. 2014. *Resilience-based management of communal grazing land in Amhara region, Ethiopia*. Vienna, Austria, University of Natural Resources and Life Sciences. (PhD dissertation)

Bosques de montaña para conservar la biodiversidad y proteger contra las amenazas naturales

- [1] Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.-J. & Wasser, B. 2006. Management of protection forests in the European Alps: An overview. *For. Snow Landsc. Res.*, 80(1): 23–44.
- [2] Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. & Mosseler, A. 2009. *Forest resilience, biodiversity, and climate change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. CBD Technical Series, Vol. 43. Montreal, Canada, Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- [3] Stadelmann, G., Bugmann, H., Wermelinger, B., Meier, F. & Bigler, C. 2013. A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestations by the European spruce bark beetle. *Ecograp.*, 36(11): 1208–1217. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00177.x>.
- [4] Kraus, D. & Krumm, F., eds. 2013. *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. Freiburg, Germany, European Forest Institute.
- [5] Kulakowski, D. & Bebi, P. 2004. Range of variability of unmanaged subalpine forests. *Forum für Wissen*, 2004: 47–54.
- [6] FOEN. c2005–2014. *Nachhaltigkeit im Schutzwald (Projekt Nais)*. Bern, Switzerland, Federal Office for the Environment. <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01920/01963/index.html?lang=de>; accessed on 22 Oct 2014.

6 Seguridad alimentaria en las montañas

Montañas, cambio climático y seguridad alimentaria

- [1] FAO. 2003. *Towards a GIS-based analysis of mountain environments and populations*. Environment and Natural Resources Working Paper, No. 10. Rome, Italy, FAO. <http://www.fao.org/3/a-y4558e.pdf>; accessed on 4 Nov 2014.
 - [2] Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. & White, L.L., eds. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
 - [3] FAO. 2014. *Success stories on climate-smart agriculture*. Rome, Italy, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3817e.pdf>; accessed on 4 Nov 2014.
 - [4] FAO. 2012. *FAO statistical yearbook 2012: World food and agriculture*. Rome, Italy, FAO. <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>; accessed on 4 Nov 2014.
- FAO, WFP & IFAD. 2012. *The state of food insecurity in the world 2012: Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome, Italy, FAO, WFP & IFAD.

Conservación de la agroforestería en el Monte Kilimanjaro

- FAO. 2014. *Success stories on climate-smart agriculture*. Rome, Italy, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3817e.pdf>; accessed on 4 Nov 2014.
- UNEP. 2012. *Africa without ice and snow. Thematic focus: Climate change and ecosystem management*. UNEP Glob. Env. Alert Serv., August 2012. http://na.unep.net/geas/archive/pdfs/GEAS_Aug2012_Africa_glaciers.pdf; accessed on 29 Oct 2014.

Adaptación al cambio climático en los Andes peruanos

- [1] Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Brecher, H., Davis, M., Leon, B., Les, D., Lin, P.-N., Mashiotto, T. & Mountain, K. 2006. *Abrupt tropical climate change: Past and present*. *PNAS*, 103(28): 10536–10543. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0603900103>.
- [2] Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Davis, M.E., Zagorodnov, V.S., Howat, I.M., Michalenko, V.N. & Lin, P.N. 2013. *Annually resolved ice core records of tropical climate variability over the past ~1800 years*. *Science*, 340(6135): 945–950. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1234210>.
- [3] Postigo, J.C. 2014. *Perception and resilience of Andean populations facing climate change*. *J. Ethnobiol.*, 34(3): 383–400. <http://dx.doi.org/10.2993/0278-0771-34.3.383>.
- [4] Postigo, J.C. 2013. *Adaptation of Andean herders to political and climatic changes*. In Lozny, L.R., ed. *Continuity and change in cultural adaptation to mountain environments*. New York, NY, USA, Springer.

