



El Nihuil, en la provincia de Mendoza



Por
Guillermo Malinow

*Ingeniero, especialista en hidrología,
seguridad de presas y medio ambiente.
Consultor Independiente*

LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

EL APORTE HIDROELÉCTRICO DE LOS RÍOS CORDILLERANOS

En la zona cordillerana, Argentina produce energía hidroeléctrica mediante 23 aprovechamientos, los que aportan en promedio un 54 % de la demanda de energía de origen hídrico. Existe además un aprovechamiento en construcción (Punta Negra, en San Juan) y una considerable cantidad de proyectos en diferentes estados de elaboración.

En las últimas décadas, el cambio climático ha producido cambios en la temperatura y en las precipitaciones, variables que inciden directamente en la distribución de los caudales de los ríos a lo largo del año y, en consecuencia, en la generación de energía hidroeléctrica. De hecho, se observa una tendencia declinan-

te de los caudales de la mayoría de los ríos cordilleranos.

Por otra parte, el aumento de la temperatura ambiente incidió directamente en la elevación de la isoterma de 0 °C (indicador de la posición de la línea de nieve), lo que reduce las áreas de acumulación de nieve durante el invierno provocando, por un lado, el aumento de los escurrimientos superficiales en invierno y, por otro, la reducción de los caudales resultantes de la fusión de la nieve acumulada en alta montaña.

TENDENCIAS CLIMÁTICAS

Los caudales de los ríos de las regiones Comahue y Cuyo vienen cayendo signifi-

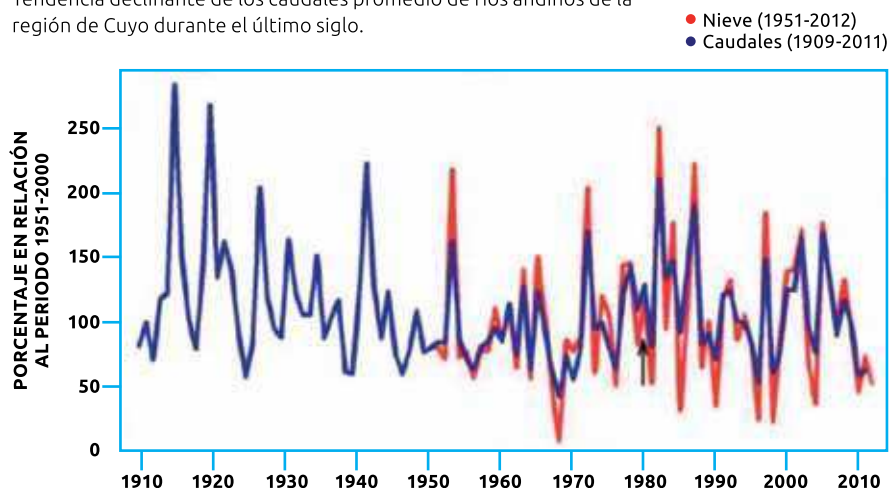
cativamente desde la década del '80 y, en algunos casos, desde mediados del siglo pasado. Debido al aumento de las temperaturas durante los últimos 100 años los glaciares de montaña han disminuido su tamaño, al punto que algunos ya han desaparecido.

En Cuyo: los ríos muestran una leve tendencia negativa en su caudal desde inicios del siglo XX, pero ésta se acentúa marcadamente desde la década del '80 (**Figura 1**). El proceso de fusión de la nieve comienza más temprano, incrementando el caudal en los meses de primavera, con el pico de máximo que se presenta más temprano en el ciclo hidrológico y una con una disminución de los caudales de verano. La variabili-

Como los aprovechamientos hidroeléctricos actualmente en operación en la región fueron diseñados en épocas en las que no se consideraban cambios climáticos, resulta imperioso revisar la potencia y la energía que son capaces de brindar en el futuro.

