

XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2016

FORMACIONES EN GLACIOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y RIESGOS
NATURALES EN EL CONTEXTO DEL PROYECTO “GLACIARES 513”

*Javier Fluixá-Sanmartín¹, Javier García Hernández¹, Fabián Drenkhan^{2,3}, Christian Huggel²,
Holger Frey², Claudia Giráldez²*

¹ Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP), Sion, SUIZA. Tel.: +41 27 607 11 80.

² Department of Geography, University of Zurich (UZH). Zurich, SUIZA. Tel.: +41 44 635 51 93.

³ Departamento de Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, PERÚ

E-mail: javier.fluixa@crealp.vs.ch; javier.garcia@crealp.vs.ch; fabian.drenkhan@geo.uzh.ch;
christian.huggel@geo.uzh.ch; holger.frey@geo.uzh.ch; claudia.giraldez@geo.uzh.ch

RESUMEN:

Frente a la necesidad de una gestión integrada de los riesgos relacionados con el retroceso glaciar en los Andes del Perú y con el fin de fortalecer la capacidad adaptativa, entre los años 2011 y 2015 se implementó el Proyecto “Glaciares 513 – Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes”. Una de sus líneas de acción principales era el *Fortalecimiento de recursos humanos especializados y actualizados*. El presente trabajo expone las estrategias elegidas para alcanzar los objetivos planteados en esta línea de acción seguidas por el consorcio suizo, encabezado por la UZH y completado por el Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP), la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) y Meteodat. Se presentan las lecciones aprendidas durante el periodo del proyecto, resaltando tanto los aspectos positivos como los puntos críticos a considerar para mejorar proyectos futuros en temas de riesgos y adaptación.

ABSTRACT:

In order to satisfy the need for integrated risk management related to glacier retreat in the Peruvian Andes region, between 2011 and 2015 the project “Glaciers 513 - Adaptation to climate change and disaster risk reduction due to glacier retreat in the Andean Cordillera” was implemented. One of its main lines of action was the *Strengthening of specialized and updated human resources*. This paper presents the strategies chosen to achieve the goals set in this line of action followed by the Swiss consortium led by UZH and co-lead by the Centre de Recherche sur l' Environnement Alpin (CREALP) , École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) and Meteodat. Lessons learned during the project period are presented highlighting both positive aspects as well as critical points to be considered in order to improve future risk and adaptation projects.

PALABRAS CLAVES: formación; glaciología; hidrología, reducción del riesgo de desastres, adaptación al cambio climático

INTRODUCCIÓN

De forma generalizada, desde finales del siglo XIX se vienen registrando importantes disminuciones en el área y volumen de la mayor parte de los glaciares de montaña a nivel mundial (WGMS, 2012; Gardner et al., 2013), como lo demuestran amplios registros de monitoreo glaciar desde mediados del siglo XIX con registros de retroceso acelerado en las últimas dos décadas (Zemp et al., 2015). Los Andes del Perú, ubicados en la zona tropical, se encuentran particularmente afectados por los impactos del cambio climático (Urrutia & Vuille, 2009, IPCC, 2013) los cuales se reflejan, entre otros, en el derretimiento glaciar acelerado desde los 1970s (Rabatel et al., 2013) y cambios en la disponibilidad de agua (p.e. Kaser et al., 2003; Baraer et al., 2012).

En la actualidad, se están realizando grandes esfuerzos para modelar escenarios futuros que contemplen el retroceso y desaparición de glaciares (Condom et al., 2012, Marzeion et al., 2012) y los posibles impactos en los recursos hídricos (Condom et al., 2012; Vergara et al., 2011). Estos datos sirven de base para evaluar los impactos económicos (Vergara et al., 2007) y medioambientales de estos fenómenos, y a su vez, permiten la planificación de estrategias de adaptación (Carey et al., 2012; Salzmänn et al., 2014).

El retroceso glaciar lleva aparejado, en múltiples ocasiones, la formación de nuevas lagunas o el aumento en tamaño de las existentes en aquellas zonas donde los glaciares desaparecen (Linsbauer et al. 2012). Estas lagunas representan un valor agregado como fuente de recursos naturales y económicos como por ejemplo reservorios de suministro doméstico de agua, riego, hidroenergía o turismo (Terrier et al., 2011).

