

# Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto

---

Dr. Ing. Edson Ramírez \*

\* Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia  
Proyectos: GRANT (Glaciares y Recurso Agua en los Andes Tropicales), IAI CRN 2047  
[eramirez@accelerate.com](mailto:eramirez@accelerate.com)

## Resumen

*El trabajo muestra las evidencias del cambio climático en la retracción de glaciares tropicales con énfasis en el caso de los glaciares en Bolivia. El caso más relevante es Chacaltaya cuyo deshiele se muestra en fotografías desde 1940, comportamiento que también se ha presentado en glaciares en Ecuador, Perú y otros de Bolivia. Se señala el principal impacto de la desaparición de glaciares en términos de pérdida de regulación de las cuencas. El estudio de caso está referido a las ciudades de El Alto y La Paz, abastecidas de agua y energía de los glaciares de Tuni, Condiriri y Takesi. El ejemplo considera la situación, a la luz de la demanda y la oferta asociadas con la pérdida de superficie de estos glaciares. Se señala vulnerabilidades asociadas al cambio climático pero también se señala el uso ineficiente del recurso hídrico. El tratamiento de tales vulnerabilidades estarían más asociadas con los impactos pero también con la gestión de los recursos hídricos, lo que hace evidente la necesidad de un mayor conocimiento sobre el potencial hídrico existente. Complementariamente se señala la importancia de impulsar la adaptación a través de una estrategia de gestión de recursos hídricos en el contexto del cambio climático. La adaptación debiera contemplar el uso ineficiente del agua, y el desarrollo de la percepción en el tema de ahorro de agua y de energía.*

---

## Antecedentes

En 1991 el Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD- Ex ORSTOM) conjuntamente con el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) iniciaron un Programa de Monitoreo de Glaciares Tropicales que se denominó Programa Nieves y Glaciares Tropicales (NGT). En la actualidad este programa es el denominado programa GREATICE que lleva más de 15 años desarrollando investigación científica en el campo de la glaciología tropical, habiendo logrado la generación de las series más largas de observación y mediciones de balance de masa glaciar en región tropical de América del Sur.

Los estudios realizados en el marco de los programas NGT y GREATICE tuvieron un alto componente de investigación fundamental a fin de conocer los procesos de derretimiento y su relación con el clima. Gracias a ello se ha podido encontrar que los glaciares en región tropical son extremadamente sensibles a pequeñas modificaciones en las variables climáticas tales como: albedo, nubosidad, precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y la recurrencia de los eventos El Niño. Estos glaciares se constituyen por lo tanto en excelentes indicadores del cambio climático. Tomando en cuenta la gran vulne-

rabilidad e importancia de los glaciares tropicales, el año 2002 se creó una asociación de los investigadores glaciólogos en Latinoamérica que actualmente se denomina como “Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos para América Latina” que forma parte de las actividades del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO (GTNH-PHI-LAC-UNESCO).

En base a los importantes avances realizados en el programa GREATICE en el entendimiento de la dinámica de los glaciares tropicales y su relación con el clima, el año 2005 se inició el proyecto GRANT (Glaciares y Recurso Agua en los Andes Tropicales) cuyo objetivo principal fue el de relacionar los impactos del derretimiento de los glaciares sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en las ciudades de La Paz y El Alto, donde el objeto de estudio estuvo focalizado a las cuencas de Tuni-Condiriri las cuales forman parte del sistema de abastecimiento de agua potable de estas ciudades.

## Bases teóricas del calentamiento global

Hoy en día los cambios en las condiciones del clima son visibles en los diferentes ecosistemas del planeta manifestándose de diferentes formas. Se ha discutido bastante, y es fruto de controversia, sobre si estos cambios son producto del cambio natural del clima o

es producto de los impactos que han provocado las actividades humanas. En los hechos se debe entender que existe una modificación del clima denominada “Cambio Global” que es producto de ambos componentes, es decir la variabilidad natural del clima y el

cambio climático propiamente dicho relacionado a las actividades humanas.

Entendemos como variabilidad climática las modificaciones del clima debido a cambios de origen astronómico en el movimiento de la Tierra alrededor del

