

Evaluación de los impactos del cambio climático en la hidrología de montaña:



Desarrollo de una metodología a través de un estudio de caso en los Andes del Perú

Puntos principales

- Se anticipa que el cambio climático acelerará la retirada de los glaciares tropicales en los Andes, afectará los patrones de precipitación, y aumentará la variabilidad del clima y fenómenos meteorológicos extremos. Todo esto afectará los recursos hídricos, con implicaciones importantes para el Perú, que depende de la energía hidroeléctrica para más de la mitad de su electricidad, y del agua proveniente de las cuencas altas para su suministro urbano y agrícola.
- La evaluación de los impactos del cambio climático sobre la hidrología de montaña del Perú – o sobre sistemas similares – requiere un análisis complejo y de múltiples niveles. La metodología que se presenta aquí combina un análisis climático para definir los escenarios futuros del clima, un análisis de la hidrología de montaña para incorporar las dinámicas de los glaciares, y la aplicación de estos análisis al nivel de cuencas.
- Aplicamos esta metodología a tres cuencas hidrográficas del Perú. Estimamos que el cambio climático podría reducir considerablemente el suministro de agua en la cuenca del río Santa, pero no en la cuenca del río Rímac. En la parte baja de la cuenca del río Mantaro, proyectamos cambios hidrológicos, con descargas muy altas en los meses de lluvia y mucho más agua en meses que antes han sido secos.
- Las diferencias entre las tres cuencas demuestran que no se puede generalizar. Por otro lado, la misma metodología se puede aplicar ampliamente en el Perú y en otros lugares. Para completar el panorama para la planificación y la toma de decisiones, sugerimos que se evalúen también las consecuencias económicas para la energía, el sector agrícola y el suministro de agua, así como otros impactos socioeconómicos.

Este informe de síntesis es parte de un proyecto del Banco Mundial para desarrollar metodologías para la evaluación de los impactos del cambio climático sobre la hidrología superficial en los Andes peruanos; los detalles sobre el informe principal, en inglés, se encuentran al final de este texto. Este tema es importante porque en el Perú, la retirada de los glaciares tropicales, los posibles efectos del cambio climático sobre los ecosistemas de humedales andinos, y el incremento en la variabilidad del clima y de las temperaturas, podrían afectar el suministro del agua. El objetivo de este estudio es proveer información útil para el planeamiento del desarrollo de la energía en el Perú, incluyendo las posibles consecuencias del cambio climático.

El cambio climático y los Andes

El consenso emergente es que el cambio climático tendrá impactos en las partes altas de las montañas, y a un ritmo más rápido de lo predicho. Las mediciones de campo en la cordillera central de los Andes indican una tasa de calentamiento que supera el promedio registrado en las partes bajas, y las proyecciones futuras realizadas con el Simulador de la Tierra¹ y los resultados colectivos de los modelos de circulación general (MCG) estiman que el calentamiento de la superficie en los Andes podría ser el doble de lo que se observará en las tierras bajas de aquí al final del siglo.

Estudios recientes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) han identificado patrones climáticos en las zonas de montaña, incluyendo cambios en temperaturas máximas y mínimas diarias como menos noches frías y más noches cálidas, reducciones en humedad relativa, y cambios en patrones de precipitación y en precipitación total. Sin embargo, estas tendencias no se ven uniformemente a través del año.

Los impactos de estos nuevos patrones climáticos han generado temperaturas más cálidas, que han causado una rápida retirada de los glaciares, y la variabilidad y los extremos en las condiciones meteorológicas han afectado los ecosistemas



¹ Un supercomputador en el que el Instituto Meteorológico del Japón (MRI) generó datos corriendo el modelo de circulación general MRI-AGCM3.1



Leguna Perón y glaciares en Cordillera Blanca ©Marisa Escobar

andinos. El calentamiento afecta las tasas de evaporación, el almacenamiento de agua en embalses naturales y artificiales, la humedad del suelo, y las tasas de evapotranspiración. Se anticipa que estos cambios tendrán repercusiones en la regulación y suministro de agua y de energía. Las dinámicas de los glaciares tropicales andinos, los lagos y los humedales de montaña también afectan la escorrentía estacional, sirviendo como reservorios durante los períodos de lluvia y liberando el agua durante períodos más secos. Esto tiene implicaciones para el suministro de energía del Perú, donde entre 2006 y 2009, más del 50 por ciento de la electricidad provino de energía hidroeléctrica.

