

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ALTA MONTAÑA

Una perspectiva internacional con una mirada a los Pirineos

Nerea Bilbao Barrenetxea y Sérgio Henrique Faria

Las altas montañas son una de las regiones más afectadas por el cambio climático. La compleja red de interacciones que existe en estas regiones entre las estructuras climáticas, biológicas y socioculturales se está viendo alterada. Mediante este trabajo tratamos de poner en el punto de mira los desafíos a los que se enfrentan estas regiones singulares. Analizamos por qué son importantes y cuál es su problemática en el escenario climático y político actual, con un enfoque especial en la región de los Pirineos.

Palabras clave: alta montaña, calentamiento dependiente de la elevación, cambio climático, criosfera, puntos calientes de biodiversidad, sistemas de alerta temprana

■ INTRODUCCIÓN

A menudo nos imaginamos las montañas como parajes remotos, salvajes e intactos, como los últimos rincones del planeta donde el impacto del ser humano todavía no ha llegado. Pero la realidad es otra: las altas montañas están sufriendo los impactos del cambio climático de una forma particularmente intensa. Y es que la compleja red de interacciones que existe entre los hábitats de alta montaña y las especies que los habitan se está viendo alterada por diversos factores; entre otros, los efectos del cambio climático. En este artículo, tratamos de poner en el punto de mira los desafíos a los que se enfrentan a día de hoy estas regiones tan singulares.

¿Qué son las altas montañas?

No es sencillo encontrar una definición exacta de las altas montañas. La razón principal es que la condición para que sean consideradas «altas» depende de múltiples factores que no están exclusivamente relacionados

con la elevación. En la literatura científica se pueden encontrar una gran variedad de definiciones, dependiendo del enfoque y el objetivo de cada uno de los estudios. En cualquier caso, una definición adecuada debe identificar la alta montaña como un relieve y un entorno particular y diferenciado de los elementos topográficos inferiores que lo rodean.

En este trabajo, definimos las altas montañas como estructuras geológicas donde los elementos criosféricos juegan un papel protagonista. Entre estos elementos se encuentran la nieve, el permafrost y los glaciares. Asimismo, deben concurrir otra serie de características adicionales, esencialmente el clima extremo y la

complejidad del terreno. Otro elemento protagonista que no debemos olvidar es la lejanía espacial e institucional. Estas características hacen que percibamos las altas montañas como lugares lejanos y ajenos a nuestra vida y al funcionamiento de nuestras sociedades. Pero nada más lejos de la realidad, las altas montañas constituyen la fuente y el refugio de recursos y bienes de los que

«Las altas montañas están sufriendo los impactos del cambio climático de una forma particularmente intensa»

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Bilbao Barrenetxea, N., & Faria, S. H. (2021). El cambio climático en la alta montaña. Una perspectiva internacional con una mirada a los Pirineos. *Metode Science Studies Journal*. <https://doi.org/10.7203/metode.12.20509>

 <p>DEPÓSITOS DE AGUA DEL PLANETA</p>	 <p>PUNTOS CALIENTES DE BIODIVERSIDAD</p>	 <p>CONOCIMIENTO TRADICIONAL Y ANCESTRAL</p>
<p>ASPECTOS CRIOSFÉRICOS La presencia de glaciares, permafrost y nieve es un rasgo principal de las regiones de alta montaña. Estos elementos juegan además un papel importante en el ciclo hidrológico del planeta. Tanto es así que contribuyen al almacenamiento estacional y a largo plazo de los recursos hídricos de aproximadamente la mitad de la humanidad. Por esta razón, se consideran las «torres de agua» del planeta (Viviroli et al., 2007).</p>	<p>ASPECTOS ECOSISTÉMICOS En las regiones tropicales y subtropicales de alta montaña coexisten una gran variedad de ecosistemas distintos en un área reducida, que van desde condiciones tropicales hasta polares. Esto da lugar a unos endemismos particulares de las altas montañas y es uno de los factores responsables de la gran diversidad, aunque no el único. Las propias dinámicas geológicas de la creación de la montaña, al interactuar con los complejos cambios climáticos, representan una oportunidad inigualable para que se desarrollen procesos evolutivos específicos (Rahbek et al., 2019).</p>	<p>ASPECTOS SOCIALES Las estructuras sociales que albergan las altas montañas también constituyen un aspecto clave. Se estima que la población que vivía en estas en el año 2010 rondaba los 670 millones de personas, lo que representa un 10% de la población mundial. Más allá de proveernos de recursos materiales, como agua y alimento, las regiones de alta montaña representan el refugio de un patrimonio tradicional y ancestral único de las comunidades indígenas y tradicionales que las habitan.</p>