### CAMBIO DE TEMPERATURA MUNDIAL Y CONTINENTAL

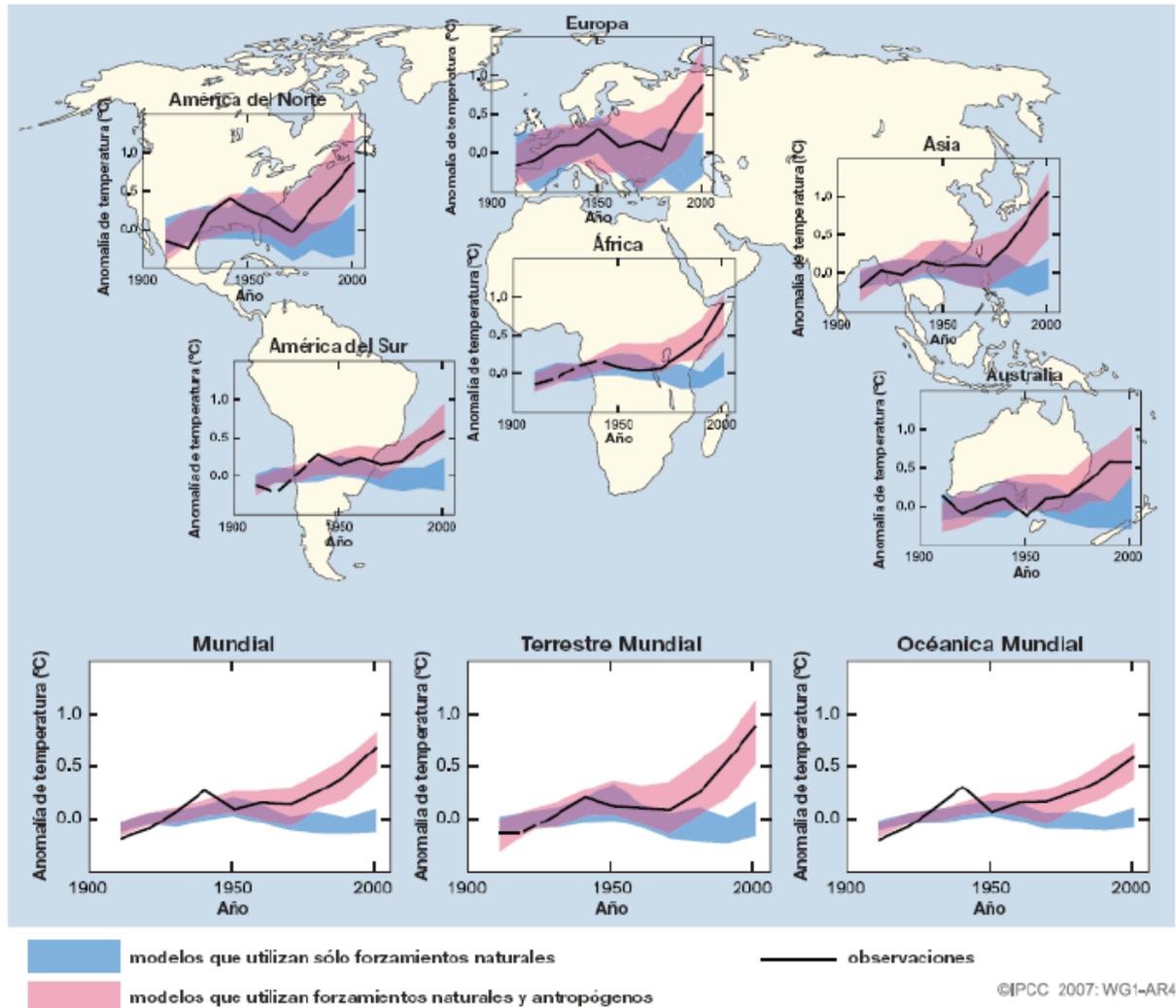


Figura 1. Simulaciones de las anomalías de temperatura considerando forzamientos naturales y antropogénicos comparadas con las observaciones  
fuente: IPCC 2007

Sol. Estos cambios denominados los “Ciclos de Milankovich” están relacionados a las oscilaciones en la Excentricidad, Oblicuidad y a la Precesión de los equinoccios. La variabilidad climática natural no obstante tiene la característica de tener oscilaciones en periodos de tiempo bastante largos: 100 000 años en caso de la excentricidad, 41 000 años en la oblicuidad y entre 19 000 y 23 000 años en el caso de la precesión de los equinoccios. Sin embargo existen cambios en el comportamiento del clima que se han observado en los últimos tiempos, cuyas características son sin precedentes, en periodos de tiempo extremadamente cortos comparados con las oscilaciones naturales. Estas modificaciones del clima se han venido a denominar los “Cambios Climáticos”, existiendo clara evidencia científica sobre su relaciona-

miento con las actividades humanas desde la denominada “Revolución Industrial”.

Los expertos del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC) han realizado simulaciones de las anomalías de temperatura para diferentes regiones del planeta considerando únicamente la variabilidad natural del clima y simulaciones considerando además la influencia de las actividades humanas o antropogénicas.

Los resultados de estas simulaciones son evidentes tomando en cuenta que las anomalías de temperatura observadas en el planeta son reproducibles a través de los modelos solamente cuando se adiciona además el impacto del ser humano (Figura 1).

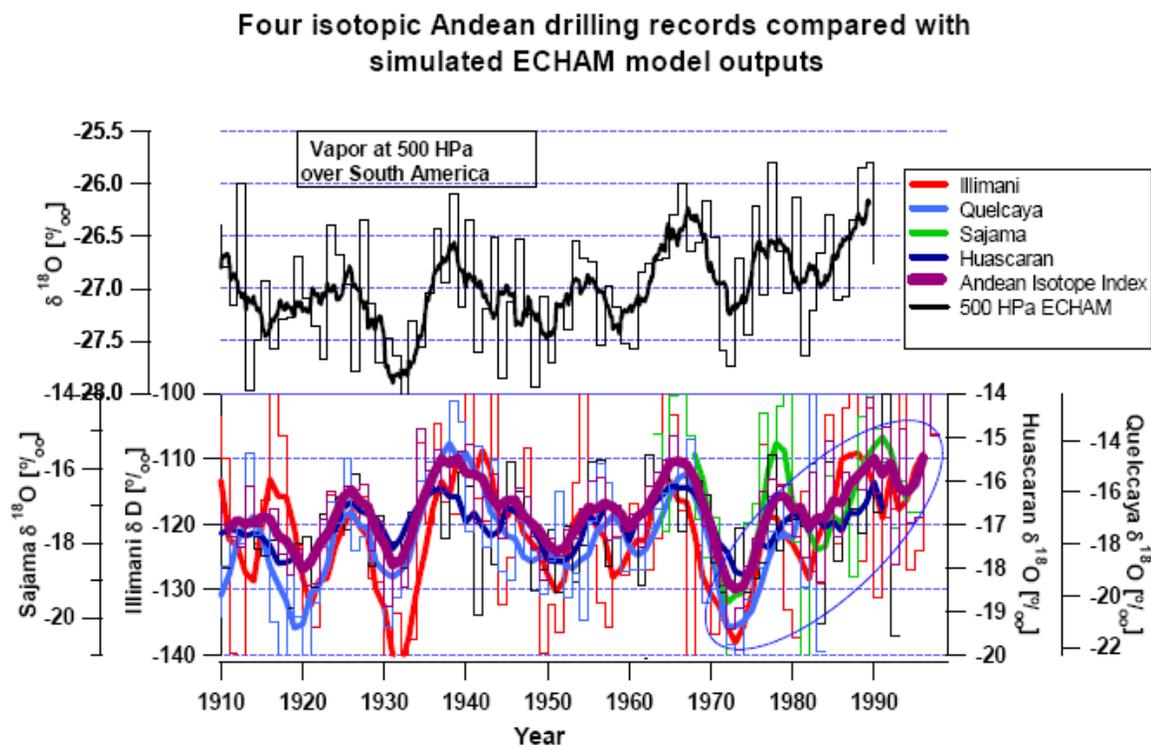


Figura 2: Cuatro registros isotópicos andinos comparados con simulaciones del Modelo ECHAM  
fuente: Hoffman, Ramírez et al. 2003