FIGURA 1

Tendencia declinante de los caudales promedio de ríos andinos de la región de Cuyo durante el último siglo.



FUENTE: VILLALBA R. Y BONINSEGNA J., 2009.

dad de las precipitaciones (con tendencia negativa) y de la temperatura (con tendencia positiva) han ocasionado una disminución de las masas de hielo cordilleranos.

En el Comahue: en el periodo 1967-1998 se observan tendencias negativas y significativas en las precipitaciones anuales. Los caudales medios de los principales ríos de la Patagonia norte y central muestran en general tendencias variadas desde inicios del siglo XX: el río Colorado, para el período 1940-2003, muestra una tendencia positiva en dicha variable. El río Neuquén muestra una cierta conservación de caudales medios anuales.

El río Limay (el que concentra la mayor cantidad de aprovechamientos hidroeléctricos del país) muestra una tendencia negativa en su caudal medio anual, y ello resulta más marcado desde la década del '80 del siglo pasado, como puede observarse en la **Figura 2**.

Respecto de las temperaturas, en la región del Comahue, para el período 1961-

2004, éstas aumentaron en 1° C; consecuentemente la altura de la isoterma de 0° C muestra una tendencia ascendente muy marcada.

EN LA PATAGONIA SUR

Los ríos Futaleufú y Chubut muestran una tendencia negativa en su caudal medio anual, circunstancia que resulta más significativa desde la década del '80 del siglo pasado.

El río Santa Cruz, cuyas nacientes se encuentran en la zona de los hielos continentales, que son los que regulan sus caudales, muestra una tendencia creciente en el caudal máximo, que podría estar indicando variaciones en los procesos de generación de los mismos. Debido a la gran probabilidad de que continúe el retroceso de los glaciares, se espera un aumento temporario del caudal de los ríos de esta cuenca.

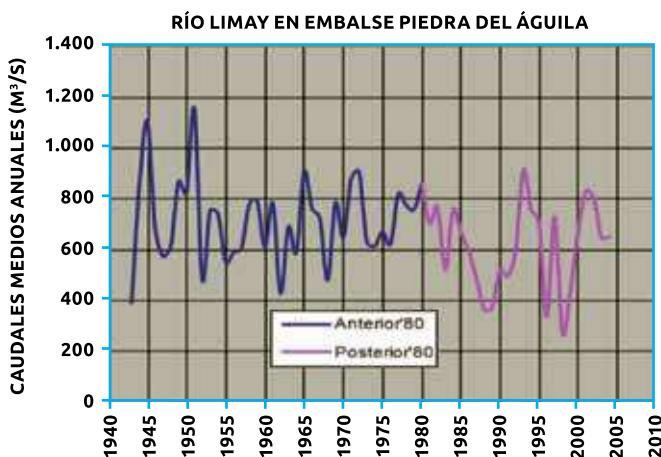
TABLA 1

Variación de módulos de los periodos 1943-1979 vs.1980-2004

Río	CAUDAL MEDIO ANUAL DEL PERÍODO (m³/s)		Variación
	Período 1943-1979	Período 1980-2004	
Neuquén total en Paso de los Indios	299	318	+ 6 %
Limay total en embalse Piedra del Aguila	716	620	- 13 %
Alto Limay en embalse Alicura	286	244	- 15 %
Futaleufú en embalse Futaleufú	295	262	- 11 %
Chubut en embalse Florentino Ameghino	50	45	- 10 %

FUENTE: ELABORACIÓN DE G. DEVOTO, 2005

FIGURA 2
Tendencia de los caudales medios anuales del río Limay total registrados en el embalse Piedra del Águila, período 1943-2004.



FUENTE: GENTILEZA DE G.DEVOTO, 2005

En el extremo sur del país, la mayoría de los glaciares están en pleno retroceso debido al cambio climático regional, a excepción de los glaciares Perito Moreno y Spegazzini que estarían en equilibrio. El glaciar Upsala es el que ha sufrido el mayor retroceso en las últimas décadas.