A nivel global, el *Cuarto Informe de Evaluación* del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) concluye que hay alta probabilidad de que el cambio climático afecte la hidrología: en muchos ríos alimentados por nieve y glaciares, está aumentando la escorrentía, y la descarga pico viene más temprano en la primavera; también está aumentando la temperatura de los lagos y ríos, con efectos sobre la estructura térmica y la calidad del agua.

El IPCC afirma además que es probable que la frecuencia de las precipitaciones intensas esté aumentando en la mayoría de las áreas. Una amplia gama de imágenes de satélite y mediciones sobre el terreno documenta igualmente que el clima está afectando las reservas de agua y generando mayor fluctuación en los caudales, con reducción general en las cantidades de agua disponibles, el suministro de energía, y la integridad de los ecosistemas.

Impactos del cambio climático sobre los glaciares

En 1970, los glaciares en el Perú cubrían 2.041 km²; en 1997, ya sólo cubrían 1.595 km², una pérdida de casi el 22 por ciento. Desde entonces se han medido reducciones adicionales. En general, muchos de los glaciares de baja altitud (a menos de

5.000 metros) se han visto afectados, y algunos podrían desaparecer en una generación.

Los impactos previstos y ya observados del retroceso de los glaciares debido al cambio climático incluyen el deterioro de cuencas fluviales, el agotamiento de la capacidad de recarga de agua, y los cambios bióticos en ecosistemas afectando su capacidad para almacenar agua. Ya que los glaciares suministran agua de deshielo continuamente durante la estación seca y las sequías, manteniendo el caudal base de los ríos, con la disminución de la masa de los glaciares, estos ríos probablemente tendrán flujos más variables y más bajos en la estación seca. Los efectos podrían variar, sin embargo, en las distintas etapas del retroceso de los glaciares, y en distintos lugares.

Metodología del estudio

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología para evaluar los impactos netos del cambio climático sobre la hidrología de las regiones montañosas, y probarlo a través de un estudio de caso en los Andes peruanos. Se reunió un grupo de investigadores y profesionales, incluyendo físicos de la atmósfera, modeladores del océano, matemáticos y estadísticos, hidrólogos, expertos en recursos hídricos, glaciólogos, profesionales de alta montaña, geógrafos, ingenieros forestales e ingenieros civiles. Se busca que el acceso a una metodología eficaz ayudará a los planificadores y formuladores de políticas a elaborar medidas efectivas de adaptación al cambio climático para los sectores de energía y agua.

La evaluación incluyó tres niveles de análisis: (i) un análisis climático para definir escenarios futuros del clima, (ii) un análisis de hidrología de montaña para incorporar las dinámicas de los glaciares con instrumentos analíticos existentes, y (iii) la aplicación de la metodología en tres cuencas. Como parte del análisis climático, se evaluaron distintos métodos para producir escenarios, y se pusieron a prueba con proyecciones para el Perú y para las tres cuencas.

El análisis climático incluyó el uso de un modelo de circulación general de alta resolución; comparación con los resultados colectivos de 16 MCGs presentados en el *Cuarto Informe de Evaluación* del IPCC; la reducción de escala a través de un modelo dinámico de la orografía a nivel sub-malla; y un análisis de las tendencias de lluvia. En el siguiente paso, se utilizó el Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP por sus siglas en inglés) de SEI para estimar la respuesta hidrológica al cambio climático. Con fin de adaptar el sistema WEAP a las condiciones específicas de la región, se añadió un módulo glaciar. Por último, se aplicó la metodología a tres cuencas hidrográficas.



Mercado de la ciudad principal de Caraz ©Marisa Escobar

Cuencas utilizadas como estudios de caso

La metodología se probó en las cuencas de los ríos Santa, Rímac y Mantaro, que fueron seleccionadas por su relevancia económica, su vulnerabilidad al cambio climático, y sus características específicas. En la cuenca del Santa, los glaciares juegan un importante papel; el Mantaro es uno de los ríos más grandes del Perú y suministra agua a importantes regiones; y el Rímac es típico de las cuencas empinadas y secas en la costa pacífica. Estas cuencas también coinciden con zonas de población densa, con gran demanda de agua para centros urbanos, y de producción agrícola. Las mayores plantas hidroeléctricas del país están sobre estos ríos, proporcionando más de 43 por ciento de la energía hidroeléctrica de Perú en 2009, según el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES). Además estas cuencas tienen un potencial de hidroelectricidad adicional significativo (42 por ciento de capacidad nueva y 47 por ciento de generación adicional).