Figura 1. Aspectos clave de las regiones de alta montaña.

dependemos día a día. En este sentido, la importancia de estas regiones es indudable desde un punto de vista ecológico, social y económico (Figura 1).

■ PROBLEMÁTICA

Las condiciones geográficas y ambientales descritas anteriormente, que hacen de las altas montañas regiones valiosas y únicas, son las mismas que las convierten en regiones muy vulnerables al cambio climático. Sus relieves abruptos y sus pendientes escarpadas esconden una fragilidad intrínseca. Vulnerabilidad que se relaciona con una respuesta más rápida e intensa a los cambios en comparación con las regiones no montañosas (Diaz et al., 2003). Esta vulnerabilidad es concebida por muchos expertos y expertas como una posible herramienta de alerta temprana. Es decir, los impactos que comenzamos a vislumbrar en las altas montañas hoy servirían de presagio de las peores consecuencias que podríamos sufrir en un futuro no muy lejano.

«El incremento de temperatura incidirá en una disminución de las nevadas, sobre todo en elevaciones menores»

El cambio climático

Las altas montañas ya son y seguirán siendo algunas de las regiones más afectadas por el cambio climático.

Según se concluye en el informe SROCC (siglas en inglés de *Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante*; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019), el aumento de las temperaturas del aire superficial que predicen los modelos climáticos para el siglo XXI se puede ver intensificado en las altas montañas por las dinámicas regionales y por el llamado *calentamiento dependiente de la elevación* (EDW en sus siglas en inglés). Este proceso hace referencia a que la tasa de calentamiento (por ejemplo, en °C por década) no es la misma en todas las bandas de elevación (Pepin et al., 2015). El incremento de temperatura tiene un impacto directo en la relación lluvia/nieve en todas las regiones de alta montaña, lo que incidirá en una disminución de las nevadas, sobre todo en elevaciones menores. El IPCC (2019) califica como probable que la