Fomento del uso eficiente del agua en Asia Central

- FAO. 2014. *Success stories on climate-smart agriculture*. Rome, Italy, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3817e.pdf>; accessed on 4 Nov 2014.

Seguridad alimentaria en el Hindu Kush Himalayas y la carga adicional del cambio climático

- [1] FAO, IFAD & WFP. 2013. *The state of food insecurity in the world 2013: The multiple dimensions of food security*. Rome, Italy, FAO, IFAD & WFP.
- [2] Kurvits, T., Kaltenborn, B., Nischalke, S., Kharky, B. Jurek, M. & Aase, T. 2014. *The last straw: Food security in the Hindu Kush Himalayas and the additional burden of climate change*. Arendal, Norway, GRID-Arendal, CICERO & ICIMOD.
- [3] Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E. & Surjan, A. 2014. Asia. In V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1327–1370. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Rasul, G. 2010. The role of the Himalayan mountain systems in food security and agricultural sustainability in South Asia. *Int. J. Rur. Manag.*, 6(1): 95–116. <http://dx.doi.org/10.1177/097300521100600105>.
- Aase, T., Chaudhary, R.P. & Vetaas, O.R. 2009. Farming flexibility and food security under climatic uncertainty: Manang, Nepal Himalaya. *Area*, 42(2): 228–238. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4762.2009.00911.x>
- Giribabu, M. 2013. Food and nutritional security in north east India: Some contemporary issues. *Int. J. Dev. Res.*, 3(5): 1–8.
- Lutz, A.F. & Immerzeel, W.W. 2013. *Water availability analysis for the upper Indus, Ganges, Brahmaputra, Salween and Mekong river basins. Final Report to ICIMOD, September 2013*. FutureWater Report, No. 127. Wageningen, The Netherlands, FutureWater.
- Verma, R., Khadka, M., Badola, R. & Wangdi, C. 2011. *Gender experiences and responses to climate change in the Himalayas: ICIMOD's Interactive Panel at the Women's World Congress, 3–7 July 2011, Ottawa, Canada*. Kathmandu, Nepal, ICIMOD.

7 Economía de montaña

Economías de montaña, desarrollo sostenible y cambio climático

- [1] Molden, D. & Sharma, E. 2013. ICIMOD's Strategy for delivering high-quality research and achieving impact for sustainable mountain development. *Mt. Res. Dev.*, 33(2): 179–183.
- [2] McNeill, J. 2005. Modern global environmental history. *IHDP Update*, 2005(2): 1–3.
- [3] Rasul, G. 2014. Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. *Env. Sci. Pol.*, 39(1): 35–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.01.010>.
- [4] Kohler, T. & Pratt, J. 2012. *Sustainable mountain development, green economy, and institutions: From Rio 1992 to Rio 2012 and beyond. Global report, final draft*. Bern, Switzerland, Swiss Agency for Development and Cooperation.
- [5] Sharma, E. & Molden, D. 2014. The Himalayas: A hotspot for climate change. In S. Varadarajan, ed. *The Hindu survey of the environment: Himalayas, the Challenge*, pp. 14–19. Chennai, Madras, India, The Hindu.
- [6] Akramov, K. & Malek, M. 2014. *Agricultural biodiversity, dietary diversity, and nutritional outcomes: Empirical evidence from Tajikistan*. Bishkek, Kyrgyzstan, University of Central Asia. (paper presented at the Regional Conference on Agricultural Transformation and Food Security in Central Asia, Bishkek, Kyrgyz Republic, 8–9 April 2014)
- [7] UNDP. 2014. *Human development reports*. New York, NY, USA, UNDP. <http://hdr.undp.org/en/data>; accessed on 5 November 2014.
- [8] Oxfam America. 2009. *Mining conflicts in Peru: Condition critical*. Boston, MA, USA, Oxfam America.
- [9] Sharma, E. 2014. Hindu Kush Himalayas and South Asia: Environmental Sustainability and economic integration as part of Silk Road economic zone. Kathmandu, Nepal, ICIMOD. (paper presented at the International Conference on Ecology, Environment and Sustainable Development of the Silk Road Economic Belt, Beijing, China, 15–16 June 2014)
- [10] Becker, G. 2006. On agricultural subsidies by rich countries. *The Becker-Posner Blog*. <http://www.becker-posner-blog.com/2006/06/on-agricultural-subsidies-by-rich-countries-becker.html>; accessed on 14 July 2014.
- [11] FAO. 2011. *Why invest in sustainable mountain development?* Rome, Italy, Food and Agriculture Organization.
- [12] Khadka, M., Karki, S., Karki, B., Kotru, R. & Darjee, K. 2014. Gender equality challenges to the REDD+ initiative in Nepal. *Mt. Res. Dev.*, 34(3): 197–207.

