

Imagen satelital obtenida por la NASA el 12 de septiembre de 2015. Muestra los Andes centrales y sus tierras adyacentes en la Argentina y Chile. La cordillera exhibe la abundante nieve acumulada durante el invierno.

La Rioja

San Juan

Mendoza

Santiago

San Rafael



**Ricardo Villalba, José A Boninsegna,
Mariano H Masiokas y Leandro Cara**
Instituto Argentino de Nivología, Glaciología
y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Conicet

Mario Salomón
Departamento General de Irrigación de Mendoza

José Pozzoli
Universidad del Aconcagua, Mendoza

Cambio climático y recursos hídricos

El caso de las tierras secas del oeste argentino

El agua, recurso crucial

Por centro-oeste argentino aludimos al extenso territorio seco perteneciente a las provincias de San Juan y Mendoza que se extiende al pie de los Andes. En dichas provincias, más del 95% de la población se concentra en tierras irrigadas que ocupan respectivamente el 2,8% y el 3,4% de la extensión de ellas, y en esas tierras, también, se genera gran parte del producto bruto regional. Lo pequeño del área bajo riego con relación a los territorios provinciales refleja la escasez de agua, el recurso natural que regula el crecimiento socioeconómico de la región.

El agua de riego proviene de ríos y arroyos que se originan en la cordillera. Las enormes montañas de los Andes centrales, entre los 30° y los 37° de latitud sur, alcanzan alturas que superan los 5000m y desempeñan un papel hidrológico fundamental. Las masas de aire húmedo provenientes del Pacífico descargan su humedad en los sectores altos de la montaña, mayormente durante el invierno y en forma de nieve, la cual comienza a derretirse en primavera hasta alcanzar un máximo durante los meses más cálidos del verano.

Las fluctuaciones de la cantidad de nieve que se acumula cada año explican alrededor del 90% de las varia-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Mendoza y San Juan dependen del agua. ¿Cómo las afectará el cambio climático?



● Estación nivométrica ● Estación de aforo

Mapa de la región de los Andes centrales entre los 30° y los 37° de latitud sur. Están marcadas las estaciones de medición de nieve y las de aforo de los caudales de los principales ríos. Los números corresponden a las siguientes estaciones nivométricas: 1. Quebrada Larga, 2. Portillo, 3. Toscas, 4. Laguna Negra, 5. Laguna del Diamante, 6. Valle Hermoso, 7. Lo Aguirre y 8. Volcán Chillán. Las letras, a las siguientes estaciones de aforo de los ríos indicados entre paréntesis: A. Km 47,3 (San Juan), B. Guido (Mendoza), C. Valle Uco (Tunuyán), D. La Jaula (Diamante), E. La Angostura (Atruel), F. Buta Ranquil (Colorado), G. Cuncumen (Choapa), H. Chacabucquito (Aconcagua), I. El Manzano (Maipo) y J. Los Briones (Tinguiririca).

ciones de caudal de los principales ríos de la región de un año a otro, o variación interanual. Por otra parte, las bajas temperaturas y las mayores precipitaciones en la alta montaña favorecen la formación de glaciares y otros cuerpos de hielo, que cumplen una importante función reguladora del agua que desciende hacia la llanura: en los años de poca nieve, al quedar los glaciares más expuestos a la fuerte radiación del sol de verano y comienzos del otoño, aportan una contribución adicional de agua a los ríos.

Los Andes centrales se caracterizan por una marcada variabilidad climática, que incluye las fluctuaciones de precipitación más extremas de América del Sur. Los

registros desde comienzos de la década de 1950 muestran que la nieve acumulada en ese tramo de la cordillera puede oscilar de un año a otro entre 5% y 250% en torno de su valor medio. De 2010 a 2014 la acumulación de nieve en la alta cordillera estuvo por debajo de la media, lo que afectó el normal desenvolvimiento de la actividad agrícola y la generación de hidroelectricidad.