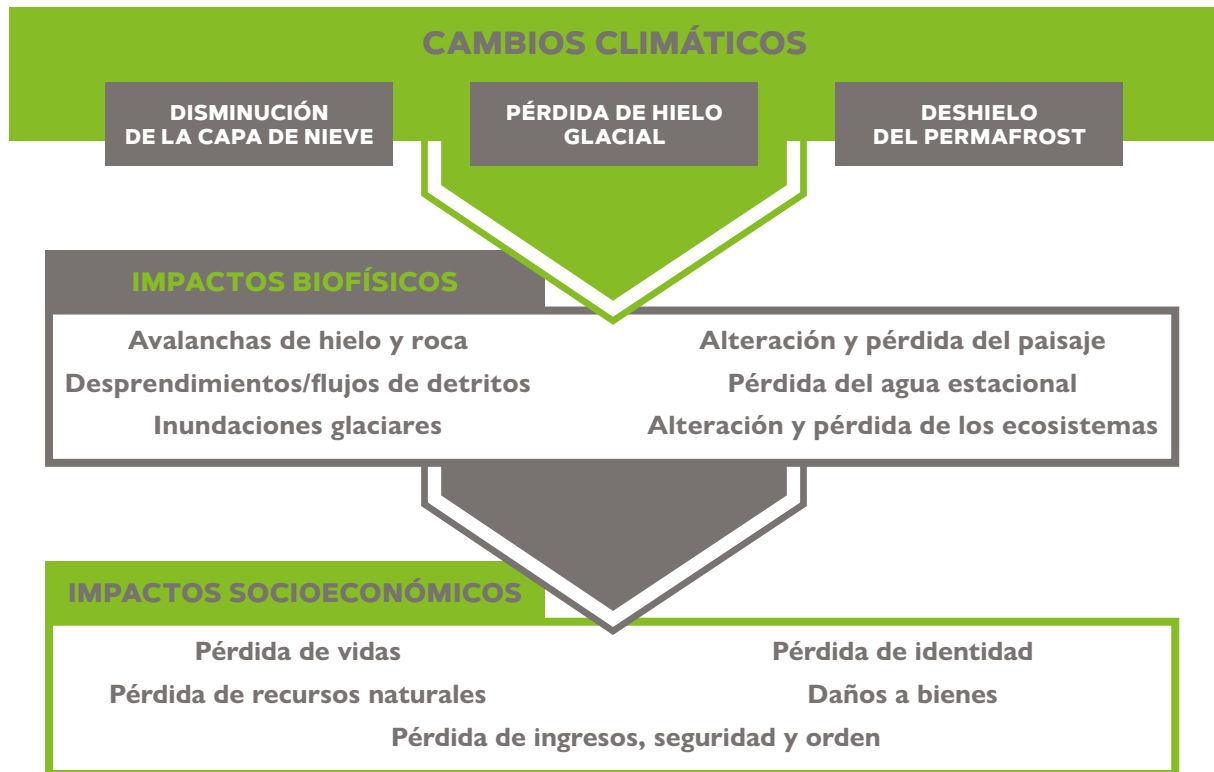


Figura 2. Cambios climáticos en las altas montañas y los impactos biofísicos y socioeconómicos asociados.

FUENTE: Basado en Huggel et al. (2019)

capa de nieve a altitudes menores en regiones como los Alpes europeos, los Himalayas y los Andes subtropicales para finales de siglo (2081–2100) se vea reducida en un 30 % en el mejor de los escenarios y en un 80 % en el peor, respecto a nuestro pasado cercano (1986–2005).

También los glaciares están acelerando su pérdida de masa (Hugonnet et al., 2021). Y es que, aunque la reducción de masa glaciaria varía en gran medida entre regiones, las proyecciones realizadas para el mejor y el peor escenario (en función de la concentración de CO₂ en la atmósfera) indican que en el siglo XXI los glaciares polares y de montaña perderán respectivamente a nivel global un 18 % y un 36 % respecto al año 2015 (IPCC, 2019). La comunidad científica afirma que esta pérdida de hielo y nieve en las altas montañas se debe al aumento de la temperatura media de la Tierra por la constante emisión antropogénica de gases de efecto invernadero desde la Revolución Industrial.

Encontramos distintos ejemplos de estos cambios. Es el caso de la cordillera Blanca (Andes peruanos), donde ha desaparecido más del 30 % de la masa glaciaria en el periodo de 1930 hasta 2014 (Schauwecker et al., 2014). Otro ejemplo ilustrativo lo encontramos en el monte Kilimanjaro, donde entre los años 1912 y 2011 se ha observado una reducción severa del 85 %

del área glaciaria (Cullen et al., 2013). No obstante, no es necesario buscar lugares tan remotos para observar los efectos del cambio climático. En regiones dominadas por glaciares de un tamaño menor, entre las que se encuentran los Alpes europeos, el Cáucaso y los Pirineos, entre otras, los glaciares perderán más del 80 % de su masa (IPCC, 2019) para el año 2100 en el peor de los escenarios definido por el IPCC (escenario RCP8.5), mientras que muchos de los glaciares de estas cordilleras desaparecerán totalmente en un futuro con el actual incremento de temperatura global.

Estos cambios en la criosfera provocados por el cambio climático generan unos impactos biofísicos, como la pérdida de agua estacionaria, que afectan directamente a los ecosistemas y provocan impactos socioeconómicos sobre los habitantes de estas regiones (Figura 2). Los impactos biofísicos se materializan en una gran variedad de formas: desde avalanchas de hielo y roca hasta la desaparición de especies. Uno de los fenómenos más peligrosos es el llamado GLOF (*glacier lake outburst flood*), que se define como una inundación violenta que ocurre cuando los elementos de contención de un lago glaciario (es decir, hielo glaciario) colapsan. Solamente en la región del Hindu-Kush–Himalaya, en el año 2010, fueron identificados más de 200 lagos

potencialmente afectados por este peligro (Ives et al., 2010). Otra amenaza que nace de estos cambios climáticos es la transformación de áreas que ya eran sensibles al fuego, como las cordilleras costeras de California o las Montañas Azules de Australia, en regiones expuestas a un riesgo de incendios continuado y la conversión de áreas como el Tíbet o Mongolia en regiones propensas a la desertificación (IPCC, 2019).