Sin embargo, estas lagunas en crecimiento pueden constituir un riesgo para poblaciones e infraestructuras situadas aguas abajo (Carey et al. 2012). Uno de los principales riesgos es el desbordamiento por rotura del dique (GLOF, por sus siglas en inglés) o por rebose de éste, causado por las olas creadas por el impacto de avalanchas de hielo y rocas sobre su superficie (Haerberli, 1983; Huggel et al., 2002). Adicionalmente, fuertes cambios en los patrones socioeconómicos, acompañados de una mayor demanda de agua debido al crecimiento de la población, las áreas de riego intenso y la demanda de energía, ponen a las regiones glaciares andinas en riesgo de escasez de agua (Drenkhan et al., 2015).

Frente a estos desafíos, se hace necesaria una gestión integrada de los nuevos riesgos en el marco de cambios en patrones hidroclimáticos y socioeconómicos. Como respuesta a esta problemática, entre los años 2011 y 2015 se implementó el Proyecto “Glaciares 513 – Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes” para contribuir a mejorar la capacidad de adaptación integral y de reducción de riesgos por desastres frente al fenómeno de retroceso de glaciares en el Perú, particularmente en las regiones de Ancash y Cusco. Este proyecto se ha desarrollado en el marco de la cooperación bilateral de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) con el Gobierno Peruano a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio del Ambiente (MINAM), contando para ello con la coordinación e implementación del mismo por parte del equipo CARE Perú y un consorcio suizo liderado por la Universidad de Zurich en Suiza (UZH).

Para la consecución de sus objetivos, se definieron 3 líneas de acción principales:

- 1) **Fortalecimiento a nivel local frente a los riesgos de origen glaciar**, con estudios de caso detallados.
- 2) **Fortalecimiento de recursos humanos especializados y actualizados**, para robustecer las capacidades locales en glaciología, hidrología, procesos de alta montaña, cambio climático y gestión de riesgos.
- 3) **Fortalecimiento a nivel institucional**, para promocionar y dar peso a la glaciología en Perú a nivel nacional e internacional.

LA FORMACIÓN COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE RIESGOS

Los procedimientos de alerta temprana eficaces deberían formar parte de las estructuras institucionales y legislativas nacionales y complementarse con servicios profesionales, actividades de formación y creación de capacidad y la asignación estratégica de los recursos (Naciones Unidas, 2004).

En este contexto, las entidades internacionales deben proporcionar los medios para el intercambio de la información y de los conocimientos que son la base para la transferencia eficiente de información con fines de asesoramiento. De la misma manera, deben prestar apoyo técnico, material e institucional para el desarrollo y la capacidad operativa de las instituciones nacionales oficialmente encargadas de la alerta temprana. A su vez, las instituciones interesadas tienen que afrontar un desarrollo institucional apropiado que les permita hacer frente a esas nuevas aspiraciones y desarrollar las capacidades apropiadas y/o establecer alianzas de coparticipación o estratégicas con organismos complementarios (OMM, 2009) facilitando el intercambio oportuno y el acceso irrestricto a la información observada y a otros tipos de información. Una vez adquiridas las destrezas necesarias, deben garantizar la adopción de las tecnologías más avanzadas en la lucha frente a los riesgos naturales convirtiéndolas en protocolos de actuación eficientes.

La línea de acción **Fortalecimiento de recursos humanos especializados y actualizados** del Proyecto “Glaciares 513” buscaba fortalecer las capacidades académicas de los profesionales locales vinculados a la glaciología, especialmente de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Este fortalecimiento tuvo como principal mecanismo el desarrollo de un postgrado en glaciología y cambio climático en alta montaña con aspectos de gestión de riesgos y recursos hídricos.