La cuenca del **río Santa** tiene una superficie total de 12.200 km²; es el segundo río más grande del Perú y desemboca en el Océano Pacífico. El río Santa recibe agua de los glaciares de la Cordillera Blanca, que define la frontera oriental de la cuenca. La planta hidroeléctrica del Cañón del Pato, la segunda más grande del país, está sobre el río Santa. En el delta del litoral, el río Santa alimenta el distrito de riego Chavimochic, que abastece de agua a los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama. Casi un millón de personas viven en la cuenca de este río.

La cuenca del **río Mantaro** abarca 34.550 km² y tiene una gran importancia socioeconómica en el Perú. Está situada en el centro del país, donde hay varias ciudades importantes, y es la cuenca más densamente poblada de la sierra, con más de 700.000 habitantes. Contiene las centrales hidroeléctricas que proveen más del 34 por ciento de la energía requerida por el Sistema Interconectado Nacional. También es fuente de alimentos para Lima y un importante exportador de productos no tradicionales. La precipitación es una importante variable climatológica para esta cuenca, debido a su papel en la generación de energía, el suministro de agua potable, y la agricultura del país. Hay cerca de 340.000 hectáreas de tierras agrícolas en el área de la cuenca, y más del 70 por ciento de esta tierra sin irrigación. Esto significa que las sequías presentan un gran riesgo climático para la agricultura local.

El **río Rímac**, en el oeste de Perú, es la fuente más importante de agua potable para Lima Metropolitana y Callao, con una población de más de 7 millones de personas. Es una cuenca muy empinada (más de 3,5 por ciento), lo cual la hace atractiva para el desarrollo de energía hidroeléctrica. La precipitación en la cuenca del Rímac varía dramáticamente: desde cerca de 800 mm por año en las altas montañas, a menos de 2 mm por año en la costa del Pacífico. Hay alta vulnerabilidad al cambio climático. Debido a que hay una gran transferencia de agua del río Mantaro a la cuenca del río Rímac, ambos ríos fueron modelados de manera conjunta.

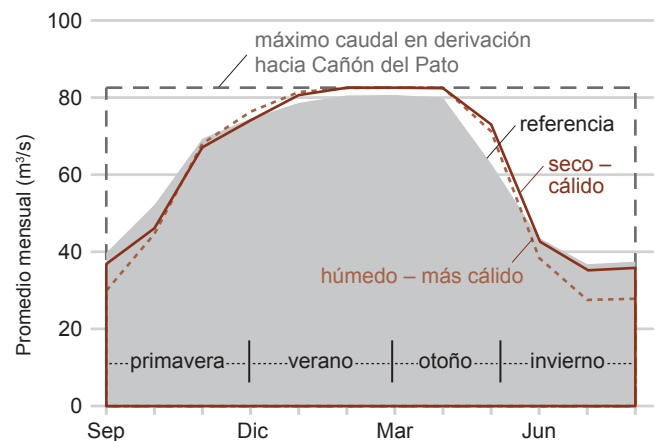


Resultados del estudio

Las proyecciones indican que las descargas netas en la costa sur y en la zona nororiental del Perú se reducirán considerablemente al fin de siglo. En la región andina, la escorrentía aumentará en algunas áreas, mientras que en otras áreas se reducirá el volumen total de agua. Se anticipa una gran pérdida de glaciares, pero no se observaron puntos de inflexión en la pérdida de la escorrentía de los glaciares. No se pueden hacer generalizaciones para todo el país.

En la cuenca del Santa, el análisis proyecta menor escorrentía promedio para mediados de siglo, y menor escorrentía mensual, a través del año, en la estación de La Balsa, el punto de desvío para la planta hidroeléctrica del Cañón del Pato. Se prevé una reducción media anual del 21 por ciento en 2050–2059 en comparación con el presente. En la estación de Condocerro, en la parte inferior de la cuenca del Santa, se prevé una disminución media anual del 6 por ciento, y 18 por ciento en la estación seca.