Además de los impactos biofísicos mencionados, los cambios climáticos producen desequilibrios significativos en las estructuras ecológicas, sociales y económicas de las altas montañas que, en ocasiones, pueden costar vidas humanas. Un ejemplo claro son las víctimas mortales por avalanchas de nieve y desprendimientos de rocas o por las sequías e inundaciones. Aunque ya se estén desarrollando iniciativas, es posible que muchas comunidades no puedan adaptarse a muchas de estas nuevas circunstancias, lo cual podría generar conflictos relacionados con el acceso al agua y a otros recursos. Las pérdidas económicas asociadas a estos impactos, que se relacionan con la producción hidroeléctrica y con los desastres climáticos, ascienden a miles de millones de dólares. Se estima que entre los años 1985 y 2014 las pérdidas económicas derivadas de los desastres hidrometeorológicos en la región del Hindu-Kush–Himalaya fueron de 45.000 millones de dólares, seguida por la región de los Alpes europeos cuyas pérdidas ascendieron a 7.000 millones de dólares (Stäubli et al., 2018).

Pero más allá de los costes monetarios, junto con los ecosistemas de las altas montañas también se perdería un patrimonio que nos pertenece a todos. Las comunidades tradicionales de regiones de montaña rurales ya están viendo alterados sus medios de subsistencia, como el pastoreo o la agricultura, una alteración asociada a un cambio en los regímenes hídricos. En regiones remotas de alta montaña las comunidades indígenas están experimentando una pérdida de bienes y de identidad cultural. Por ejemplo, en los alrededores del monte Ausangate, Perú, la comunidad quechua ha dejado de celebrar los ritos tradicionales relacionados con la deidad de un glaciar ya desaparecido. Otro de los elementos que se está viendo alterado es el paisaje. Este constituye no solo un elemento estrechamente vinculado a la identidad cultural sino también a la economía de las sociedades de montaña, ya que el turismo muchas veces representa la mayor actividad económica en estas regiones (Palomo, 2017).

Las grandes desconocidas

A pesar de la evidencia de los efectos perjudiciales, y en ocasiones hasta catastróficos, que el cambio climático puede producir en las altas montañas, el desconocimiento que en la actualidad se tiene sobre sus dinámicas puede influir negativamente en la adopción de medidas des-



Landon Parenteau / Unsplash

«Las montañas continúan siendo grandes desconocidas en el contexto del cambio climático»

tinadas a paliar estos efectos. Las montañas continúan siendo grandes desconocidas en el contexto del cambio climático.

Son dos los motivos principales de este desconocimiento: la inaccesibilidad del terreno y la gran fragmentación de los actores que se evidencia, por ejemplo, en la escasez de iniciativas con carácter transfronterizo. Los datos observacionales son en numerosas ocasiones escasos o demasiado recientes, y a veces incluso de mala calidad. Esto incide en que la información de la que disponemos en la actualidad sea sesgada e inexacta y tienda a no capturar correctamente los cambios a pequeñas escalas (IPCC, 2019). Es importante resaltar, no obstante, que en muchas regiones de montaña se encuentran casos concretos con realidades distintas. En las cordilleras situadas en regiones ricas y desarrolladas con un largo historial



de investigación de montaña hay una mayor cantidad y mejor calidad de datos climáticos que abarcan una escala temporal suficiente para realizar estudios robustos sobre el clima.