Las actividades planteadas para esta línea de acción fueron:

- Institucionalización de cursos de postgrado en glaciología en universidades peruanas. Se propuso integrar dos series de Diplomado en Glaciología, Cambio Climático y Gestión del Riesgo de Desastres correspondiendo a las necesidades profesionales de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Universidad San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) y Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). En diferentes módulos han colaborado profesionales de las propias universidades e instituciones especializadas del Perú (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Instituto Geofísico del Perú, entre otros) así como del consorcio suizo. Las universidades nacionales co-organizaron la implementación de las clases en el Diplomado I (2012) siguiendo con el compromiso de réplica (Diplomado II, 2013-2014). CARE Perú apoyó el proceso de facilitación y suscripción del convenio marco entre la UNASAM, UNSAAC, UNALM y UZH.
- Especialización de los recursos humanos en glaciología articulados a redes/participación en eventos internacionales. Se planeó la participación en eventos internacionales orientada hacia objetivos de incidencia y movilización de recursos, facilitando la articulación con redes de cambio climático y gestión de riesgo, como ELAN y la PECCN. También se promovió la participación y exposición de resultados de investigación de profesionales peruanos en diferentes conferencias internacionales, tales como la Conferencia Internacional de Adaptación Basada en la Comunidad (CBA Conference, IIED) y la Asamblea General de la European Geosciences Union (EGU).
- Desarrollo de investigación conjuntas entre el consorcio suizo y universidades peruanas en tema de glaciología, cambio climático, recursos hídricos y gestión de riesgos. Reforzando la participación en eventos internacionales, se proyectó la asistencia de investigadores peruanos en pasantías en la UZH, que permitieran reforzar las capacidades adquiridas en los cursos de postgrado o en las capacitaciones a personal especializado de instituciones técnicas existentes. El enfoque se centró en el reforzamiento de métodos de glaciología así como el análisis, presentación y difusión de datos previamente adquiridos.

Este proceso involucró un mayor compromiso por la UZH (en representación del consorcio suizo) y fue articulado con las universidades locales a fin de institucionalizar y dar sostenibilidad a los procesos de actualización profesional y especialización requerida para el monitoreo glaciar. El objetivo de los seminarios impartidos fue facilitar a los participantes el uso de Sistemas de Soporte para la toma de Decisiones (DSS, por sus siglas en inglés), definidos como *sistemas interactivos que ayudan a los tomadores de decisiones a utilizar datos y modelos para resolver problemas no estructurados* (Turban, 2001).

A partir del desarrollo de investigaciones dentro de la temática de glaciología a la adaptación al cambio climático, la gestión de los recursos hídricos y gestión de riesgos, se propuso realizar procesos de incidencia que permitieran que los resultados de estas investigaciones fuesen utilizados o reforzaran la toma de decisiones gubernamentales en sus diferentes niveles.

CURSOS DE FORMACIÓN EN GLACIOLOGÍA, CAMBIO CLIMÁTICO, GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y RECURSOS HÍDRICOS

Contexto

A pesar de la gran extensión, su importancia y los impactos visibles que muestran las áreas de glaciares como fuente de agua, valor cultural, espiritual y turístico, no ha existido por mucho tiempo una amplia base de conocimientos y formación desde el mundo académico o de las instituciones públicas-privadas en el Perú. Este análisis reveló la necesidad de formar nuevas capacidades en diferentes instituciones en primer lugar espacialmente vinculados con las áreas de glaciología. Así, se formó un consorcio de cuatro universidades mediante un Convenio Marco resaltando el interés recíproco de formación de capacidades en temas de glaciología, cambio climático, gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos. Para ello, junto a la UZH se involucraron las dos universidades principales en las áreas de mayor cobertura glaciar en el Perú: la UNSAAC (Cordillera Vilcanota-Vilcabamba, Cusco) y UNASAM (Cordillera Blanca, Ancash). Además, desde Lima, la UNALM formó parte de este consorcio, en particular aportando su experiencia en temas de recursos hídricos. Esta base permitió el diseño de dos programas de postgrado llevados a cabo en las tres universidades peruanas en estrecha coordinación con el Vicerrectorado de Investigación (UNSAAC), la Facultad de Ciencias del Ambiente (UNASAM) y Departamento de Recursos Hídricos (UNALM).

Objetivos

Los objetivos principales de los cursos de formación fueron:

- Impartir y reforzar conocimientos y métodos científicos en las líneas estratégicas de glaciología, cambio climático, gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos.
- Crear nuevas capacidades interinstitucionales abarcando la Academia y el sector público-privado.
- Organizar la transferencia de conocimientos con la participación de docentes en formación de las instituciones locales, asegurando de esta manera una sostenibilidad de formación a largo plazo.
- Generar contactos locales con docentes y estudiantes a fin de involucrarlos en los demás programas (p. ej. pasantías con Suiza) e investigaciones conjuntas.