## Evidencias del Cambio Climático en Sudamérica

Para poder entender los cambios en el clima es necesario remontar en el tiempo más allá de la información que pueden proporcionar las mediciones a través de estaciones meteorológicas. Para ello se hace uso de los denominados “Proxys” o datos reconstruidos a través de indicadores indirectos tales como: anillos de árboles, sedimentos en fondos marinos y lacustres, casquetes de hielo, etc.

Para el caso de Sudamérica se han realizado importantes esfuerzos para la reconstrucción del clima pasado a través de la interpretación de núcleos o testi-

gos de hielo extraídos de las principales cumbres nevadas. Este esfuerzo realizado principalmente por el IRD y sus contrapartes locales ha permitido la reconstrucción del clima pasado de la región de los últimos 25000 años.

De acuerdo a estos estudios, se sabe que para el caso de Bolivia, el clima hace 18000 años durante el periodo del “Último Máximo Glaciar” era más frío y más húmedo respecto a las condiciones actuales (Ramirez, Hoffman *et al.* 2003).

En el pasado reciente, último siglo, las interpretaciones de los núcleos de hielo a través de la medición de los contenidos de los isótopos estables del agua,

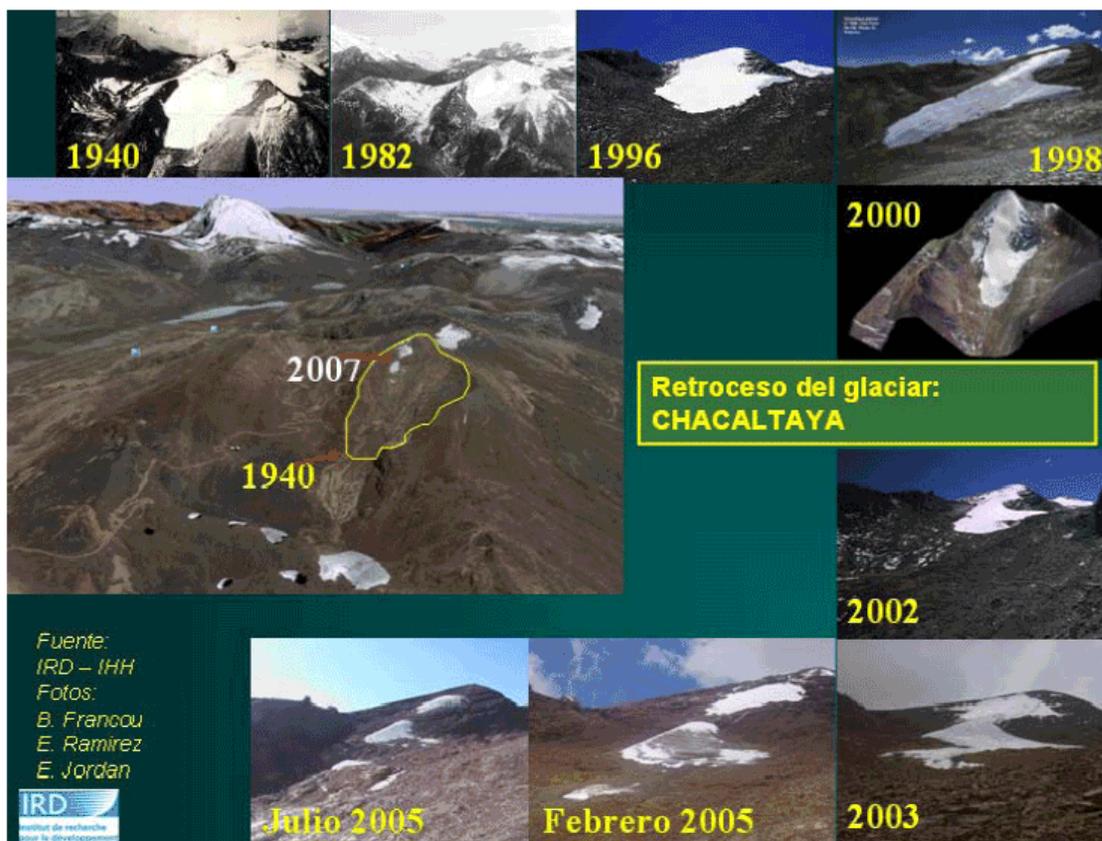


Figura 3. Evolución del glaciar Chacaltaya desde 1940  
fuente: B. Francou, E. Ramírez, E. Jordan

muestran variaciones a nivel de décadas. Estos indicadores climáticos isotópicos, para el caso de la región tropical, están relacionados de forma inversamente proporcional a la cantidad de lluvia que cae sobre el sitio y directamente proporcional al incremento de las temperaturas (Hoffman, Ramírez *et al.* 2003). Por lo tanto siguiendo esta lógica y observando las curvas isotópicas del conjunto de núcleos de hielos analizados (Figura 2), podría interpretarse que en los últimos 30 años existiría una tendencia a un incremento de las temperaturas y a una disminución en la cantidad de las precipitaciones.

Para el estudio del periodo actual, se han realizado desde el año 1991 cuantificaciones del balance de masa principalmente de los glaciares Zongo en el nevado Huayna Potosí, Charquini y Chacaltaya. Para tal efecto se efectuaron mediciones de las variables meteorológicas, mediciones sobre las variaciones de

espesor de nieve y cuantificación de los volúmenes de agua que escurren a la salida de las cuencas que contienen estos glaciares.