¿Alpacas o llamas? Gestión de la incertidumbre entre los ganaderos de los Altos Andes

- [1] Radolf, M. 2014. *Livelihood and production strategies of smallholder livestock keepers in the Central Peruvian Andes*. Vienna, Austria, University of Natural Resources and Life Sciences. (Master's thesis)
- [2] Lewis, J.H. 1976. Comparative hematology—Studies on camelidae. *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiol.*, 55(4): 367–371.
- [3] Genin, D. & Tichit, M. 1997. Degradability of Andean range forages in llamas and sheep. *J. Range Manag.*, 50(4): 381–385.
- [4] San Martin, F. & Bryant, F.C. 1989. Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Res.*, 2(3): 191–216.
- Gutierrez, G., Mendoza, A., Wolfinger, B., Quina, E., Rodriguez, A., Mendoza, M., Tantauilca, F., Wurzinger, M. 2012. *Caracterización de la crianza de llamas de la Sierra Central del Perú*. (paper presented at the VI Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos, Arica, Chile, 21–23 November 2012)
- Wolfinger, B. 2012. *Characterisation of the production system of llamas and description of breeding strategies of smallholders in the Central Peruvian Andes*. Vienna, Austria, University of Natural Resources and Life Sciences. (Master's thesis)
- Wurzinger, M., Rodriguez, A., Gutierrez, G. 2013. Design of a community-based llama breeding program in Peru: A multi-stakeholder process. In EAAP, ed. *Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, p. 510. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers.

Autores

Los editores desean agradecer a los siguientes expertos por sus contribuciones para esta publicación:

1 El clima y las montañas

El cambio climático y las montañas

Stefan Brönnimann
Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático e Instituto de Geografía
Universidad de Berna, Suiza
stefan.broennimann@giub.unibe.ch

Marcos Andrade
Laboratorio de Física Atmosférica
Instituto de Investigación de Física
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz, Bolivia
mandrade@fiums.edu.bo

Henry F. Diaz
Instituto Cooperativo para la Investigación en Ciencias Ambientales
Universidad de Colorado y
Laboratorio de Investigación de Sistemas Terrestres de la NOAA
Boulder, CO, EE.UU.

El cambio climático en los Alpes europeos

Same authors as for Climate Change and Mountains

Cambios observados y cambios futuros en los Andes tropicales

Los mismos autores de El cambio climático y las montañas

El cambio climático y el carbono negro en los Himalayas

Los mismos autores de El cambio climático y las montañas

El cambio climático en la región de los Cárpatos

Sandor Szalai
Universidad de Szent Istvan
Godollo, Hungría
szalai.sandor@mkk.szie.hu

Matthias Jurek
Unidad de apoyo de GRID-Arendal
PNUMA Viena
Viena, Austria
Matthias.JUREK@unvienna.org

Harald Egerer
PNUMA Viena
Secretaría del Convenio de los Cárpatos
Viena, Austria
harald.egerer@unvienna.org

2 El agua de las montañas

El agua de las montañas y el cambio climático desde una perspectiva socioeconómica

Rolf Weingartner
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Agua de los Andes para los desiertos costeros de Perú