En los últimos tiempos, el enorme desafío de manejar en forma eficiente y sustentable los recursos hídricos en el oeste argentino se ha hecho más difícil por los cambios ambientales relacionados con el calentamiento global. Así, se ha documentado una marcada retracción de los glaciares andinos, proceso exacerbado por la ocurrencia de períodos prolongados con bajas precipitaciones. En este contexto, los gobiernos provinciales y las entidades científicas procuran establecer medidas que reduzcan las consecuencias desfavorables del cambio climático.

Las tendencias pasadas

Para poder establecer la existencia y la magnitud del cambio climático, considerado como una alteración que obedece a causas de origen humano, lo ideal sería poder caracterizar la variabilidad climática natural de la región antes de que operaran esas causas antropogénicas. Para ello, haría falta contar con datos de temperatura y precipitación que se extendieran hacia el pasado por mucho tiempo, incluso siglos. Pero en América del Sur, lo mismo que en muchas otras partes del mundo, los registros climáticos fehacientes raramente se prolongan por más de cien años hacia el pasado. Para los Andes centrales algunas series de mediciones de precipitación cubren los últimos cincuenta años, pero la mayoría no abarca más allá de los últimos veinte a treinta años. Además, la mencionada variabilidad de la precipitación dificulta identificar tendencias y cambios significativos.

Para salvar en alguna medida estas limitaciones, los científicos recurren a registros naturales diversos, por ejemplo, las variaciones interanuales de los anillos de crecimiento de los árboles, que pueden proporcionar información sobre la variabilidad climática a lo largo de siglos, incluso de milenios. Así, se ha podido reconstruir la historia de las precipitaciones en la vertiente oeste de los Andes centrales desde el año 1000 de nuestra era estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), lo cual proporcionó una visión de sus fluctuaciones muchos siglos antes de que se hiciera sentir la acción humana sobre el clima.

No solo se encontró una enorme variabilidad de las precipitaciones sino, también, largos períodos dominados por escasez o por abundancia de precipitaciones. Hubo lapsos húmedos en torno a los años 1120 y 1200,

desde 1340 a 1440 y desde 1650 a 1900. En particular, este último lapso se caracterizó por precipitaciones muy abundantes entre 1820 y 1860, el intervalo más húmedo de los últimos mil años. Los anillos de los árboles también dan cuenta de sequías prolongadas entre 1020 y 1100, 1260 y 1340, 1500 y 1640 con una pequeña interrupción en la década de 1590. A partir de comienzos del siglo XX se observa una tendencia hacia menores precipitaciones, que resulta marcada en las décadas de 1950 y 1960, y a partir de 2010.

La mencionada tendencia decreciente en las precipitaciones no es estable, pues experimenta variaciones en respuesta a fenómenos como El Niño, que se asocia con un calentamiento en el océano Pacífico tropical y conlleva un incremento de las precipitaciones en los Andes, o La Niña, que puede producir el efecto contrario como consecuencia de enfriamientos del Pacífico tropical.

Si se analiza la serie de observaciones desde principios del siglo XX, se advierte que hubo también un

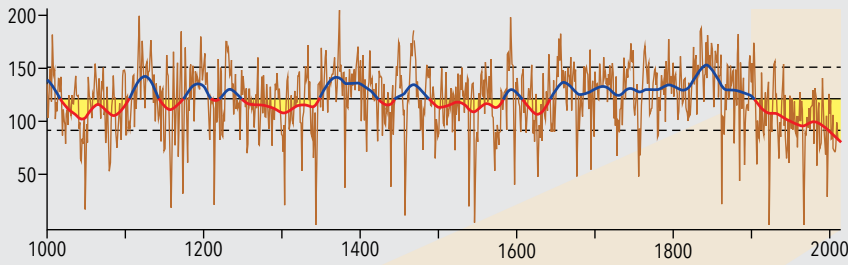
período de bajas precipitaciones entre 1945 y 1976, coincidente con la fase fría de un fenómeno climático llamado la oscilación decenal del Pacífico, distinto de los dos anteriores. Se especula que el período continuo de cinco años con escasas nevadas en la cordillera que se inició en el invierno de 2010 podría estar asociado con una nueva fase fría de ese fenómeno. Este sería el lustro con menores precipitaciones desde 1951, año en que se comenzó a tomar datos de nieve en la alta montaña. Su consecuencia fue una disminución del caudal de los ríos andinos que llevó a los gobiernos provinciales a tomar serias medidas ante la emergencia hídrica.