Por otro lado, los cambios a futuro son predichos mediante modelos climáticos generales y regionales aún incapaces de reproducir con exactitud los detalles de las dinámicas mesoescalares y subkilométricas en zonas de terreno complejo. Como, por ejemplo, los sistemas convectivos de mesoescala, que juegan un papel crítico en regiones de montaña y controlan variables meteorológicas como la precipitación (Gutowski et al., 2020). Gracias a los avances en las técnicas computacionales y al esfuerzo de la comunidad científica ya se están realizando grandes progresos en incluir estos procesos en los modelos. Sin embargo, y sobre todo en regiones menos estudiadas, las herramientas disponibles a día de hoy son insuficientes a la hora de hacer una evaluación exhaustiva de los impactos derivados del cambio climático.

Otro punto que dificulta conocer la situación de la alta montaña en el contexto del cambio climático es el hecho de que tradicionalmente los esfuerzos se han centrado en entender la dinámica de cada una de las cordilleras montañosas de forma separada e independiente. Esto se ha debido a que cada una de las regiones se verá afectada de formas diversas en función de características como la posición geográfica, extensión, altitud y regímenes climáticos. Sin embargo, estas regiones singulares también comparten elementos comunes que son clave para comprenderlas a escala global.

Por esta razón, la comunidad científica ha puesto el foco en estudiar las regiones de alta montaña, no solo en sus singularidades, sino también en su conjunto, como regiones estrechamente relacionadas por sus características comunes que forman parte de un mismo todo. Este punto de vista holístico supone incluir en su evaluación una perspectiva transdisciplinar que nos permita analizar de manera conjunta las causas y efectos del cambio climático en la alta montaña.

Las olvidadas

Aunque en contextos locales y regionales particulares se lleva décadas dando a las regiones de montaña una gran importancia, la situación es otra a nivel internacional. Fue en el año 2015 cuando se establecieron las bases de una novedosa acción a nivel global para afrontar de manera unificada los problemas en las regiones de alta montaña. Ese año se adoptaron tres programas clave: el Acuerdo de París, en el que se hace una mención especial a la protección de zonas de alerta temprana, la Agenda para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, acompañada de sus ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) y el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres.

No obstante, aunque las bases estén ahí, según el informe SROCC (IPCC, 2019) los expertos aseguran que hay pocas pruebas para evaluar sistemáticamente la eficacia de estos programas internacionales a la hora de abordar los retos específicos que plantean los cambios en los ecosistemas de alta montaña y en su criosfera.

Con el objetivo de evitar que las altas montañas de regiones remotas sigan siendo «las olvidadas» desde el punto de vista de la política internacional, surge la necesidad de redirigir su planteamiento y focalizarla al contexto de las regiones montañosas (Bracher et al., 2018). Existen ya iniciativas en desarrollo, como es la definición de las consideraciones específicas clave para mejorar las condiciones bajo las cuales los ODS pueden tener un propósito en las regiones de montaña.

■ UNA MIRADA ESPECIAL A LOS PIRINEOS

Estas tres amenazas mencionadas a escala global –cambio climático, desconocimiento y olvido– no se ven reflejadas de la misma manera en todas las regiones montañosas del mundo. En el caso concreto de la cordillera de los Pirineos, los efectos del cambio climático se han venido observando en el último siglo. Aquí, la temperatura media ha experimentado un claro aumento en los últimos cincuenta años. Además, se observa un descenso en la precipitación del orden de 2,5 % por década (Amblar-Francés et al., 2020). De acuerdo con las estimaciones basadas en modelos climáticos la temperatura máxima anual de los Pirineos para el horizonte 2030, aumentaría entre 1,0 y 2,7 °C respecto a niveles de 1961-1990 en el escenario RCP8.5 (Amblar-Francés et al., 2020). Para el horizonte 2050, el calentamiento sería mayor, del orden de 2,0 a 4,0 °C (Amblar-Francés et al., 2020). Los glaciares también están en peligro. Concretamente, en los últimos 150 años, el glaciar del Monte Perdido (Pirineo oscense) ha experimentado un derretimiento de hielo más acentuado que en los últimos 2.000 años y todo apunta a que, bajo estas condiciones climáticas, acabará desapareciendo (Moreno et al., 2021).

Es por estos cambios en el clima que el inicio del ciclo de vida anual de muchas especies se está adelantando y las interacciones que existen entre ellas se están viendo afectadas (Charmantier y Gienapp, 2014). Los lagos y turberas, ecosistemas icónicos de la cordillera pirenaica, están en riesgo de desaparecer debido a su especial vulnerabilidad (Catalan et al., 2006).