El ejemplo más contundente, sobre el impacto de los cambios climáticos actuales es el caso del Glaciar Chacaltaya (Ramírez, Francou *et al.* 2001), el cual ha prácticamente desaparecido. En la Figura 3, se muestra una secuencia de fotografías de archivo desde el año 1940 hasta la fecha, que muestra un retroceso no tan pronunciado entre 1940 hasta los años 1980, sin embargo es a partir de los 80's donde se ha observado un derretimiento acelerado que ha provocado la desaparición del glaciar. Esto se corrobora a través de las mediciones de balance de masa que muestran que desde los años 80 la proporción de derretimiento se ha triplicado respecto a los periodos precedentes a esta fecha. Este fenómeno sin embargo no es particular de los glaciares pequeños como el caso de Chacal-

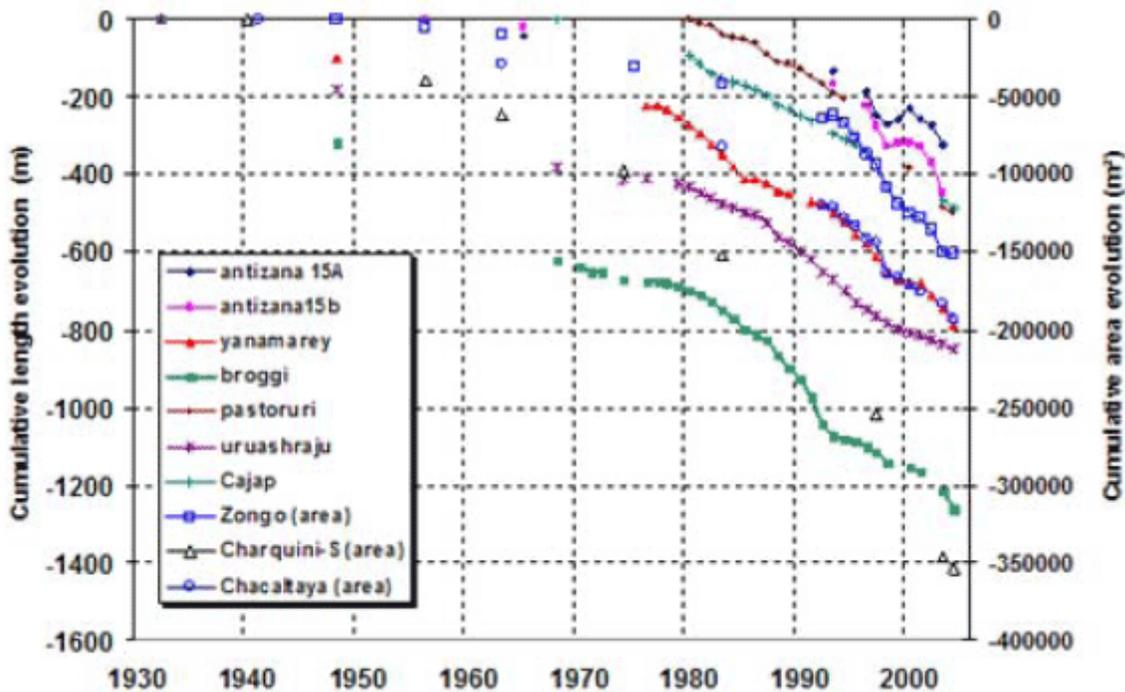


Figura 4. Evolución de la longitud y área de diez glaciares en los Andes Centrales  
fuente: IRD, IHH, SENAMHI-Bolivia, INRENA, INAMHI, EMAAP-Q

taya (< 1 km<sup>2</sup>), sino que se ha observado un comportamiento similar en el conjunto de glaciares que son monitoreados en la región: Ecuador, Perú y Bolivia, tal como lo muestra la Figura 4 que resume la evolución de 10 glaciares tropicales de Sudamérica.

Las mediciones realizadas por el Programa GREATICE y sus contrapartes muestran que en todos los glaciares monitoreados el comportamiento es similar, es decir que es a partir de mediados de los años 70 e inicios de los 80 donde se observa un quiebre significativo en la evolución de los glaciares andinos.

### Relación Clima-Glaciario

De acuerdo a las observaciones, mediciones y estudios realizados en los glaciares tropicales, se constata que un glaciar responde a diferentes factores tales como: la precipitación (nieve/lluvia), la temperatura, la humedad relativa, la nubosidad, la intensidad de la

radiación solar y la presencia de eventos climáticos importantes como los Fenómenos Niño/Niña. Este último fenómeno, denominado “El Niño” tiene consecuencias dramáticas sobre los balances de masa glaciares en los Andes en región tropical (Figura 5), manifestándose principalmente como un déficit de precipitación durante la época de lluvias (diciembre, enero, febrero), lo que provoca a su vez una cobertura de nieve menos abundante, la cual induce a una radiación solar mejor absorbida y consecuentemente un derretimiento acentuado de los glaciares (Favier, Wagnon *et al.* 2004), (Francou, Vuille *et al.* 2003), (Francou, Vuille *et al.* 2004), (Wagnon, Ribstein *et al.* 1999).