En la cuenca del Santa, el análisis proyecta menor escorrentía promedio para mediados de siglo, y menor escorrentía mensual, a través del año, en la estación de La Balsa, el punto de desvío para la planta hidroeléctrica del Cañón del Pato. Se prevé una reducción media anual del 21 por ciento en 2050–2059 en comparación con el presente. En la estación de Condocerro, en la parte inferior de la cuenca del Santa, se prevé una disminución media anual del 6 por ciento, y 18 por ciento en la estación seca.



Caudal en la derivación hacia producción hidroeléctrica aumenta en el verano y disminuye en el invierno en ambos escenarios

La simulación de las cuencas del Mantaro y del Rímac es más compleja debido al alto nivel de infraestructura para almacenamiento y regulación. El modelo indica un cambio en la distribución de la escorrentía y una reducción en caudales máximos. En general, las descargas en los puntos clave en la cuenca parecen disminuir. Sin embargo, en la cuenca del Rímac, no se anticipan grandes cambios en las precipitaciones o la escorrentía, excepto una posible reducción durante la estación seca, pero podría haber impactos antropogénicos – por ejemplo, por el aumento de la población. La simulación de los glaciares que suministran a los tres ríos también fue consistente con los registros históricos.

Desde que terminamos este análisis, el modelo en WEAP del río Santa ha sido utilizado por un grupo de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo en Huaraz para analizar tres aspectos específicos: la distribución del agua en la zona de Parón, el sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Huaraz, y el uso de la cobertura vegetal protegida como un servicio ambiental de almacenamiento de agua. Esta extensión del estudio se orienta a apoyar al Foro Agua Santa, un proceso local participativo para la toma de decisiones sobre el agua.

Recomendaciones de política

- La evaluación de la respuesta hidrológica al cambio climático en zonas de montaña es compleja, y no se puede generalizar. Se tiene que estudiar cada cuenca en detalle, y se requiere experiencia en múltiples disciplinas, y el uso de múltiples herramientas. El uso de herramientas complementarias puede mejorar los resultados, reducir la incertidumbre, y permitir análisis de riesgo y de sensibilidad. La disponibilidad de datos puede crear retos; la obtención de datos puede utilizar una gran parte de los recursos disponibles.
- Los criterios para juzgar la idoneidad del modelo deben definirse claramente, y deben ajustarse al problema en cuestión y a la sensibilidad a los cambios socioeconómicos. Los análisis deben mirar al menos en los próximos 30 a 40 años, que es el horizonte de planificación para infraestructuras de recursos hídricos a gran escala, y debe coincidir con la escala de toma de decisiones – generalmente, al nivel de cuenca.
- Los usuarios deben comprender bien las limitaciones del modelo; recomendamos que se haga una lista de las limitaciones del enfoque utilizado y de cada herramienta en aplicaciones específicas. También se debe hacer un análisis de sensibilidad, y todos estos aspectos deben ser una parte integral del análisis de los resultados.
- Nuestro estudio sólo examinó los asuntos del suministro de agua, pero el uso del agua, especialmente agrícola y urbana, es igualmente importante y de gran sensibilidad en las decisiones políticas. Para obtener un panorama completo, este trabajo debe complementarse con un análisis económico para los sectores de agua, energía y agricultura además de explorar otros aspectos socioeconómicos.



Comunidad agrícola abastecida por aguas de Laguna Parón. ©Marisa Escobar

Este informe de síntesis fue escrito por Marisa Escobar y Marion Davis. Está basado en el libro *Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology: Development of a Methodology Through a Case Study in Peru*, por Walter Vergara, Alejandro Deeb, Irene Leino, Akio Kitoh y Marisa Escobar, publicado en 2011 por el Banco Mundial. Se puede comprar el libro o descargar el texto completo en esta página de web: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2011/01/14027137/assessment-impacts-climate-change-mountain-hydrology-development-methodology-through-case-study-andes-peru>.

Publicado por:
Stockholm Environment Institute
11 Curtis Avenue
Somerville, MA 02144
USA
+1 617 627-3786

sei-international.org
2012

Contacto: Marisa Escobar
marisa.escobar@sei-international.org
Más información: Marion Davis
Comunicaciones, SEI – Centro E.E.U.U.
marion.davis@sei-international.org
+1 617 245-0895