Uno de los aspectos que adquiere mayor relevancia en esta región está relacionado con los recursos hídricos. Entre muchos de los valores que aportan los Pirineos, destaca la función fundamental de abastecer de recursos hídricos a los territorios adyacentes, ya que en la cordillera Pirenaica tienen su origen una gran parte de los afluentes

superficiales y subterráneos que nutren las cuencas de los ríos Ebro, Bidasoa, Adour, Garona y Aude, entre otros. Concretamente, los Pirineos representan el 70 % de las aportaciones totales al río Ebro. Estas montañas son, por lo tanto, una pieza clave en el abastecimiento de agua destinada a la agricultura y la producción de energía eléctrica, pero también a la industria y al consumo doméstico. El efecto combinado del cambio en el clima y en los usos del suelo alterará notablemente los patrones de gestión y la calidad de los recursos hídricos de los Pirineos y de un territorio mucho más amplio que incluye a millones de habitantes. Este efecto tendrá un especial impacto en las regiones bajas del norte de la vertiente mediterránea peninsular, que son grandes consumidoras de agua de esta zona, entre las que se encuentran regiones costeras con escasez de agua y alta densidad de población (Observatorio Pirenaico para el Cambio Climático – Comunidad de Trabajo de los Pirineos [OPCC-CTP], 2018).

Los Pirineos constituyen una de las grandes cadenas montañosas de Europa y una de las cordilleras del mundo con más densidad de estaciones de medición de variables ambientales. Por eso, su situación es afortunadamente más favorable en cuanto a monitorización de los efectos del cambio climático y la escala temporal de los mismos en comparación con otras cordilleras de alta montaña del mundo. Además, en esta cordillera montañosa también existen diversos agentes que participan activamente en los procesos de monitorización, investigación, adaptación, mitigación y divulgación del cambio climático, entre los que se encuentran el IPE-CSIC (Instituto Pirenaico de Ecología) y el CBNPMP (Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées). Asimismo, en el año 2010 surgió la iniciativa transfronteriza (España-Andorra-Francia) del Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC), que tiene como objetivo impulsar la colaboración territorial en materia de cambio climático.

No obstante, no fue hasta el año 2020 cuando se realizó un estudio a alta resolución de la evolución del clima en la cordillera (Amblar-Francés et al., 2020), y aunque estemos en el camino correcto, sigue existiendo mucho por hacer en cuanto a generar un conocimiento científico que integre la totalidad de la cordillera en la evaluación de impactos biofísicos y socioculturales del Pirineo y de los territorios circundantes (OPCC-CTP, 2018).

■ CONCLUSIONES

La comunidad científica advierte de las pérdidas que sufrirán estos ecosistemas. Es por ello de vital importancia consolidar servicios hidrológicos, meteorológicos y climáticos de calidad y que, a su vez, estén diseñados a medida de los riesgos y las necesidades específicas de los espacios de montaña. De la misma manera se deben

revisar y actualizar las políticas internacionales de cooperación al desarrollo, incorporando de manera integral políticas de desarrollo sostenible y conservación de los ecosistemas de las montañas. A nivel regional y local es necesario un impulso de iniciativas capaces de reforzar las relaciones entre las decisiones políticas, los resultados científicos y el conocimiento tradicional e indígena. Estas soluciones deben estar basadas en la colaboración con las partes interesadas incluyéndolas de forma activa en el proceso de toma de decisiones.

En las regiones más privilegiadas estas acciones se vienen desarrollando desde hace décadas, sin embargo, existe un gran contraste con las regiones de montaña más pobres y remotas. Es esencial trasladar estos avances y homogeneizar la calidad y cantidad de información sobre el clima de montaña.

En el contexto de ofrecer nuevas soluciones, la Organización Meteorológica Mundial celebró la Cumbre de las Altas Montañas (High Mountain Summit) en octubre de 2019, en la que participaron numerosas entidades internacionales de peso, como el Grupo del Banco Mundial (WBG) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de los organismos FAO (Organismo de la ONU para la Alimentación y la Agricultura) y la UNESCO (Organización de la ONU para la Educación, la Ciencia y la Cultura). El resultado fue un llamamiento a la acción sin precedentes dirigido a todos los estratos de la sociedad, incluyendo entidades gubernamentales, científico-académicas, privadas y la sociedad civil (World Meteorological Organization [WMO], 2019).