Plan formativo

En ambos Diplomados, el consorcio suizo y los socios peruanos dictaron seis módulos que abarcaban las líneas estratégicas de glaciología, cambio climático, gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos. Además, se programó la integración sucesiva de docentes peruanos en formación a fin de garantizar una sostenibilidad en el dictado de estos módulos. En total, se logró capacitar a

36 profesionales de diferentes especialidades e instituciones durante el periodo 2012-2014. Durante la implementación de las clases, diez profesores peruanos y tres docentes en formación estuvieron involucrados.

Entre 2014 y 2015 se diseñaron cuatro cursos cortos que se centraron en la redacción de artículos científicos, planteamiento de proyectos de investigación y gestión de conocimiento científico con apoyo adicional de la Universidad de Ginebra y del proyecto “PACC”. Se logró capacitar a 63 profesionales de las universidades e instituciones socias, incluyendo también a la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en Lima y Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA) en Abancay.

A su vez, se ofreció apoyo en el diseño de módulos y en la implementación de nuevas Maestrías relacionadas con los temas estratégicos en las universidades socias. Desde el primer semestre de 2014, la UNSAAC cuenta con la nueva Maestría “Cambio Climático y Desarrollo Sostenible”, y actualmente se está formando ya a la tercera promoción. La UZH apoyó en los procesos de creación de la Maestría y capacitó a 75 profesionales de diferentes especialidades mediante el dictado de tres módulos relacionados a glaciología y gestión del riesgo de desastres en alta montaña.

Resultados y futuras líneas de trabajo

El programa de Diplomado se llevó a cabo con éxito contando con una amplia gama de estudiantes y docentes de diferentes instituciones peruanas. A pesar de este aspecto positivo, se detectó una demanda decreciente en temas de glaciología y creciente en temas transversales relacionados a recursos hídricos y ecología en alta montaña. Además, la falta de conocimiento de diversos métodos científicos tales como la computación específica, conocimientos básicos de estadística y ciencias naturales así como deficiencias en la propia gestión de información científica, obstaculizaron la eficiencia a la hora de formar adecuadamente a todos los participantes.

Por ello, en la segunda mitad del Proyecto “Glaciares 513”, se enfocaron más talleres sobre métodos científicos específicos que previamente hubieran sido identificados como puntos débiles en la formación de los profesionales. Estos cursos cortos han sido recibidos muy positivamente, con la solicitud por parte de los estudiantes e instituciones socias de una implementación más frecuente e inclusión de más temas relacionados en cursos futuros.

A partir de las experiencias adquiridas durante la formación de capacidades mencionada anteriormente, en la nueva fase del Proyecto “Glaciares+” (2015-2018) se está considerando enfocar en el dictado de una gama amplia de cursos cortos específicos y módulos en Maestrías existentes en lugar de seguir con el programa de Diplomado.

En este contexto, un punto crítico sigue representando la transferencia de conocimientos hacia personas y sobre todo instituciones involucradas a fin de generar sostenibilidad en la formación de capacidades futuras. Los próximos cursos tendrán que seguir una mejor estrategia para aumentar el nivel de compromiso de los estudiantes y docentes en formación, y para aplicar, compartir y transferir conocimientos y métodos científicos adquiridos en sus instituciones. Por ejemplo, para asegurar un nivel adecuado de enseñanza es imprescindible contar con un nivel suficiente de conocimientos de inglés por parte de los estudiantes y docentes; este compromiso debe ser resaltado durante el proceso de admisión y selección de estudiantes y dentro de las instituciones socias a fin de asegurar un mayor aprovechamiento de adquisición de conocimientos científicos internacionales.

CURSOS DE FORMACIÓN EN MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA CON RS MINERVE

Contexto

La variación en disponibilidad de los recursos hídricos debido a los cambios en la cobertura glaciar (y en particular a su retroceso) tiene un impacto importante en las comunidades andinas. Debido a los procesos acelerados de desglaciación en estos medios, se han registrado variaciones significativas en los regímenes de caudales (**Figura 1**) según cuatro fases principales: (1) la fusión glaciar aumenta los caudales medios anuales y en la estación seca más allá del caudal de equilibrio; (2) los caudales medios anuales y en estación seca continúan aumentando más lentamente hasta llegar a un máximo; (3) una disminución pronunciada de los caudales viene acompañada de una variabilidad de los caudales mayor; y (4) el fin del aporte glaciar a los caudales reduce el punto de equilibrio pero aumenta la variabilidad (Fountain and Tangborn, 1985).