El retroceso de los glaciares

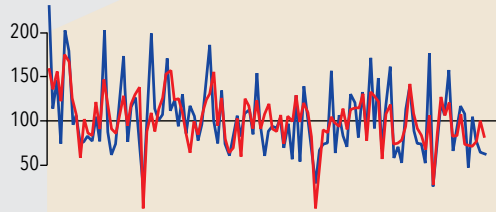
El retroceso de los glaciares en numerosas regiones montañosas del mundo es uno de los signos convincentes

El río Atuel en la zona de El Sosneado, a unos 120km al suroeste de San Rafael, Mendoza. Foto Alejandra Cartamil

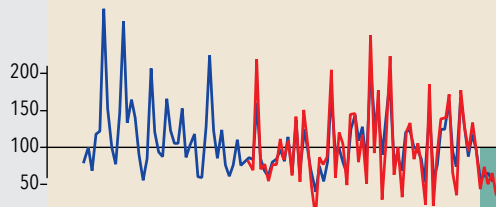




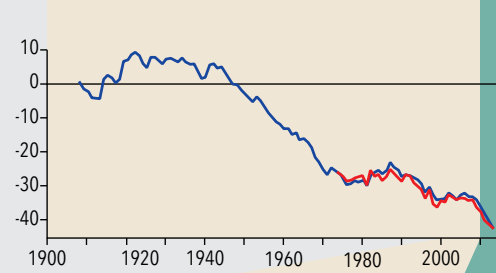
Variación de las precipitaciones en los Andes centrales durante el último milenio (líneas sepia), estimada estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*). Las cifras del eje de la izquierda indican diferencias porcentuales con relación a la precipitación media del período 1925-2010. La línea azul y roja muestra las mismas variaciones en forma suavizada y diferencia los períodos húmedos (azul) de los secos (rojo). El sombreado amarillo destaca los segundos. Datos de estudios realizados en la Universidad Austral de Chile, Valdivia.



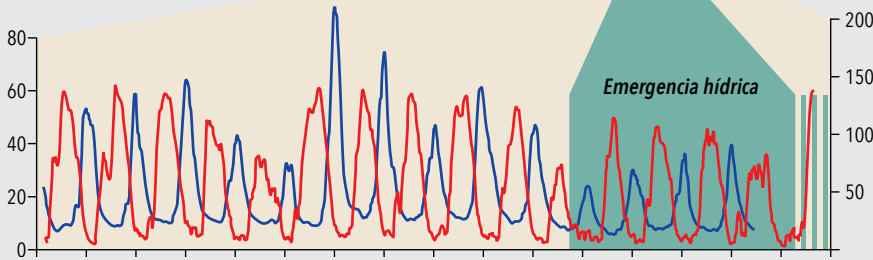
Detalle del período 1900-2010 del gráfico anterior. Las líneas rojas marcan las precipitaciones estimadas estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera, es decir, son las del gráfico precedente dibujadas en distinta escala temporal. Superpuestas en azul están dibujadas líneas que representan los datos meteorológicos tomados durante dicho período. Se advierte que existe razonable coincidencia de ambas series.



Variación anual entre julio de cada año y junio del siguiente de los caudales de diez ríos andinos (azul) y de la nieve caída en ocho sitios de alta montaña de los Andes centrales argentinos y chilenos (rojo). Las cifras del eje de la izquierda indican diferencias porcentuales con relación a los valores medios del período 1951-2010.