### Usos del agua y pérdidas de superficie glaciario

Las ciudades de La Paz y El Alto en Bolivia tienen características particulares tomando en cuenta su proximidad con la Cordillera de Real (Figura 6), cu-

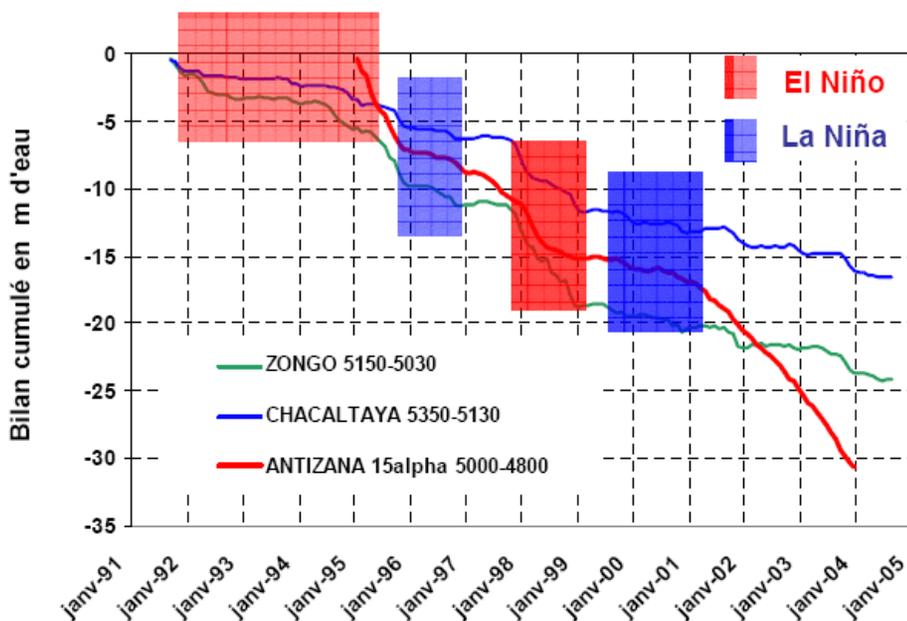


Figura 5. Balance de masa acumulado y su relación con los eventos El Niño  
fuente: IRD, IHH, SENAMHI. INAMHI

yas actividades en términos de consumo de agua y generación de energía eléctrica están relacionadas a cuencas que cuentan con presencia de glaciares. Es por lo tanto razonable pensar que el derretimiento de los glaciares, provocado por los cambios globales actuales, podría tener implicaciones en la respuesta hidrológica de las cuencas que son utilizadas actualmente para el suministro de agua potable y la generación de energía. Se han identificado cuatro cuencas importantes (Figura 6) que cuentan con glaciares: Tuni y Condoriri (agua potable), Zongo y Takesi (generación de energía eléctrica).

Se ha tomado como caso de estudio las cuencas de Tuni (9.87 km<sup>2</sup>) y Condoriri (14.87 km<sup>2</sup>), las cuales forman parte del sistema de abastecimiento de agua potable de las ciudades de “El Alto” y las laderas de la ciudad de “La Paz” con cerca de 1 millón de habitantes. Tanto las precipitaciones como el escurrimiento de fusión de glaciar son almacenadas en un reservorio artificial (Presa Tuni) con una capacidad

de 24700 m<sup>3</sup> que luego es conducida a la planta de Tratamiento El Alto para su posterior distribución a la red de abastecimiento de la ciudad de “El Alto”. A fin de cuantificar los caudales a las salidas de las cuencas estudiadas, en el marco del programa GREATICE del IRD, se instalaron dos estaciones hidrométricas en la zona de estudio (Figura 7), Condoriri y Tuni-Bajo. A su vez, a objeto de cuantificar las pérdidas de la superficie glaciar de las cuencas estudiadas se han recopilado fotografías de vuelos aerofotogramétricos en la zona correspondientes a los años: 1956, 1983, 1986, 1997, 2000 y 2006. A través de una restitución fotogramétrica digital de las fotografías, realizada en el Laboratorio de Fotogrametría del IHH-UMSA, se ha logrado conseguir un conjunto de ortofotos que permitieron un análisis multitemporal de los glaciares de las cuencas Condoriri y Tuni. Este análisis muestra que la cuenca Condoriri ha perdido 44% de su superficie glaciar y la cuenca Tuni el 55% entre 1956 y 2006. Las curvas de tendencia muestran que en ambos casos el conjunto de glacia-

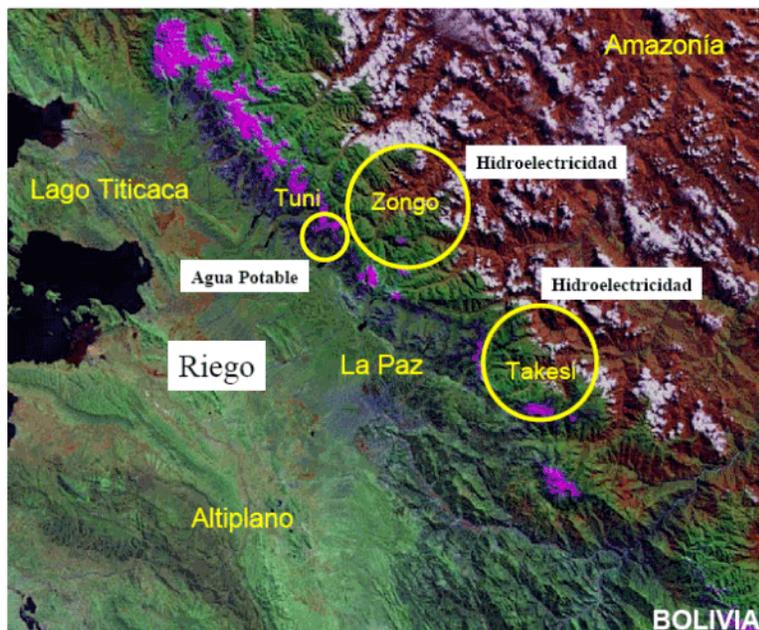


Figura 6. Cuencas con cobertura glaciar que están relacionadas con actividades de uso de agua para consumo humano y generación de hidroenergía  
fuente: IHH-UMSA

res tienden a desaparecer por completo en los próximos 30 años, sin embargo este análisis no toma en cuenta los posibles efectos de borde que podrían acelerar aun más el proceso de derretimiento.