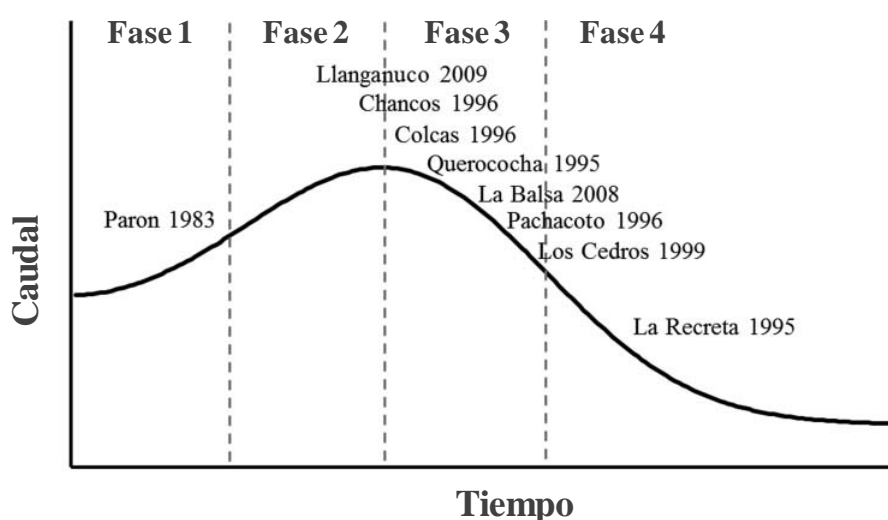


Figura 1.- Hidrograma conceptual que muestra el cambio relativo del caudal con el tiempo (ejemplo para el Río Santa, Ancash, Perú, traducido de Bury et al., 2013).

Esto afecta negativamente a la gestión de los recursos hídricos, no sólo por la reducción de los aportes en agua, sino también por el aumento de la incertidumbre en cuanto a su disponibilidad, evolución, etc. Es por tanto necesario disponer y dominar herramientas de modelización hidrológica para analizar en profundidad esta problemática.

En este contexto, entre 2014 y 2015 el CREALP organizó, dentro del proyecto “Glaciares 513”, tres seminarios de modelización hidrológica enfocados al ámbito de la hidrología y la gestión de recursos hídricos a los que acudieron profesionales y técnicos especializados.

Objetivos

Los objetivos principales de los cursos de modelización hidrológica e hidráulica con el programa RS MINERVE (Foehn, 2016; García Hernández et al., 2016) impartidos fueron:

- Profundizar en el conocimiento de las cuencas hidrográficas, los elementos que las componen, su comportamiento y su respuesta frente a las diversas solicitaciones externas (meteorológicas, naturales e inducidas por las actividades humanas).
- Construir y explotar modelos hidrológico-hidráulicos, integrando las componentes más relevantes de la cuenca que pudieran afectar al régimen de caudales: sub-cuencas, reservorios, puntos de consumo, tomas y derivaciones, etc.
- Aprender a evaluar los recursos hídricos de una cuenca y posibilitar su optimización.

- Evaluar los impactos de la implementación de medidas estructurales y no-estructurales sobre la satisfacción de las demandas.
- Disponer de herramientas de apoyo a la toma de decisiones en proyectos de corte hidrológico.
- Adaptar los modelos hidrológicos incluidos en RS MINERVE en base a las necesidades y los *feedbacks* de los usuarios dentro del proceso de mejora continua de esta herramienta de modelización.

En estos cursos participó personal de distintas plataformas, entornos científicos y con distintos *backgrounds*. Entre ellos se encuentran profesionales de CARE Perú, Sedapal, SENAMHI, OFITECO, la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Southern Coper, ElectroPerú, Instituto Geofísico del Perú, o del Proyecto Chavimochic.

Plan formativo

Los días 6, 7 y 8 de mayo de 2014 se culminó con éxito el primer curso de “Modelización Hidrológica e Hidráulica con RS MINERVE”, realizado gracias al trabajo conjunto del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), CREALP, UZH, COSUDE, Meteodat, Care Perú y la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL).