Bert De Bièvre and Luis Acosta
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN)
Lima, Perú
bert.debievre@condesan.org

Evaluación del balance de aguas en la Cuenca Superior del Indo

Uwe Boerst and Matthias Winiger
Departamento de Geografía
Universidad de Bonn, Alemania
uboerst@uni-bonn.de

Impactos del calentamiento global sobre la escorrentía de montaña: mensajes clave del Informe del IPCC

Rolf Weingartner and Martina Kauzlaric
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Opciones de gestión del agua en los Alpes en el contexto del cambio climático

Bruno Schaedler
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
bruno.schaedler@giub.unibe.ch

Olivier Graefe
Unidad de Geografía, Departamento de Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza

Emmanuel Reynard
Instituto de Geografía y Durabilidad
Universidad de Lausana, Suiza

Stephan Rist
Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE)
Universidad de Berna, Suiza

Rolf Weingartner
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza

Traslado de una aldea completa como último recurso

Daniel Bernet
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
daniel.bernet@giub.unibe.ch

Silvia Lafranchi Pittet
Kam For Sud
Lugano, Suiza
silvia.lafranchi@ticino.com
info@kamforsud.org

Fidel Devkota
Instituto de Antropología Social y Cultural
Universidad Libre de Berlín, Alemania
fideldevkota@gmail.com

El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares

Ben Marzeion and Georg Kaser
Instituto de Meteorología y Geofísica
Universidad de Innsbruck, Austria
ben.marzeion@uibk.ac.at

3 Los glaciares de montaña

Los glaciares de montaña

Michael Zemp and Wilfried Haeberli,
Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS) y Departamento de Geografía
Universidad de Zurich, Suiza
michael.zemp@geo.uzh.ch

Martin Hoelzle
Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS) y Departamento de Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza
Martin.hoelzle@unifr.ch

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

Ryskul Usabaliev y Erlan Azisov
Instituto de Asia Central de Geociencias Aplicadas (CAIAG)
Bishkek, Kirguistán
michael.zemp@geo.uzh.ch

Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

Bolivar Cáceres
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)
Quito, Ecuador
michael.zemp@geo.uzh.ch

Jorge Luis Ceballos
Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales
Bogotá, Colombia
michael.zemp@geo.uzh.ch

4 Amenazas en las montañas

Cambio climático y amenazas en las montañas

Oliver Korup
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Cambio climático y control de la erosión en Japón

Yuichi S. Hayakawa
Centro para la Ciencia de la Información
Territorial
University of Tokyo, Japan

Norifumi Hotta
Facultad de Ciencias de la Vida y del
Medio Ambiente
Universidad de Tsukuba, Japón
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Inundaciones monzónicas atípicas en la cordillera Transhimalaya en India

Jan Blöthe and Henry Munack
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Reduciendo la vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos en la región Indo Himalaya

Nadine Salzmann
Departamento of Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza
nadine.salzmann@unifr.ch

Janine Kuriger and Shirish Sinha
Agencia Suiza para el Desarrollo y la
Cooperación (COSUDE)
Delhi, India

Kirtiman Awasthi and Mustafa Ali Khan
Programa de Adaptación Climática Indo
Himalaya
Unidad de Gestión de Proyectos (PMU)
Delhi, India

El elusivo pasado de Pokhara

Wolfgang Schwanghart, Anne Bernhardt y
Amelie Stolle
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

5 Biodiversidad en las montañas

La biodiversidad en las montañas: patrimonio natural amenazado

Katrin Rudmann-Maurer, Eva Spehn, y
Christian Körner
Evaluación Mundial de la Diversidad Bioló-
gica en las Montañas (GMBA)
Instituto de Botánica
Universidad de Basilea, Suiza
gmba@unibas.ch

Irán: Hábitat de una flora única amenazada por el calentamiento global

Jalil Noroozi
Departamento de Biología de la Conserva-
ción, Vegetación, y Ecología del Paisaje
Universidad de Viena, Austria
noroozi.jalil@gmail.com