El cambio real, no obstante, pasa por la concienciación de toda la sociedad, por ello es fundamental que las instituciones a todos los niveles, desde lo local a lo internacional, promuevan actividades que informen y concienten a la opinión pública del incalculable valor de estas regiones y de los graves impactos que sufren y sufrirán en los años venideros como consecuencia del cambio climático. El desafío al que se enfrentan los espacios de alta montaña es real y en consecuencia reales deben ser también las acciones para afrontarlo. 📍

REFERENCIAS

- Amblar-Francés, P., Ramos-Calzado, P., Sanchis-Lladó, J., Hernanz-Lázaro, A., Peral-García, M. C., Navascués, B., Dominguez-Alonso, M., Pastor-Saavedra, M. A., & Rodríguez-Camino, E. (2020). High resolution climate change projections for the Pyrenees region. *Advances in Science and Research*, 17, 191–208. <https://doi.org/10.5194/asr-17-191-2020>
- Bracher, C. P., von Dach, S. W., & Adler, C. (2018). Challenges and opportunities in assessing sustainable mountain development using the UN Sustainable Development Goals. *CDE Working Paper*; 3. Centre for Development and Environment (CDE). <http://doi.org/10.7892/boris.119737>
- Catalan, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, T., Bartumeus, F., de Mendoza, G., Miró, A., Casamayor, E. O., Medina-Sánchez, J. M., Bacardit, M., Altuna, M., Bartrons, M., & Díaz de Quijano, D. (2006). High mountain lakes: Extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnética*, 25, 551–584. <http://hdl.handle.net/10261/44375>





Manuel Torres García / Unsplash

«Los lagos y turberas, ecosistemas icónicos de la cordillera pirenaica, están en riesgo de desaparecer debido a su especial vulnerabilidad»