Más adelante, entre los días 13 y 17 de abril de 2015 se impartieron el “Seminario de formación en modelización hidrológica e hidráulica con RS MINERVE” (similar al anterior y abierto a más público) y el “Seminario de formación avanzada en modelización hidrológica e hidráulica con RS MINERVE”, en las instalaciones del SENAMHI en Lima, impartidos por especialistas del CREALP y de la Universitat Politècnica de València (UPV). En el curso “avanzado” se profundizó en los módulos más especializados del programa que permiten llevar a cabo análisis particulares de los modelos: construcción de modelos hidrológicos a partir de GIS, simulaciones estocásticas, calibración de modelos, etc.

Los seminarios impartidos siguieron una estructura que permite a los participantes fortalecer sus conocimientos a la vez que aprender y mejorar su manejo del programa. La primera parte de los mismos constó de una descripción teórica de los modelos hidrológicos existentes y su aplicación; seguidamente se presentó el programa de modelización RS MINERVE, sus capacidades y las líneas básicas para la modelización. A continuación, los conocimientos adquiridos se plasmaron en la realización de varios ejercicios prácticos con apoyo de los instructores, en los que los participantes debían construir diversos modelos hidrológicos de casos reales y resolver las problemáticas planteadas.

Resultados y futuras líneas de trabajo

Esta transferencia de conocimientos de los expertos, modeladores, etc. a los usuarios finales (en general estudios de ingeniería u organismos/instituciones con capacidad para la toma de decisiones) ha resultado ser beneficiosa para todas las partes.

Por un lado, los participantes mejoraron sus conocimientos generales en hidrología y en particular en modelización de cuencas, a la vez que aprendieron el manejo de un programa específico y gratuito para estos propósitos (RS MINERVE). Dentro de los casos más destacados, cabe mencionar al SENAMHI, que sigue comprometido a participar en seminarios y cursos de formación en aras de mejorar su conocimiento sobre sus cuencas de estudio y de mejorar las capacidades de sus profesionales.

Por otro lado, los expositores y desarrolladores de los modelos beneficiaron de las experiencias en formación para mejorar sus técnicas de enseñanza, pero también para adaptar las necesidades identificadas por los profesionales en el programa de modelización: desde el primer curso, y en base a los comentarios y propuestas recibidos, se han implementado en RS MINERVE algunas de las nuevas funcionalidades disponibles.

CONCLUSIONES

Como respuesta a la importancia en la transmisión de conocimientos científicos entre entidades en el contexto de los riesgos relacionados con el retroceso glaciar en los Andes del Perú, el proyecto “Glaciares 513 – Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes” ha buscado potenciar el fortalecimiento de recursos humanos especializados y actualizados robusteciendo así las capacidades locales en glaciología, hidrología, procesos de alta montaña, cambio climático y gestión de riesgos.

Los programas de postgrado desarrollados a este efecto permitieron transmitir múltiples conocimientos y métodos a las universidades socias de los ámbitos de acción Cusco, Ancash y Lima, formando a más de 200 profesionales mediante 12 cursos en el periodo 2012-2015. También en términos cualitativos se logró cimentar la cooperación de enseñanza e investigación entre las instituciones mediante proyectos de investigación y estudios con algunos investigadores que permiten una estrecha coordinación entre ambas partes para la continuación de capacitación y hallazgo de nuevos datos científicos.

En el campo de la hidrología y de la hidráulica, se realizaron con éxito diversos seminarios en modelización hidrológica con el programa RS MINERVE, donde los participantes ganaron en experiencia y reforzaron sus capacidades para el desarrollo de estudios o para el apoyo a la toma de decisiones y gestión en proyectos de este ámbito.

A su vez, los expositores beneficiaron de las experiencias en estas formaciones, mejorando sus perspectivas, su difusión e incluso las metodologías de aprendizaje utilizadas.

Sin embargo, el Proyecto “Glaciares 513” también llegó a límites de capacidades y viabilidad de sus programas previstos, mayormente vinculados a procesos administrativos complejos con las universidades socias, retrasos en la ejecución o falta de interés por parte de algunos docentes-investigadores en las universidades socias. Además, la falta de conocimiento de algunos métodos científicos tales como la computación específica, conocimientos básicos de estadística, ciencias naturales y deficiencias en la propia gestión de información científica, obstaculizaron en parte una formación eficaz y de mayor impacto de los participantes.