Respecto de las temperaturas, en la Patagonia sur se produjo un calentamiento más pronunciado, como el registrado en Río Gallegos entre 1931 y 1990, donde la temperatura media anual aumentó 2.5° C. Mediante estudios paleoclimáticos a partir del análisis de los anillos de los árboles (dendrocronología), las temperaturas en el área han venido incrementándose sostenidamente desde 1650, y habrían alcanzado su valor máximo en 1998.

IMPACTOS PROYECTADOS PARA EL SIGLO XXI

Los escenarios climáticos indican que continuará la persistencia de disminución de la precipitación nival en la Cordillera de los Andes, tanto en Cuyo como en la Patagonia, previéndose que continuará el retroceso de los glaciares. Hay pocas dudas de que en los oasis del pie-

demonte andino de Cuyo, la conjunción de mayores temperaturas y menores precipitaciones llevará a la reducción de los caudales de los ríos.

Utilizando escenarios provistos por el Informe especial del Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) y el modelo climático regional de alta resolución se establecieron valores de temperatura, precipitación y altura de la isoterma de 0°C proyectados para los años 2020-2030 para cada una de las cuencas de los principales ríos cordilleranos de la región cuyana. En la **Tabla 2** se observan dichos valores.

Los resultados sobre la disminución de la carga nival indicada por el modelo y la consecuente disminución de los caudales emergentes indican notables diferencias en cada cuenca. La del río San Juan, que es la cuenca más extensa, es la que presenta una mayor disminución relativa en los caudales durante el período 2020-2030.

El río Mendoza, cuya cuenca es la de mayor altura media, presenta una disminución del caudal medio, mientras que las cuencas de los ríos Tunuyan y

Diamante indican valores similares de disminución. El río Atuel, ubicado en el extremo sur de la región considerada, presenta la menor pérdida de caudal (**Tablas 2 y 3**).

En el Comahue y en la Patagonia Sur el aumento de la altitud de la isoterma 0° C se producirá también en esta región y, con el aumento progresivo de la temperatura, por ser más baja esta zona de cordillera, disminuirá significativamente o virtualmente desaparecerá en algunas cuencas la superficie montañosa de acumulación nival.

Los caudales de los ríos Limay, Negro, Colorado y Chubut continuarán con una tendencia decreciente, no disponiéndose aún de estimaciones de las mermas esperadas, mientras que no se esperan reducciones de los mismos en los ríos más australes como ser el río Santa Cruz. La franja cordillerana puede presentar fuertes reducciones de la precipitación y los descensos serían más pronunciados durante el invierno que en el verano, afectando a las cuencas de los ríos.

DEMANDA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA HACIA 2030

En las últimas dos décadas, la demanda eléctrica ha crecido en nuestro país en forma relativamente autónoma con relación al nivel de actividad. Según el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), el consumo eléctrico del país (1993-2012) tuvo una tasa media de crecimiento del 4,33% anual acumulado, con períodos que registraron tasas de hasta el 5,84%.

En la proyección de la demanda de energía al 2030 se asume una participación del 40% de la generación hidroeléctrica, valor deseable que está próximo al promedio de los últimos 21 años. Con esta premisa, a partir de un crecimiento esti-

TABLA 2

Los valores de temperatura, precipitación y altura de la isoterma 0 °C están referidos al período base de 1961-1990 y representan valores medios mensuales.

Cuenca Hídrica	SAN JUAN	MENDOZA	TUNUYAN	DIAMANTE	ATUEL
Temperatura	+ 1,50 °C	+ 1,50 °C	+ 1,25 °C	+ 1,25 °C	+ 1,25 °C
Precipitación	105 mm	105 mm	105 mm	100 mm	100 mm
Isoterma de 0 °C	+150 m	+150 m	+130 m	+130 m	+130 m

FUENTE: BONINSEGNA Y VILLALBA, 2006.