### Oferta vs. Demanda de agua

A objeto de evaluar la relación entre oferta y demanda de agua del sistema Tuni-Condoriri se han recopilado datos de operación de la represa Tuni, la cual juega un rol de elemento de control, donde la diferencia entre entradas y salidas provoca una variación del volumen almacenado en un periodo de tiempo. Para este caso, las entradas están constituidas por el aporte

por precipitación sobre la cuenca y la fusión nival. Las salidas a su vez están constituidas por la demanda del sistema o uso de la población. El análisis efectuado ha permitido la elaboración de una curva de oferta de agua acumulada o “curva de masa” y otra curva de demanda en función a las características actuales de funcionamiento. Estas curvas cuando son sobrepuestas permiten el identificar el equilibrio entre oferta y demando, lo que quiere decir que si estas curvas se cruzan la demanda sobrepasa la oferta de agua en cuenca. La figura 8 muestra las curvas de oferta y demanda para el caso de la presa Tuni, la cual integra los aportes de las cuencas de Tuni y Condoriri. De acuerdo a esta evaluación se observa que bajo las condiciones actuales de funcionamiento

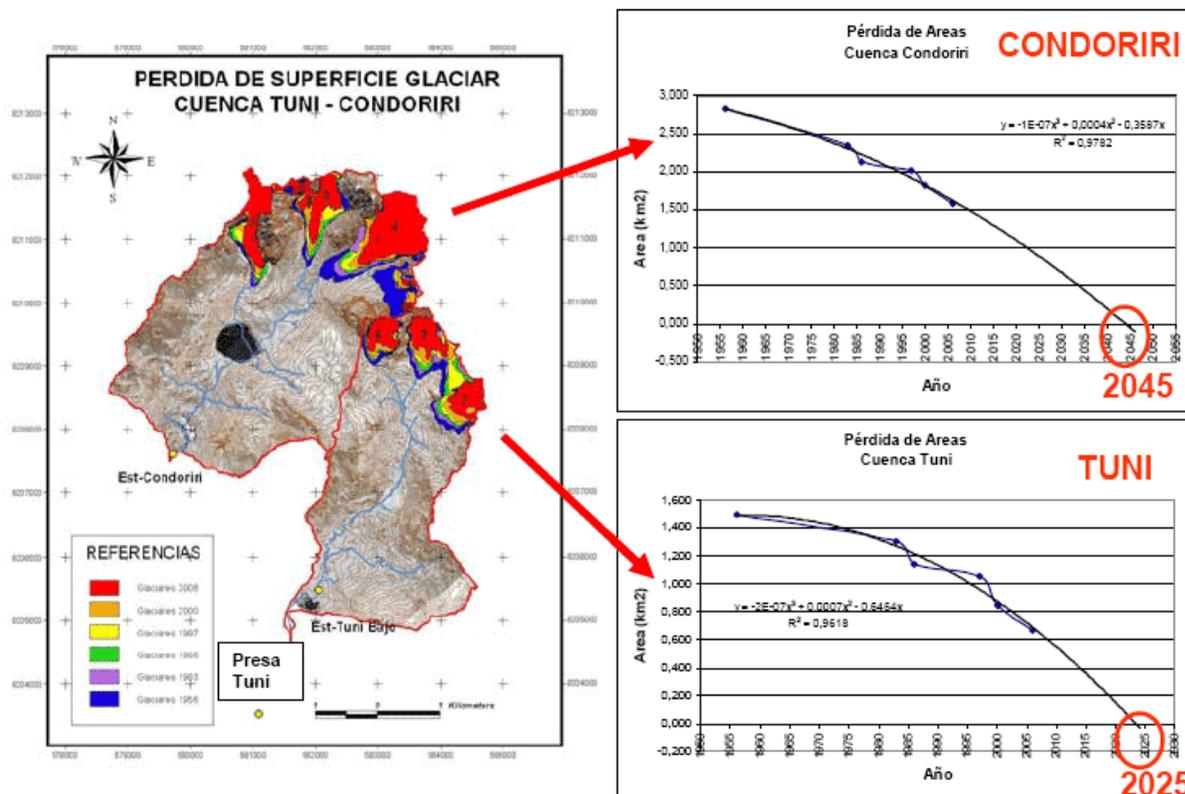


Figura 7. Evolución de la pérdida de superficie glaciar para las cuencas Condoriri y Tuni  
fuente: IHH-UMSA, IRD

y siguiendo las tendencias de crecimiento de la demanda establecidas en base a las estadísticas de operación la demanda supera a la oferta hacia el año 2009. Sin embargo este dato NO DEBE explicarse como un “desabastecimiento de agua” sino como el año de inicio en el cual progresivamente habrá menos agua de la que se usa. Es de hacer notar que en este análisis no se tomó en cuenta los efectos de pérdida de cobertura nival ni los cambios que se experimentarán en el futuro sobre las variables climáticas producto de los cambios climáticos se están experimentando, simplemente muestra un estado actual del funcionamiento del sistema de abastecimiento en base a los datos de operación existentes.

### Discusión

De acuerdo a los estudios realizados existen pruebas suficientes de los impactos del Cambio Global sobre

el derretimiento acelerado de los glaciares tropicales. Es importante recalcar sin embargo que se entiende como cambio global a una sobreposición de la variabilidad natural del clima con los efectos provocados por las actividades humanas que provocan el denominado cambio climático. A la hora actual es difícil cuantificar la proporción del efecto antropogénico frente a la variabilidad natural, pero se debe considerar que se trata de un efecto significativo y que implica una toma de acciones conjuntas entre los todos los países lo más antes posible.

Para el caso de estudio analizado se debe considerar que se han identificado vulnerabilidades que podrían implicar para el futuro posibles escenarios de desabastecimiento de agua para consumo humano y generación de energía eléctrica. Se debe sin embargo considerar que estas vulnerabilidades no están asociadas solamente a los impactos del cambio climático sino también a la gestión de los recursos hídricos actuales.

