

## APLICACIÓN CON FINES HIDROLÓGICOS DE MODELOS CLIMÁTICOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TERCERO

Javier Alvarez<sup>1,2</sup>, C. Marcelo García Rodríguez<sup>1,2</sup>, Teresa M. Reyna<sup>2</sup>,  
Rodrigo Valdés-Pineda<sup>3</sup> y Juan Valdés<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYn). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina

<sup>3</sup>University of Arizona, Harshbarger Bldg. Room 318E, Tucson AZ 85721, Arizona, Estados Unidos de América.  
E-mail: javieralvarez.ic@gmail.com, cgarcia2mj@gmail.com, teresamaria.reyna@gmail.com, jvaldes@u.arizona.edu

### Introducción

De acuerdo a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Naciones Unidas, 2000), uno de los ocho es “La protección del medio ambiente”, lo cual implica la gestión estratégica de los recursos hídricos para satisfacer las principales necesidades de la población sin afectar el ambiente que lo circunda, es decir de manera sustentable. En este contexto es importante conocer cuáles son las posibles dinámicas climáticas futuras y la variabilidad que es esperable en la región de interés. Evaluar la precisión de los Modelos Climáticos (CMs, por sus siglas en inglés) en la cuenca alta de río tercero es un objetivo científico y de aplicación crucial, no sólo por sus capacidades de reconstruir el pasado y proyectar el futuro estado del planeta, sino también por su creciente relevancia en los procesos de generación de políticas públicas (Deidda et al. 2013).

En el presente, existe gran cantidad de CMs, explotados a distintas escalas espacio-temporales, que estiman valores de numerosas variables meteorológicas ante diversas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Sin embargo, los estudios de inter-comparación han mostrado que no existen modelos particulares que sean mejores para todas las variables y/o regiones del planeta (ej. Gleckler et al. 2008).

### Objetivos

El objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la aplicabilidad de proyecciones climáticas realizadas por diferentes Modelos Climáticos Globales (GCM por sus siglas en inglés), ante diferentes escenarios futuros de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, con fines hidrológicos en la cuenca alta del río Ctalamochita (Tercero). El objetivo particular consiste en cuantificar el sesgo en los períodos históricos de los GCMs con las observaciones in-situ y aplicar las correcciones a las proyecciones futuras, con fines de aplicaciones hidrológicas.

### Área de estudio

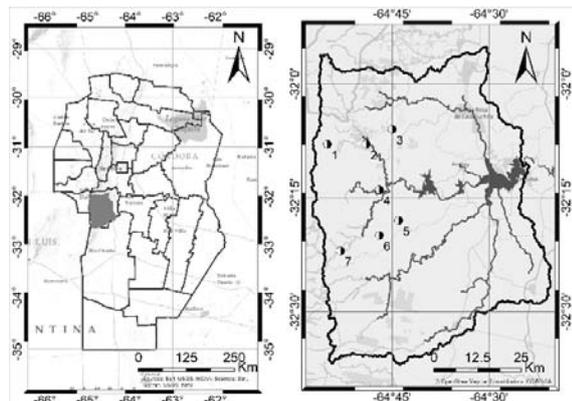


Figura 1.- Ubicación de la cuenca alta del río Ctalamochita (Tercero).

La cuenca alta del río Calamuchita (Figura 1) se ubica en el departamento de Calamuchita al Oeste de la Provincia de Córdoba, Argentina. Esta cuenca posee un área de 3180 km<sup>2</sup> y caracterizada por un relieve montañoso, concentra en el Embalse Fitz Simon 4 grandes ríos: La Cruz, Quillinzo, Santa Rosa y Río Grande. El sistema de embalses de río Tercero cumple numerosas funciones como abastecimiento de agua potable, saneamiento, recreación y turismo. Sin embargo, a nivel nacional se destaca la generación de energía hidroeléctrica y su suministro a la red interconectada nacional.

La cuenca de estudio de hidrología típica torrencial de montaña posee un gradiente topográfico de 2200 a 500 msnm en sentido Oeste-Este. Por otro lado, de manera proporcional, las isohietas de precipitación rondan de 900mm a 750mm (INTA, 2010).