- Charmantier, A., & Gienapp, P. (2014). Climate change and timing of avian breeding and migration: Evolutionary versus plastic changes. *Evolutionary Applications*, 7(1), 15–28. <https://doi.org/10.1111/eva.12126>
- Cullen, N. J., Sirguey, P., Mölg, T., Kaser, G., Winkler, M., & Fitzsimons, S. J. (2013). A century of ice retreat on Kilimanjaro: The mapping reloaded. *The Cryosphere*, 7, 419–431. <https://doi.org/10.5194/tc-7-419-2013>
- Diaz, H. F., Grosjean, M., & Graumlich, L. (2003). *Climate variability and change in high elevation regions: Past, present and future*. Advances in Global Change Research. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7>
- Gutowski, W. J., Ullrich, P. A., Hall, A., Leung, L. R., O'Brien T. A., Patricola, C. M., Arritt, R. W., Bukovsky, M. S., Calvin, K. V., Feng, Z., Jones, A. D., Kooperman, G. J., Monier, E., Pritchard, M. S., Pryor, S. C., Qian, Y., Rhoades, A. M., Roberts, A. F., Sakaguchi, K., ... Zarzycki, C. (2020). The ongoing need for high-resolution regional climate models: Process understanding and stakeholder information. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(5), E664–E683. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0113.1>
- Huggel, C., Muccione, V., Carey, M., James, R., Jurt, C., & Mechler, R. (2019). Loss and damage in the mountain cryosphere. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1387–1399. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1385-8>
- Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., Farinotti, D., Huss, M., Dussaillant, I., Brun, F., & Käab, A. (2021). Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*, 592(7856), 726–731. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>
- Ives, J., Shrestha, R., & Mool, P. (2010). *Formation of glacial lakes in the Hindu Kush-Himalayas and GLOF risk assessment*. ICIMOD. https://www.preventionweb.net/files/14048_ICIMODGLOF.pdf
- IPCC. (2019). *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (Eds.). En prensa.
- Moreno, A., Bartolomé, M., López-Moreno, J. I., Pey, J., Corella, J. P., García-Orellana, J., Sancho, C., Leunda, M., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Pérez-Mejías, C., Navarro, F., Otero-García, J., Lapazarán, J., Alonso-González, E., Cid, C., López-Martínez, J., Oliva-Urcia, B., Faria, S. H., ... García-Ruiz, J. M. (2021). The case of a southern European glacier disappearing under recent warming that survived Roman and Medieval warm Periods. *The Cryosphere*, 15, 1157–1172. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1157-2021>
- Observatorio Pirenaico para el Cambio Climático – Comunidad de Trabajo de los Pirineos [OPCC-CTP]. (2018). *El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación*. OPCC-CTP.
- Palomo, I. (2017). Climate change impacts on ecosystem services in high mountain areas: A literature review. *Mountain Research and Development*, 37(2), 179–187. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Cáceres, E. B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M. Z., Liu, X. D., Miller, J. R., Ning, L., Ohmura, A., Palazzi, E., Rangwala, I., Schöner, W., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Wang, M. B., ... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5), 424–430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>
- Rahbek, C., Borregaard, M. K., Antonelli, A., Colwell, R. K., Holt, B. G., Nogues-Bravo, D., Rasmussen, C. M. Ø., Richardson, K., Rosing, M. T., Whittaker, R. J., & Fjeldså, J. (2019). Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science*, 365(6458), 1114–1119. <https://doi.org/10.1126/science.aax0151>
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H., Giráldez, C., Gómez, J., Huggel, C., Jacques-Coper, M., Loarte, E., Salzmann, N., & Vuille, M. (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Global Planetary Change*, 119, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.005>
- Stäubli, A., Nussbaumer, S., Allen, S. K., Huggel, C., Arguello, M., Costa, F., Hergarten, C., Martínez, R., Soto, J., Vargas, R., Zambrano, E., & Zimmermann, M. (2018). Analysis of weather- and climate-related disasters in mountain regions using different disaster databases. En S. Mal, R. B. Singh, & C. Huggel (Eds.), *Climate change, extreme events and disaster risk reduction* (pp. 17–41). Sustainable Development Goals Series. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56469-2_2
- 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 Resources Research*, 43(7), W07447. <https://doi.org/10.1029/2006WR005653>
- World Meteorological Organization [WMO]. (2019). *High Mountain Summit*. Consultado el 1 de febrero, 2021, en <https://highmountainsummit.wmo.int/en>

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través de la acreditación de excelencia María de Maeztu 2018–2022 (Ref. MDM-2017-0714), del proyecto predoctoral KVORTEX (MDM-2017-0714-19-3) del programa María de Maeztu, y del proyecto iMechPro (RTI2018-100696-B-I00) del programa Retos de Investigación.

NEREA BILBAO BARRENETXEA. Investigadora Junior y FPI-MdM Fellow. Basque Centre for Climate Change (BC3), España. Ingeniera Ambiental por la Universidad de Ingeniería de Bilbao con un máster en la misma área de conocimiento. Se ha especializado en contaminación y dispersión atmosférica. Actualmente es investigadora predoctoral en BC3 dentro del grupo de investigación Climate Modelling, donde realiza una investigación sobre las regiones de alta montaña en el contexto de un clima cambiante.

✉ nerea.bilbao@bc3research.org

SÉRGIO HENRIQUE FARIA. Profesor de Investigación Ikerbasque. Basque Centre for Climate Change (BC3) e Ikerbasque, Basque Foundation for Science (España). Físico, doctor por la Universidad Tecnológica de Darmstadt, Alemania (2003). Director del laboratorio de bajas temperaturas IzotzaLab, líder de la línea de investigación Physical Basis y director de los grupos de investigación Cryosphere y Climate Modelling de BC3. Es también *lead author* y *contributing author* del *Sexto informe de evaluación* (AR6), Grupo de Trabajo 1 (WG1), del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y editor de las revistas científicas *Journal of Glaciology* (Cambridge University Press) y *Scientific Reports* (Nature Publishing Group). Ha participado en varias expediciones a los glaciares más remotos en el corazón de la Antártida y Groenlandia. ✉ sh.faria@bc3research.org