Manejo de zonas de pastoreo resilientes al clima en las tierras altas de Etiopía

Lemlem Aregu
Centro de Investigación para el Desarrollo
(CDR)
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria

Ika Darnhofer
Departamento de Economía y Ciencias
Sociales
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria

Maria Wurzinger
Departamento de Sistemas Agrícolas
Sostenibles
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria
maria.wurzinger@boku.ac.at

Bosques de montaña para conservar la biodiversidad y proteger contra las amenazas naturales

Peter Bebi
Instituto Federal Suizo para la Investigación
de los Bosques, la Nieve y el Paisaje WSL-SLF
Davós, Suiza
bebi@slf.ch

Frank Krumm
Instituto Forestal Europeo
Oficina Regional de Europa Central EFICENT
Friburgo, Alemania

6 Seguridad alimentaria en las montañas

Montañas, cambio climático y seguridad alimentaria

Thomas Hofer, Sara Manuelli y Alessia Vita
Alianza para las Montañas
Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Roma, Italia
thomas.hofer@fao.org

Conservación de la agroforestería en el Monte Kilimanjaro

Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Roma, Italia
climate-change@fao.org

Adaptación al cambio climático en los Andes peruanos

Julio C. Postigo
Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Representación en Perú
Lima, Perú
Julio.Postigo@fao.org

Fomento del uso eficiente del agua en Asia Central

Aida Jamangulova
Agencia para Iniciativas de Desarrollo (ADI)
Bishkek, Kirguistán
aidajam@mail.ru

Seguridad alimentaria en el Hindu Kush Himalayas y la carga adicional del cambio climático

Tiina Kurvits y Lawrence Hislop
GRID-Arendal
Arendal, Noruega
Tiina.Kurvits@grida.no

7 Economía de montaña

Economías de montaña, desarrollo sostenible y cambio climático

Golam Rasul y Eklabya Sharma
Centro Internacional para el Desarrollo
Integrado de las Montañas (ICIMOD)
Katmandú, Nepal
Golam.Rasul@icimod.org

¿Alpacas o llamas? Gestión de la incertidumbre entre los ganaderos de los Altos Andes

Marlene Radolf y Maria Wurzinger
Departamento de Sistemas de Agricultura
Sostenible
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria
maria.wurzinger@boku.ac.at

Gustavo A. Gutierrez Reynoso
Departamento de Producción Animal
UNALM - Universidad Nacional Agraria La
Molina
Lima, Perú

Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial


Thomas Kohler, André Wehrli, Matthias Jurek
Ver afiliación en: Editores
y Keith Alverson
PNUMA/DEPI
keith.alverson@unep.org

Editores

Thomas Kohler
Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE)
Universidad de Berna
Berna, Suiza
thomas.kohler@cde.unibe.ch

André Wehrli
Departamento Federal de Asuntos Exteriores (DFAE)
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)
Dominio de Cooperación Global / División de Cambio Climático (PGCC)
Berna, Suiza
andre.wehrli@eda.admin.ch

Matthias Jurek
Unidad de soporte de GRID-Arendal
PNUMA Viena
Viena, Austria
matthias.jurek@unvienna.org



Las montañas se cuentan ya entre las regiones del mundo más afectadas por el cambio climático, con implicaciones futuras que se extenderán mucho más allá de sus límites, tal como lo muestran las contribuciones incluidas en esta publicación, preparada para la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 20), en Lima 2014. Los temas tratados son el agua, los glaciares y el permafrost, las amenazas, la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la economía. Los estudios de caso incluidos muestran que en muchas zonas montañosas del mundo se han emprendido acciones concretas de adaptación. La publicación finaliza con una serie de recomendaciones para el desarrollo sostenible de las regiones de montaña frente al cambio climático.

ISBN: 978-3-905835-39-7