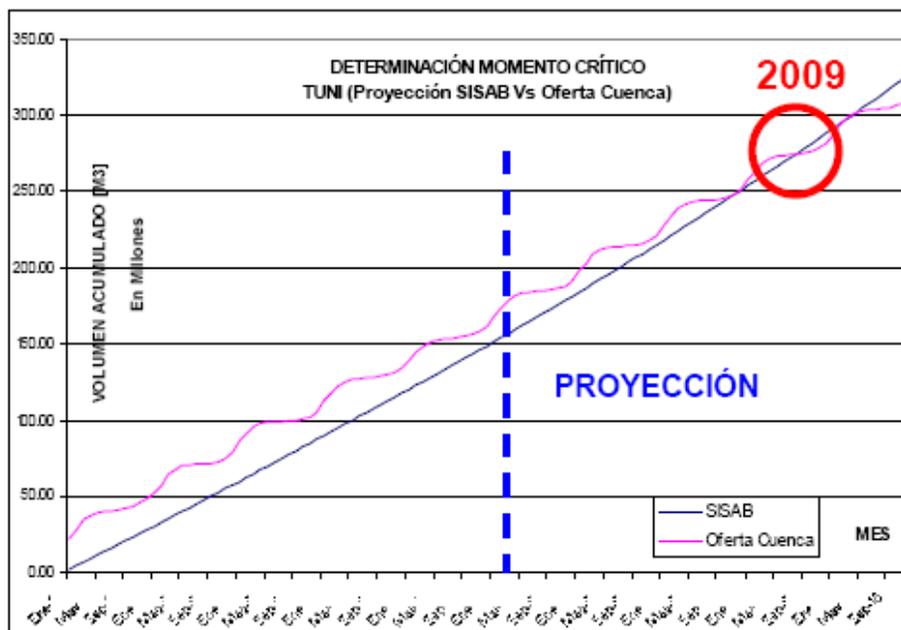


Figura 8. Curvas de oferta y demanda de agua del Sistema Tuni-Condoriri  
fuente: IHH-UMSA , IRD

En términos de los impactos del cambio climático, estos inciden sobre la desaparición de los glaciares de las cuencas estudiadas, los cuales juegan principalmente un papel de reguladores de caudal o reservorios naturales. Por lo tanto su desaparición implicaría la pérdida en la capacidad de regulación de estas cuencas. Se debe tomar en cuenta por otra parte que el aporte hídrico de las cuencas tiene un segundo componente que proviene de las precipitaciones (lluvia) sobre las cuencas. Ahora la pregunta es si en el futuro las cantidades de lluvia serán constantes o variarán por efecto de los cambios climáticos. De momento se conoce muy poco sobre la proporción efectiva en caudal que proveen los glaciares, ya que esta varía notablemente en función de la proporción de su superficie respecto a la superficie total de la cuenca y el comportamiento que tiene cada glaciar en función a su exposición respecto al sol. Se han realizado algunas modelaciones de la respuesta hidrológica de las cuencas frente a la pérdida de su cobertura nival. En algunos casos esta puede ser representativa y en otros insignificantes, dependiendo de las características propias de cada cuenca. Para el caso de las cuencas de Tuni-Condoriri probablemente el aporte glaciar sea del orden del 30% de acuerdo a estimaciones a través de modelos Precipitación - Escorrentía, no habiéndose cuantificado de forma directa dicho aporte. Por lo tanto este resultado no puede ser generalizado al resto de los glaciares de la Cordillera Real ya que cada caso es diferente y responde a diferentes factores.

En términos de pérdida de la superficie glaciar es evidente un retroceso acelerado desde inicios de los años 80 que juntamente con una aparición cada vez más recurrente e intensa de los eventos El Niño estarían provocando esta desaparición de varios de los glaciares tropicales. Sin duda en los próximos 30 años varios glaciares pequeños menores a 1 km<sup>2</sup> habrán desaparecido de forma similar a lo que ocurrió con el glaciar Chacaltaya y lo que está ocurriendo con los glaciares de Tuni-Condoriri.

Es importante mencionar que el proceso de derretimiento acelerado de los glaciares ha sido provocado por un incremento en la temperatura media del orden de 0.6°C y de acuerdo a estimaciones que fueron rea-

lizadas a través de modelos climáticos, se estima que de continuar las proporciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> las temperaturas medias a nivel mundial podrían incrementarse hasta 5°C para finales del siglo (Bradley, Vuille *et al.* 2006). Se debe considerar no obstante que las estimaciones que proporcionan los actuales modelos climáticos tienen niveles de incertidumbre todavía altos, pero esto no deja de preocupar sobre escenarios críticos futuros.

En términos de oferta de agua no podemos considerar la alternativa de producir más agua ni más lluvia, por el contrario bajo el escenario de una posible disminución en las cantidades lluvia en el futuro y un incremento de las temperaturas es posible pensar en condiciones desfavorables para el almacenamiento de agua en las represas, ya que por una parte se tendrán menos entradas por lluvia y mayores pérdidas por evaporación. Pero este escenario “apocalíptico” y la problemática de abastecimiento de agua no deben ser abordados solamente desde el punto de vista un solo lado de la balanza, ya que si bien a nivel de oferta en cuenca existen vulnerabilidades relacionadas al cambio climático, al otro lado de la balanza se encuentra el uso ineficiente del agua. Para el caso de la ciudad de “El Alto” por ejemplo se han llegado a contabilizar pérdidas en la red de distribución entre el 40 y 50%. De acuerdo a datos de la empresa de aguas para que llegue 1 lt de agua a un consumidor se requieren 1.6 lt en la fuente, lo que muestra claramente que existe en la actualidad un uso ineficiente del recurso hídrico. Esto quiere decir que si se logra mejorar la eficiencia del sistema es posible que las actuales curvas de oferta y demanda puedan separarse de tal forma que el año crítico se desplace más allá del año 2009.

