

**Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo**

Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación

Nombre proyecto: La sangre fría: impulsores de los refugios del cambio climático para los glaciares y las respuestas de los caudales

Código proyecto: ACT210080

Institución Principal: Universidad de Concepción

Nombre director: Alfonso Fernández

Resumen:

Los glaciares son esenciales para la vida humana y el medio ambiente. Como reservorios estratégicos de agua, vinculados a riesgos naturales, corresponden a recursos económicos donde su deshielo contribuye al aumento del nivel del mar. La susceptibilidad de los glaciares a las alteraciones de las precipitaciones y los regímenes de temperatura los convierte en uno de los sistemas más sensibles a las variaciones climáticas. Aguas abajo de las cuencas de montaña que contienen glaciares, el agua de deshielo es crucial para mantener el caudal durante los períodos secos, lo que permite un flujo base relativamente continuo para sostener diversas actividades. A pesar de que las fluctuaciones de temperatura y precipitación están intrínsecamente vinculadas a la dinámica de pérdida y ganancia de masa, existen varios ejemplos de glaciares de montaña con tamaño y rango de elevación similares, y ubicados dentro de regímenes climáticos ampliamente homogéneos, que han mostrado una respuesta volumétrica diferencial. Si bien los estudios coinciden en que el retroceso de los glaciares es un fenómeno global, a escalas regionales cambios climáticos similares no necesariamente implican el mismo resultado, ya que siempre hay cierta proporción de glaciares que quedan menos afectados. Esta sensibilidad climática aparentemente anómala se puede relacionar a restricciones topográficas que conducen a distribuciones hipsométricas particulares. Estudios con modelos ha demostrado que la consideración de la hipsometría y los cambios en la elevación mínima de los glaciares controla la sensibilidad climática, mientras que proyecciones recientes que comparan varios modelos de glaciares predicen que la pérdida de volumen se ralentiza a medida que aumenta la temperatura.

Esto sugiere que la sensibilidad climática es un atributo dinámico o no estacionario, en el sentido de que los glaciares pueden fluctuar de una situación de acoplamiento a desacoplamiento con respecto a tendencias climáticas. Hasta ahora, la mayor parte de la investigación se centra en explicar la pérdida de hielo y sus consecuencias, mientras que existen pocas investigaciones sobre las razones por las que ciertos glaciares se resisten a la desaparición y cuál es el impacto en la hidrología de montaña, considerando que generalmente estos ambientes contienen otros reservorios de agua que también cambian. Saber dónde o si los glaciares se encogerán más rápido o se estabilizarán es fundamental para

**Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo**

Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación

orientar las políticas de mitigación y adaptación. Si bien se enfatiza mucho menos en la literatura, para las regiones que dependen del agua de deshielo, la comprensión de los cambios en la sensibilidad, las causas de los mismos y la identificación de las condiciones y ubicaciones de la supervivencia de los glaciares se vuelve tan importante como señalar las áreas de retirada total. Esto se debe a que el volumen restante del glaciar podría retener cierta capacidad de amortiguación durante los períodos secos. Sin embargo, aunque algunos estudios han identificado fluctuaciones temporales en la sensibilidad de los glaciares y las condiciones de los refugios topográficos, hay poca investigación sobre la conexión entre la sensibilidad y los refugios y las consecuencias hidrológicas aguas abajo. Utilizamos el concepto "Refugio de Cambio Climático" para Glaciares como la combinación de condiciones geomorfométricas y climáticas locales que desacoplan a los glaciares de las tendencias regionales de calentamiento atmosférico y reducción de precipitaciones, manteniendo así una influencia detectable en el caudal. Rara vez se ha examinado este cambio en la sensibilidad climática y su impacto. Más específicamente, no está claro [a] qué cambios en la morfometría y las características topográficas de los glaciares contribuyen más a las variaciones de sensibilidad; [b] si las condiciones de los refugios estabilizan las sensibilidades en algún umbral; y [c] si los glaciares que permanecen en refugios mantienen un efecto de amortiguación de flujo de agua detectable en la hidrología de las montañas que es diferente de otros reservorios como los acuíferos. Por lo tanto, se vuelve crucial estudiar la evolución de los diferentes tipos de glaciares frente a la variabilidad climática, realizando investigaciones que caractericen los cambios morfológicos particularmente en las regiones montañosas.