### Materiales y métodos

Un Modelo Climático es una herramienta numérica utilizada para simular el pasado, presente y futuro del clima de la Tierra. En general los GCMs son convenientes para dar predicciones climáticas de gran escala, pero en la actualidad sin relevancia directa a evaluaciones hidrológicas al nivel de cuencas de ríos (Deidda et al. 2013).

Los datos pluviométricos de GCM son comparados con observaciones de siete estaciones meteorológicas del BDHI, en la cuenca de estudio (Figura 1). Por otra parte, los 9 modelos climáticos utilizados proceden de diferentes organismos internacionales (Tabla 1) y corresponden a las emisiones de GEI propuestas por el CMIP5.

Tabla 1.- Nombre, País e Instituciones de GCMs utilizados.

	Acronimo	País	Institución
1	NCAR-CCSM4	EEUU	NASA - Community Climate System Model.
2	CMCC-CM	ITALIA	Euro-Mediterranean Center on Climate Change.
3	CNRM-CM5	FRANCIA	National Centre for Meteorological Research.
4	CSIRO-Mk3-6-0	AUSTRALIA	Commonwealth Scientific and Industrial Research Org.
5	GFDL-ESM2G	EEUU	NOAA - Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.
6	IPSL-CM5A-MR	FRANCIA	Institut Pierre Simon Laplace.
7	MPI-ESM-LR	ALEMANIA	Max Planck Institut.
8	MRI-CGCM3	JAPÓN	Meteorological Research Institute.
9	NorESM1-M	NORUEGA	Norwegian Climate Center's Earth System Model.

La base de datos fue obtenida en formato netCDF de la 3er Comunicación Nacional de Cambio Climático (<http://3cn.cima.fcen.uba.ar/>). La resolución espacial disponible en el servidor es de 0.5 grid por píxel (aproximadamente 50km) y, en el período de validación, la ventana temporal resulta del 01/Ene/1961 al 31/Dic/2010. Del mismo modo, las proyecciones son de resolución temporal diaria pero con dos horizontes de tiempo diferentes (2016-2040 y 2076-2100), para dos escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero, uno

levemente severo (RCP 4.5) y uno muy severo (RCP 8.5).

Por último, antes de asimilar los datos de precipitaciones simuladas por los GCMs al modelo hidrológico es conveniente realizar una corrección de escala espacial por medio de técnicas estadísticas de Downscaling. Para esto, se utiliza la técnica Quantil-Mapping, corrigiendo Quantil a Quantil (QQ-QM):

$$F_{Y_P}(x) = F_{Y_H}[F_{X_H}^{-1}(F_{X_P}(x))] \quad [\text{Ec 1.}]$$

La técnica QQ-QM, mejora la distribución espacial de la precipitación de cada GCM, junto con la corrección de los sesgos. Esto permite tener escenarios futuros de precipitación con base física y de acuerdo con las proyecciones de gases de efecto invernadero, respondiendo a los patrones observados in-situ.

Para simular el comportamiento hidrológico de la cuenca alta de la cuenca alta del río Citalamochita se utilizó el modelo hidrológico SWAT (Soil & Water Assessment Tool, <https://swat.tamu.edu/>), del tipo continuo y distribuido en HRU (hydrological Responce Units), calibrado y parametrizado para la cuenca de este río con observaciones de precipitaciones del BDHI entre 1993 y 2017 y caudales medios diarios estimados mediante los niveles del Embalse Fitz Simon.

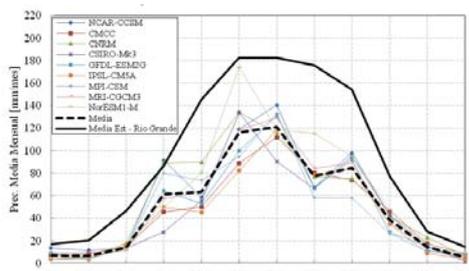
## Resultados

A partir de los 25 años de registros, la siguiente tabla muestra media y C.V. de las precipitaciones totales anuales:

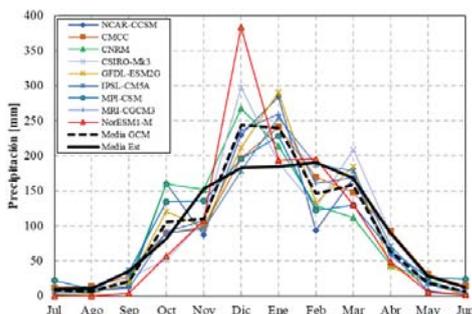
**Tabla 2.-** Media y C.V. de Lluvia Total Anual de estaciones in-situ.