## Conclusiones

Debido a los efectos de los actuales cambios globales sumados a una recurrencia cada vez mayor de los eventos “El Niño”, los glaciares tropicales han experimentado en los últimos 30 años una aceleración en su proceso de derretimiento. Este proceso puede incidir por lo tanto en una modificación en la respuesta

hidrológica de las cuencas que son utilizadas para actividades de suministro de agua para consumo humano y generación de hidroenergía. En la actualidad no se percibe desabastecimiento, por el contrario es probable que en el futuro inmediato pudiera observarse una sobreoferta de agua producida por un aumento en los volúmenes de agua provenientes de la fusión glaciaria. Este incremento será seguido por una disminución de los caudales cuando los glaciares hayan desaparecido y solamente se tengan los aportes por lluvia. Sin embargo se deben considerar posibles variaciones en el régimen de las precipitaciones como consecuencia de los cambios climáticos. El escenario más desfavorable sería una disminución en la cantidad de las precipitaciones. Frente a esta problemática es necesario tomar acciones para afrontar posibles impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos. Existen dos tipos de acciones a seguir, la primera que implica la acción de las naciones para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que provocan el actual calentamiento del planeta. Sin duda esta se constituye en la acción más compleja y de más largo plazo. Sin embargo de no tomar acciones los impactos futuros pueden ser aun peores que los escenarios que se vislumbran en la actualidad. La segunda acción es de tipo local y está relacionada a la implementación de medidas de adaptación que hagan frente a los impactos del cambio climático. Sin embargo para la implementación de estas medidas es necesaria la identificación de las medidas y la priorización de las mismas en su implementación. Desafortunadamente en el estado actual del conocimiento, si bien se han logrado identificar algunos de los posibles impactos del cambio climático sobre las fuentes de agua, de momento se conoce muy poco o prácticamente no se conoce en términos cuantitativos el potencial hídrico existente, ni cual es el grado de aporte proveniente del conjunto de los glaciares de la Cordillera Real. Por otra parte no se cuenta aun con series de datos para escenarios futuros bajo el contexto del cambio climático a la escala de cuenca que puedan ser utilizados para la simulación de aportes de agua

futuros y hacer estimaciones del grado de pérdida que se presentaría en las décadas venideras. Es por lo tanto difícil en el estado actual de las investigaciones definir cuáles son las medidas y obras a ejecutar de forma prioritaria que tendrán un impacto significativo frente al problema. Una de las dificultades notables es que los países en vías de desarrollo tienen poca capacidad de responder de forma rápida y efectiva a los impactos del cambio climático que se puedan presentar, tal como lo harían los países más desarrollados, siendo que los primeros son en su mayoría los que menos contribuyeron al problema del cambio climático pero son los que tendrán que pagar la factura más cara. Si bien existen hoy en día muchas iniciativas de los organismos de cooperación internacional en poder financiar medidas de adaptación, la pregunta de fondo es: ¿Cuáles?

Es por lo tanto fundamental dar énfasis a los estudios que permitan definir una estrategia de “Gestión de Recursos Hídricos bajo el contexto del Cambio climático”. Esto implica que se deberán desarrollar mayores investigaciones para cuantificar los potenciales hídricos: glaciares, superficiales, subterráneos y definir nuevas metodologías de diseño de obras civiles que tomen en cuenta el efecto de cambio climático. Hasta la fecha los diseños de ingeniería se han realizado en base a la información del pasado, es decir del análisis de las series históricas de datos hidrometeorológicos. Sin embargo de ahora en adelante deberán tomarse en cuenta además las variaciones que se irán presentando en el futuro producto del cambio climático. Como medidas inmediatas de adaptación se debe resolver el problema del uso ineficiente del agua y trabajar sobre la toma de conciencia de la población en el ahorro de agua y energía. De momento la población hace caso omiso de las recomendaciones ambientales porque el problema todavía no lo sentimos, existe agua suficiente, no obstante cuando el verdadero problema lo tengamos en un futuro próximo y debamos confrontarnos a racionamientos de agua y energía puede que sea muy tarde para tomar accio-

nes. Se discute bastante sobre la identificación de nuevas fuentes de agua para su explotación tal como el caso de las aguas subterráneas, sin embargo la respuesta no está en explotar nuevos recursos sino optimizar los que estamos utilizando y guardar el resto para cuando realmente se los necesite. Por otra parte todavía no se conoce a detalle cuál es el potencial hídrico subterráneo existente ni cual es la velocidad de recarga de los acuíferos. En algunos casos se promueven iniciativas de explotación de aguas subterráneas en el área rural con tecnologías muy eficientes de extracción sin haber cuantificado siquiera el potencial hídrico no garantizando una explotación sostenible.

El reto es el de gran envergadura tanto para las naciones, los tomadores de decisión del país así como para la sociedad en su conjunto, pero los resultados no

serán significativos si no adoptamos un serio compromiso de ser parte de la solución.

---

## Referencias

- Bradley, R., M. Vuille, H. Diaz and W. Vergara (2006). "Threats to Water Supplies in the Tropical Andes." Science 312: 1755-1756.
- Favier, V., P. Wagnon, J. P. Chazarin, L. Maisincho and A. Coudrain (2004). "One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes." JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH 109(D18105): 15.
- Francou, B., M. Vuille, V. Favier and B. Cáceres (2004). "New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0280S." JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH 109(D18106): 17.
- Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza and J. M. Sicart (2003). "Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16S." JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH.
- Hoffman, G., E. Ramirez, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, R. Delmas, H. Dürr, R. Gallaire, J. Simoes, U. Schotterer, M. Stievenard and M. Werner (2003). "Coherent isotope history of Andean ice cores over the last century." GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 30(4): 4.
- Ramirez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Descloitres, R. Guerin, J. Mendoza, R. Gallaire, B. Pouyaud and E. Jordan (2001). "Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case-study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya (16°S)." Journal of Glaciology 47(157): 187-194.
- Ramirez, E., G. Hoffman, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, N. Caillon, F. A. Ferron, A. Landais, J. R. Petit, B. Pouyaud, U. Schotterer, J. Simoes and M. Stievenard (2003). "A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6350 m), Bolivia." Earth and Planetary Science Letters 212: 337-350.
- Wagnon, P., P. Ribstein, G. Kaser and P. Berton (1999). "Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian glacier." Global and Planetary Change 22: 49-58.