Nuestra propuesta, titulada Cold-Blooded: Drivers of Climate Change Refugia for Glaciers and Streamflow Responses, busca producir nuevos conocimientos relevantes para establecer la relación entre los refugios de cambio climático para los glaciares y el caudal en las cuencas hidrográficas de las montañas en escenarios de calentamiento futuro. Nuestro objetivo es probar si [a] el retroceso de un glaciar hacia su refugio lo aísla de las fluctuaciones de la isoterma cero de la atmósfera libre, lo que desencadena una retroalimentación negativa que reduce las tasas de fusión y, por lo tanto, ralentiza la pérdida de volumen de hielo, y [b] los glaciares que sobreviven dentro de los refugios retendrán una capacidad mensurable para sostener el caudal base. Esta propuesta se enfoca geográficamente en los Andes del Centro Sur de Chile (34°S - 41°S), zona de particular interés a escala nacional y continental. Dentro de los 34°S y 41°S, las cumbres de las montañas pasan de elevaciones relativamente altas en el norte a elevaciones más bajas hacia el sur, lo que se traduce en la presencia de glaciares de diferentes tamaños.

Una nueva clasificación global de glaciares que utiliza técnicas de Machine Learning sugiere que esta zona es mucho más relevante de lo que se pensaba anteriormente, correspondiendo a una transición particularmente única a nivel mundial. Además, las montañas en la franja

**Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo**

Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación

34°S-41°S son actualmente hidrológicamente vulnerables mientras que la investigación actual muestra escenarios cada vez más secos que afectan áreas aguas abajo. Este escenario de escasez de agua puede tener profundas consecuencias en la agricultura y la producción de energía a nivel nacional, ya que esta región concentra más del 20% de la población del país, así como la mayor parte de la agricultura, la producción forestal y la hidroelectricidad. Sin embargo, y a pesar de este escenario adverso y la evidencia del pasado, grandes áreas de los Andes del Centro Sur siguen siendo una brecha de conocimiento, ya que la investigación glacioclimática en Chile se centra principalmente en los Campos de Hielo Patagónicos más grandes.

Por lo tanto, los resultados de nuestra investigación también proporcionarán información clave para las acciones de adaptación y mitigación. Para lograr los objetivos de la investigación, hemos desarrollado un enfoque multidisciplinario que combina mapeo y datación de morrenas, reconstrucción de glaciares, análisis de isótopos de agua, geomorfometría, teledetección y modelado numérico hidroclimático acoplado. Esta combinación es fundamental para comprender si se han producido cambios significativos en la sensibilidad de los glaciares en el pasado reciente, qué características geomorfométricas y climáticas explican la mayoría de los patrones de cambio y cuáles de los sitios de estudio mantendrían ciertas funciones hidrológicas aguas abajo. Nuestra propuesta responde a los desafíos señalados en la convocatoria del Anillo en temas de Clima y Criosfera. En particular, nuestro proyecto proporcionará información clave para comprender mejor las consecuencias del cambio/reducción de la criosfera en las vidas y los medios de subsistencia y en las medidas de mitigación (“repercusiones para actividades y poblaciones humanas frente a cambios y / o pérdida de la criósfera y medidas de mitigación”); y el papel hidrológico y la evolución de los glaciares de roca bajo el cambio climático (“papel hidrológico de los glaciares rocosos y su posible evolución ante escenarios de Cambio Climático”), ya que nos enfocamos particularmente en una región que transita de condiciones favorables a desfavorables para los glaciares de roca y permafrost. Dentro de nuestro proyecto, también hemos desarrollado varias estrategias para capacitar a estudiantes de posgrado y posdoctorado, principalmente mujeres, y para llegar a públicos diversos como escolares, periodistas y personal municipal. Por lo tanto, nuestro proyecto proporcionará nuevos conocimientos, capacitación y transferencia de información que se necesitan con urgencia y que respaldarán una mejor formulación de políticas a escala local.