Para enfrentar estos obstáculos identificados durante la primera fase del Proyecto “Glaciares 513” y a la vez garantizar una sostenibilidad de formación, se han formulado diferentes estrategias. Una solución pasa por alinear esfuerzos centrándose más en cursos de capacitación específica por debilidades identificadas en los cursos ya dictados, promoviendo el uso de fondos nacionales (p.e. CONCyTEC, Canon, etc.); otra solución sería trabajar de manera más integrativa con las contrapartes que muestran el suficiente interés en armar cursos de formación y llevar a cabo investigación base que se vincule con la comunidad científica internacional. Los próximos cursos tendrán que seguir una mejor estrategia para aumentar el nivel de compromiso de los estudiantes y docentes en formación, y para aplicar, compartir y transferir conocimientos y métodos científicos adquiridos en sus instituciones a fin de generar sostenibilidad en la formación de capacidades futuras.

En la nueva fase del Proyecto “Glaciares+” (2015-2018) se prevé incorporar dichas estrategias a partir de las lecciones aprendidas de la primera fase del proyecto y de esta manera mejorar los métodos de enseñanza y adaptarlos al contexto peruano donde se enfoca dicho proyecto.

REFERENCIAS

- Baraer, M.; Mark B.G.; Mckenzie J.M.; Condom, T.; Bury, J.T.; Huh, K-I.; Portocarrero, C.; Gomez, J.; & Rathay, S. (2012).** “Glacier Recession and Water Resources in Peru’s Cordillera Blanca.” *Journal of Glaciology* 58 (207): 134–50. doi:10.3189/2012JoG11J186.
- Bury, J.; Mark, B.G.; Carey, M.; Young, K.R; McKenzie, J.M.; Baraer, M., French, A.; & Polk, M.H. (2013).** *New Geographies of Water and Climate Change in Peru: Coupled Natural and*

- Social Transformations in the Santa River Watershed, *Annals of the Association of American Geographers*, 103:2, 363-374.
- Carey, M., Huggel, C., Bury, J., Portocarrero, C. and Haeberli, W.** (2012). “An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru”. *Climatic Change* 112, 3, 733-767. <http://doi.org/10.1007/s10584-011-0249-8>
- Condom, T., Escobar, M., Purkey, D., Pouget, C., Suarez, W., Ramos, C., Tacsí, A., Gomez, J.** (2012). Simulating the implications of glaciers’ retreat for water management: a case study in the Rio Santa basin, Peru. *Water Int.* 37, 442–459. doi:10.1080/02508060.2012.706773
- Condom, T. H.; Coudrain, A.; Sicart, J. E.; Théry, S.** (2007). *Computation of the space and time evolution of equilibrium-line altitudes on Andean glaciers (10°N–55°S)*. *Global Planet. Change*, 59(1–4), 189–202 (doi: 10.1016/j.globplacha.2006.11.021)
- Drenkhan, F.; Carey, M.; Huggel, C.; Seidel, J.; & Oré, M.T.** (2015). “The Changing Water Cycle: Climatic and Socioeconomic Drivers of Water-Related Changes in the Andes of Peru.” *WIREs: Water* in press. doi:10.1002/wat2.1105.
- Foehn, A.; García Hernández, J.; Claude, A.; Roquier, B. and Paredes Arquiola, J.** (2016). *RS MINERVE – User’s manual v2.2*. RS MINERVE Group, Switzerland.
- Fountain, A.; & Tangborn, W.** (1985). The effect of glaciers on streamflow variations. *Water Resources Research* 21 (4): 579–86.
- García Hernández, J., Paredes Arquiola, J.; Foehn, A. and Roquier, B.** (2016). *RS MINERVE – Technical manual v2.2*. RS MINERVE Group, Switzerland.
- Gardner, A. S., Moholdt, G., Cogley, J. G., Wouters, B., Arendt, A. A., Wahr, J., et al.** (2013). “A Reconciled Estimate of Glacier Contributions to Sea Level Rise: 2003 to 2009”. *Science*, 340, pp. 852–857. doi: 10.1126/science.1234532
- Haeberli, W.** (1983). *Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps*. *Annals of Glaciology*, 4, 85-90.
- Hoffmann, D.; López, G., Ruiz, L.** (2015). *Reporte de evaluación externa - Glaciares 513: Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes (2011 – 2015)*. Informe 25 de mayo de 2015.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change** (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*. Edited by T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kaser, G.; Juen, I.; Georges, C.; Gómez, J.; & Tamayo, W.** (2003). “The Impact of Glaciers on the Runoff and the Reconstruction of Mass Balance History from Hydrological Data in the Tropical Cordillera Blanca, Perú.” *Journal of Hydrology* 282 (1-4): 130–44. doi:10.1016/S0022-1694(03)00259-2.
- Linsbauer, A.; Paul, F.; and Haeberli, W.** (2012). “Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach”. *Journal of Geophysical Research* 117, F03007, doi:10.1029/2011JF002313
- Marzeion, B.; Jarosch, A.H.; Hofer, M.** (2012). “Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers”. *The Cryosphere*, 6(6), pp. 1295–1322. doi:10.5194/tc-6-1295-2012
- Naciones Unidas, Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD/ONU)** (2004). *Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. ISBN 92-1-300228-9.
- OMM, Organización Meteorológica Mundial** (2009). *Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II: Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas*. OMM-N°168. ISBN 978-92-63-30168-0.
- Rabatel, A. and 27 co-authors** (2013). “Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change”. *The Cryosphere* 7, 81-102.