Variaciones a lo largo de un siglo de la masa de hielo del glaciar Echauren norte, situado en los Andes chilenos a unos 50km al sureste de Santiago. La línea roja refleja las mediciones del glaciar realizadas a partir de 1972; la azul, estimaciones basadas en registros hidrometeorológicos. La tendencia de retroceso es similar a la observada en otros glaciares andinos. Las unidades del eje de la izquierda son porcentajes por encima y por debajo de la masa de hielo en 1906, que en el gráfico correspondería a la línea horizontal.



Variaciones del caudal del río Mendoza registradas en la estación de aforo Guido (azul) y cobertura de nieve en la cuenca superior del mismo río estimada con imágenes satelitales (rojo). Se advierte que entre 2011 y 2015 se registraron nevadas reducidas y bajos caudales, lo que dio lugar a la declaración del estado de emergencia hídrica en la provincia de Mendoza. Los valores del eje de la izquierda indican porcentajes de cobertura de nieve; los del eje de la derecha, caudal del río en m^3/s .

tes del calentamiento de la superficie terrestre acaecido en las últimas décadas. Los Andes centrales no son una excepción. Por décadas los científicos han documentado la retracción generalizada de los glaciares en los Andes y advertido una clara aceleración del proceso desde mediados del siglo XX. Por ejemplo, los glaciares de mayor extensión en la cuenca del río Las Vacas, un afluente del Mendoza, como los glaciares Las Vacas y Güssfeldt, han retrocedido alrededor de 3 y 5km respectivamente desde 1900. Retrocesos de similar magnitud han sido constatados para los glaciares Juncal, Beta y Gamma, en las nacientes del río Plomo, también tributario del Mendoza. Más al sur, en la cuenca del río Atuel, fotos históricas

complementadas con otras evidencias han permitido establecer retracciones de más de 3 y 4km respectivamente para los glaciares La Laguna y Del Humo.

Hacia fines de la década de 1970 se empezaron a hacer en los Andes centrales estudios de balance de masa de glaciares, por ejemplo, en el glaciar Echauren norte, ubicado en Chile a unos 50km al sureste de Santiago, en las nacientes del río Maipo. Tales estudios proporcionan una medida de los cambios de volumen de los cuerpos de hielo. Los que se vienen llevando a cabo en el lado argentino de los Andes centrales también muestran una disminución sostenida de los glaciares, consistente con los retrocesos señalados.

Los glaciares son componentes vitales de los sistemas hidrológicos de montaña y reservas de agua para las zonas bajas adyacentes (la ley nacional 26.639 de preservación de glaciares los llama 'reservas hídricas estratégicas'). Así, en 1968, cuando la cobertura de nieve en los Andes centrales solo alcanzó en promedio el 5% de sus valores medios históricos, el caudal de los ríos fue aproximadamente el 40% de su media histórica. Los cuerpos de hielo contribuyeron así a contrarrestar la falta de nieve, pues debido a un mayor derretimiento aportaron al caudal de los ríos y arroyos que descienden de los Andes. Situaciones similares se vivieron en otros años con sequías invernales, como 1996, 1998, 2004 y 2010, entre otros. La reducción de los cuerpos de hielo en la cordillera implica también una disminución de su capacidad reguladora de los caudales y, por consiguiente, un aumento en la vulnerabilidad de los oasis irrigados ante los cambios ambientales causados por el calentamiento global.

¿Hacia dónde vamos?