TABLA 3

Disminución estimada en ríos cuyanos.

Río	Merma de caudales
San Juan	-29,5%
Mendoza	-13,2%
Tunuyán	-12,5%
Diamante	-12,9%
Atuel	-9,7%

FUENTE: BONINSEGNA Y VILLALBA, 2006.

mado de la población total para el período 2013-2030 del 12,6 % y adoptando un escenario intermedio con una tasa de crecimiento del 5% anual acumulado, el incremento estimado para dicho período sería de 70.800 GWh/año para la demanda de energía hidroeléctrica y de 15.600 MW para la potencia hidráulica.

En 2012 la energía hidroeléctrica producida fue de 36.600 GWh y la potencia hidráulica suministrada fue de 11.100 MW. Es decir que en algo menos de dos décadas se debería incrementar la capacidad de generación hidroeléctrica en un 193,4% y la potencia disponible en un 140,5%.

Estas estimaciones deben motivar la investigación de los impactos del cam-

bio climático sobre los recursos hídricos cordilleranos, sobre los cuales existe gran cantidad de aprovechamientos hidroeléctricos en operación y muchos otros en proyecto.

La cartera de proyectos hidroeléctricos constituye la oferta hídrica que dispondría el país para cubrir la demanda antes citada. Si en las próximas décadas se prevé una merma en los caudales de estos ríos, ello obligará a realizar un ajuste a la baja de los parámetros de diseño de cada obra.

Como los aprovechamientos hidroeléctricos actualmente en operación en la región fueron diseñados en épocas en las que poco o nada se trataba sobre cambios en los sistemas climáticos, y

consecuentemente sobre la hidrología de los ríos a explotar, resulta imperioso iniciar la revisión de la potencia y la energía que son capaces de brindar tales emprendimientos en el futuro cercano a la luz de los pronósticos de cambios climáticos elaborados por la comunidad científica.

Vale agregar que estos proyectos en cartera deben ser revisados de todas maneras por haber quedado desactualizados por cuestiones tales como: a) disponibilidad de técnicas de investigación más modernas y confiables, b) nuevas técnicas de diseño y construcción de presas, c) mayor rigurosidad tanto en las acciones sísmicas como en la estimación de crecidas y d) mayores condicionantes de tipo ambiental. ♦

Soluciones rentables en modelación integrada



ISIS provee un avanzado motor de simulación 1D y 2D, herramientas de análisis y visualización y un innovador métodos de resolución de eventos de inundación no disponible en ningún otro paquete de software del mercado; todo dentro de un mismo entorno de trabajo. ISIS está disponible en una versión gratuita y es usado ampliamente en el mundo como una herramienta esencial para el manejo de riesgo de inundación.

isis@ch2m.com

halcrow.com/hydria

Halcrow
A CH2M HILL COMPANY

INFORME DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROENERGÍA

LA ENERGÍA DEL AGUA EN EL MUNDO

EN 2012 SE HA INCORPORADO EN EL MUNDO UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE HIDROENERGÍA EQUIVALENTE A 10 YACYRETÁS, CON CHINA A LA CABEZA DE ESTOS EMPRENDIMIENTOS. ARGENTINA PRESENTA UN MARCADO RETRASO EN EL SECTOR, POR DETRÁS DE VARIOS PAÍSES DE LA REGIÓN.

Según el último informe publicado este año por la Asociación Internacional de Hidroenergía (IHA, por sus siglas en inglés), en 2012 se han incorporado en el mundo un total de entre 27 y 30 GW de hidroenergía, además de entre 2 y 3 GW adicionales por centrales de bombeo (1). Es decir, una potencia instalada similar a la suma de 10 Yacyretás.

Sólo China incorporó casi la mitad de ese total (14,4 y 1,5, respectivamente para ambos sistemas). El resto de Asia aporta más de 8,6 GW (5,27 en Asia Occidental y 3,33 en Asia Oriental, excluida China).