- Salzmann, N.; Huggel, C.; Rohrer, M.; & Stoffel, M.** (2014). Data and knowledge gaps in glacier, snow and related runoff research – A climate change adaptation perspective. *Journal of Hydrology*, 518, 225–234. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.058>
- Stoffel, M.; Christian Huggel, C.** (2012). “Effects of Climate Change on Mass Movements in Mountain Environments.” *Progress in Physical Geography* 36 (3): 421–39. doi:10.1177/0309133312441010.
- Terrier, S.; Jordan, F.; Schleiss, A.J.; Haeberli, W.; Huggel, C.; Künzler, M.** (2011). “Optimized and adapted hydropower management considering glacier shrinkage scenarios in the Swiss Alps”, in: Schleiss, A., Boes, R. (Eds.), *International Symposium on Dams and Reservoirs under Changing Challenges: 79th Annual Meeting of ICOLD*. Taylor & Francis Group, Lucerne, Switzerland, p. 12.
- Turban, E.; & Aronson, J.E.** (2001). “Decision Support Systems and Intelligent Systems”. *Upper Saddle River*, NJ: Prentice-Hall.
- Urrutia, R.; Vuille, M.** (2009). “Climate Change Projections for the Tropical Andes Using a Regional Climate Model: Temperature and Precipitation Simulations for the End of the 21st Century.” *Journal of Geophysical Research* 114 (D02108): 1–15. doi:10.1029/2008JD011021.
- Vergara, W., Deeb, A., Leino, I., Kitoh, A., Escobar, M., Study, W.B., Of, D., Through, M., Studythe, C., Of, A., Deeb, A., Leino, I., Kitoh, A., Escobar, M.** (2011). *Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology*. The World Bank, Washington, D.C.
- Vergara, W.; Deeb, A.; Valencia, A.; Bradley, R.; Francou, B.; Zarzar, A., et al.** (2007). *Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes*. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 88(25), pp. 261–264.
- WGMS** (2012). *Fluctuations of Glaciers 2005–2010*, Volume X. Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S.U., Hoelzle, M., Paul, F., and Haeberli, W. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland: 336 pp. Publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2012-11
- Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S.U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W., Denzinger, F., Ahlstrøm, A.P., Anderson, B., Bajracharya, S., Baroni, C., Braun, L.N., Càceres, B.E., Casassa, G., Cobos, G., Dàvila, L.R., Delgado Granados, H., Demuth, M.N., Espizua, L., Fischer, A., Fujita, K., Gadek, B., Ghazanfar, A., Hagen, J.O., Holmlund, P., Karimi, N., Li, Z., Pelto, M., Pitte, P., Popovnin, V. V., Portocarrero, C.A., Prinz, R., Sangewar, C. V., Severskiy, I., Sigurdsson, O., Soruco, A., Usubaliev, R., Vincent, C.** (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745–762. <http://doi.org/10.3189/2015JoG15J017>