Para estimar cómo evolucionará la situación hídrica durante el resto del siglo XXI se han realizado diferentes

simulaciones climáticas por computadora basadas en un rango de hipótesis sobre la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sus resultados llevan a pensar que en los Andes centrales y sus territorios aledaños las temperaturas se irán incrementando, con aumentos mayores en verano que en invierno, algo que ya se viene constatando, por ejemplo, en los registros tomados en los aeropuertos de San Juan de 1951 a 2014, Mendoza de 1954 a 2014 y San Rafael de 1961 a 2014, en los que se aprecian incrementos anuales de la temperatura de unos 0,20°C por década. Tanto los modelos climáticos como los escasos registros de alta montaña también muestran un aumento proporcionalmente mayor de la temperatura con la altura, más intenso a mayores elevaciones, con las consiguientes consecuencias en la pérdida de masa de los cuerpos de hielo.

Los modelos predicen una disminución de la caída de nieve en la alta cordillera pero un incremento de las lluvias estivales en las planicies adyacentes hacia el este. Si bien se ha documentado en la cordillera una leve y no significativa disminución de las lluvias desde comienzos del siglo XX, la enorme variabilidad interanual de las nevadas dificulta establecer una clara tendencia. Sin embargo, aun si las nevadas son menos frecuentes y me-



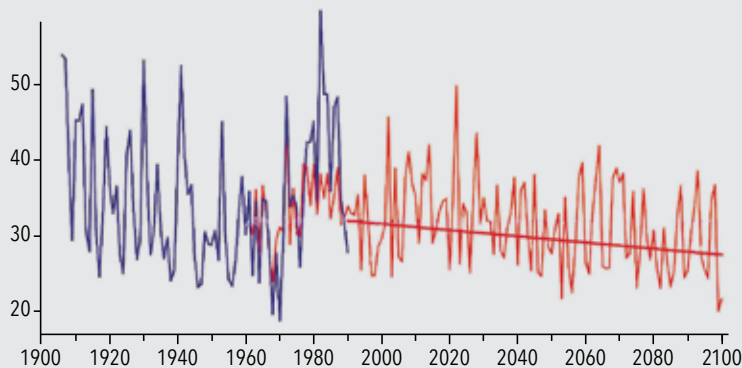
Cultivos bajo riego en Mendoza, al pie de los Andes centrales. Al fondo, nevado, el Cordón del Plata.

nos copiosas en el futuro, la precipitación en la cordillera seguirá dominada por la alta variabilidad asociada con El Niño, La Niña y la oscilación decenal del Pacífico.

En otras palabras, hacia fines del siglo XXI los ríos de la región tendrían períodos de bajos caudales interrumpidos por años con caudales regulares e incluso algunos con caudales abundantes. Los incrementos de temperatura en la alta montaña llevarían a un adelanto del momento de fusión de las nieves y, por consiguiente, del momento de mayor escorrentía. La agricultura irrigada dispondría así de más agua al comienzo de primavera, precisamente cuando la demanda de los cultivos tradicionales es mayor. Pero la contracara sería una disminución de los caudales de verano y sobre todo de otoño, que en la actualidad se emplean para recuperar, en los embalses, la gran demanda primaveral.

Mayor complejidad de manejo de los recursos hídricos

Las alteraciones en la escorrentía y en el ciclo hidrológico inducidas por el cambio climático se suman a la marcada variabilidad interanual de las precipitaciones que hemos recalado, y agregan mayor complejidad al enorme desafío de manejar el agua, el recurso vital en las tierras secas del oeste argentino. Hay diversas acciones en curso para enfrentar ese desafío. Las autoridades nacionales y provinciales, junto con la comunidad científica, procuran efectuar una evaluación sistemática y continua del recurso hídrico, comenzando por la recopilación de los datos, para lo cual, con ayuda de financiamiento internacional, se ha resuelto aumentar la red de estaciones meteorológicas de altura, manejar en tiempo real y en



Variaciones registradas en el caudal del río Atuel entre 1900 y el presente (líneas azules) y variaciones estimadas con ayuda de un modelo hidrológico hasta fines del siglo XXI (líneas rojas). Las proyecciones indican tanto la fuerte variabilidad interanual típica de los Andes centrales, como una tendencia general negativa a lo largo del siglo, marcada por la recta roja. Los valores del eje vertical son m^3/s .

forma coordinada los datos hidrometeorológicos, y fortalecer los equipos técnicos provinciales.

El Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales trabaja en el inventario nacional de glaciares que estableció la mencionada ley 26.639. En Mendoza, la provincia de la que los autores disponen de más información, el Departamento General del Irrigación de la provincia estudia la factibilidad de construir una red de pequeñas represas que puedan captar y almacenar el agua de las lluvias estivales que, según se indicó, se incrementarían al ritmo de la disminución de las nevadas en la cordillera. Con ello se reduciría el déficit de agua para riego en los años en que baja menos de ella de la montaña.

Con el objetivo de incrementar la eficiencia en el uso del agua de riego se procura mejorar las características de las fincas mediante medidas como la nivelación de las parcelas, la sistematización del riego, el desmalezado y el ajuste del agua entregada a los requerimientos de los cultivos. Para disponer de más agua en la cuenca del río Mendoza se ha puesto en marcha la construcción de reservorios de $1,5 \text{ hm}^3$ de capacidad en la red primaria de canales, lo mismo que 10.000 compuertas para la regulación de caudales, y, con la participación de organizaciones de usuarios, el revestimiento y entubamiento de los canales.

El panorama descripto muestra la necesidad del trabajo conjunto de científicos, políticos, productores y organismos de la administración pública, así como la de establecer objetivos de largo plazo y políticas públicas que tengan continuidad, para ejecutar programas que permitan adaptar la actividad de la región a las futuras condiciones climáticas. Los especialistas coinciden, además, en la necesidad de formar recursos humanos capacitados para enfrentar los nuevos desafíos. La complejidad de los escenarios futuros lleva a concluir que se requiere dar alta prioridad a estas acciones para el desarrollo continuo y sustentable de la región. **CH**





Viñedos irrigados en Tamberías, San Juan. Wikimedia Commons

LECTURAS SUGERIDAS

BONINSEGNA JA, VILLALBA R y URRUTIA R, 2013, 'El cambio climático y los servicios del agua en la cordillera de los Andes', en LARA A *et al.* (eds.), *Servicios ecosistémicos hídricos. Estudios de caso en América Latina y el Caribe*, Red ProAgua CYTED, pp. 263-280.

MASIOKAS MH *et al.*, 2013, 'Recent and historic Andean snowpack and streamflow variations and vulnerability to water shortages in Central-Western Argentina', en PIELKE RA *et al.* (eds.), *Climate Vulnerability. Understanding and addressing threats to essential resources*, Elsevier, v. 5, pp. 213-227.

Ricardo Villalba

Doctor (PhD) en geografía, Universidad de Colorado en Boulder.
Investigador superior en el IANIGLA, Conicet.
ricardo@mendoza-conicet.gob.ar

Mariano H Masiokas

Doctor (PhD) en geografía,
University of Western Ontario.
Investigador adjunto en el IANIGLA, Conicet.
mmasiokas@mendoza-conicet.gob.ar

Mario Salomón

Magíster en planificación y manejo de cuencas hídricas, Universidad Nacional del Comahue.
Profesor titular, Universidad Nacional de Cuyo.
Funcionario del Departamento General de Irrigación de Mendoza.
msalomon@agua.gob.ar

José A Boninsegna

Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de Cuyo.
Investigador superior en el IANIGLA, Conicet.
phonin@mendoza-conicet.gob.ar

Leandro Cara

Licenciado en ciencias geológicas, Universidad Nacional de San Juan.
Becario de la Conae en el IANIGLA, Conicet.
lcara@mendoza-conicet.gob.ar

José Pozzoli

Licenciado en ciencias sociales y Humanísticas, Universidad Nacional de Quilmes.
Profesor titular, Universidad del Aconcagua, Mendoza.
jcpozzoli@gmail.com