Las Américas incorporaron el año pasado casi 4 GW: 1,99 en América del Norte y Central y 1,83 en América del Sur, dentro de la cual Argentina no aportó ningún emprendimiento hidroenergético a esta estadística.

EXTREMOS OPUESTOS

Por su parte, tanto Europa como África han hecho un aporte mínimo (0,85 y 0,37, respectivamente), aunque estos valores tienen un significado completamente distinto para cada uno de dichos continentes. Europa tiene un alto porcentaje de aprovechamiento de sus recursos hídricos, a tal punto que es un dato significativo que siga incorporan-



Yacyretá, sobre el río Paraná. Este emprendimiento binacional con Paraguay es el de mayor porte de nuestro país.

do energía proveniente de esta fuente. Según el informe de IHA, "aunque la hidroenergía está bien desarrollada en la región, aún queda un potencial remanente para nuevos emprendimientos o para repotenciación de los existentes" (2).

Además, Europa está implementando centrales que aprovechan la energía de las mareas, de las olas y centrales de bombeo. En Europa, la hidroenergía representa el 60% del total de energías renovables.

África representa el ejemplo opuesto. El continente con menor desarrollo socioeconómico es también el que tiene

En 2012 se han incorporado en el mundo un total de entre 27 y 30 GW de hidroenergía, equivalentes a una potencia instalada similar a la suma de 10 Yacyretás.

(1) Las centrales de bombeo elevan el agua turbinada nuevamente hacia el embalse en horas de menor demanda de energía, para ser aprovechada luego en los picos de demanda.

(2) Repotenciación significa lograr un mayor aprovechamiento del recurso a partir de la incorporación de equipos más eficientes, que no estaban disponibles en el momento de la ejecución de las centrales originales.

un menor grado de aprovechamiento de sus recursos hídricos y, según el informe, continúa incorporando una porción muy baja de hidroenergía. Solo Egipto llega a 3 GW de potencia instalada, dentro de un total de 27 GW para todo el continente.

El informe también muestra el desarrollo de nuevas tecnologías, como el aprovechamiento de la energía de las mareas y de las olas, aunque en este segmento sólo Corea del Sur y Francia tienen desarrollos importantes que, en conjunto, no llegan a 0,5 GW de potencia instalada. ♦

HIDROENERGÍA EN EUROPA

En el viejo continente 5 países concentran casi el 53% de la hidroenergía. En el caso de Noruega, esta fuente provee casi la totalidad de la electricidad consumida en el país.

Noruega	30,3 GW
Francia	25,4 GW
Italia	19,5 GW
España	16,1 GW
Suiza	16,0 GW
Otros países	119,7 GW

EN LAS AMÉRICAS

Excepto China, los 3 mayores productores de hidroenergía están en el continente americano: Estados Unidos, Brasil y Canadá. Nuestro país produce apenas un 10% de la energía que genera Canadá.

Estados Unidos	99,9 GW
Brasil	84,2 GW
Canadá	77,0 Gw
Venezuela	15,7 GW
México	12,0 GW
Colombia	11,6 GW
Paraguay	8,8 GW
Argentina	7,7 GW

Tres Gargantas (arriba), el gigante chino que duplica la potencia instalada de Itaipú (abajo).



ASIA Y OCEANÍA

Liderando indiscutidamente la producción mundial de hidroenergía, China es también la que más centrales de este tipo está incorporando en la actualidad. Tres Gargantas, sobre el río Yangtsé, es actualmente la mayor presa del mundo, cuya central tiene una potencia instalada de 22500 MW, superando holgadamente a la brasileña Itaipú.

China	248,9 GW
Federación Rusa	47,6 GW
Japón	46 GW
India	43,2 GW
Turquía	19,6 GW
Vietnam	13,0 GW
Irán	9,5 GW
Australia	8,5 GW
Nueva Zelanda	5,6 GW