ID	Estación	Media (mm)	CV	Altura (m)
1	La Puente	1149	22	1270
2	Cerro Blanco	1266	167	2127
3	Yacanto	1107	18	1135
4	Pampichuela	1187	16	1185
5	La Florida	1096	17	1090
6	Lutti	1036	18	1055
7	El Manzano	1181	16	1800

La tabla anterior muestra que las precipitaciones totales anuales han oscilado en el orden del 20% respecto al valor medio, fluctuaciones propias del clima en que se encuentra la cuenca. Por otro lado, la Figura 2 muestra la comparación mensual entre la media areal de las observaciones y las medias de los GCMs, y la figura 3 la corrección de sesgo aplicando la técnica QQ-QM.



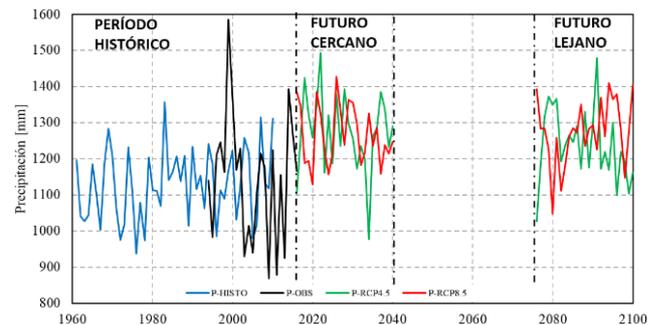
**Figura 2.-** Media Mensual en la cuenca alta de Río Tercero [mm/mes].



**Figura 3.-** Media Mensual en la cuenca alta de Río Tercero con corrección de sesgo mediante QQ-QM [mm/mes].

En la figura 2 puede observarse que, en algunos meses de alta precipitación, los errores observados se aproximan al 100%, este nivel de error en modelos de previsión es inaceptable y no pueden ser usados para planificación a escala mensual. Tal es así que, en este estado, estos modelos aquí presentados no sirven para regionalizar tormentas de diseño de infraestructura a esta escala mensual.

Por otra parte, se puede apreciar en la figura 3, que el sesgo entre la media de los GCMs y de las observaciones se redujo a valores próximos al 30% en los períodos de mayores precipitaciones. Sin embargo, se observa que algunos modelos sobreestiman considerablemente las precipitaciones en estos períodos, como el CMCC alcanzando un orden del 100% en diciembre. Por otro lado, a partir de la corrección en el período histórico, se aplicó la misma a los períodos futuros (Figura 4).



**Figura 4.-** Precipitación acumulada anual en la cuenca alta de Río Tercero ante diferentes escenarios climáticos [mm/año].

A partir de las proyecciones climáticas, se observa que las precipitaciones no variarían en el futuro lejano con respecto al futuro cercano y las condiciones de mayor emisión de GEI (RCP 8.5) oscilan en torno a valores similares con respecto al escenario de emisiones de severidad moderada. Sin embargo, cabe resaltar el salto en las precipitaciones que se observa entre el período histórico y los futuros.

## Conclusiones

Dado los satisfactorios resultados demostrados en calibración, se concluye que los GCMs podrían ser utilizados como herramienta de planificación de mediano o largo plazo. Sin embargo, se sugiere continuar estudiando el sesgo y las técnicas de Downscaling.

Por último, a partir de los resultados anteriores, resulta intuitivo asumir que las precipitaciones impactarían de manera proporcional en los procesos hidrológicos de la cuenca.

## Referencias

- Deidda R. et al. (2013). "Regional climate models' performance in representing precipitation and temperature over selected Mediterranean areas". *Hydrology and Earth System Sciences*, No. 17, 2013, pp. 5041-5059. DOI:10.5194/hess-17-5041-2013.
- Gleckler P.J., Taylor K.E., Doutriaux C. (2008). "Performance metrics for climate models". *Journal of Geophysics Research*, No. 113, 2008, D06104, doi:10.1029/2007JD008972.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Alberto Rubí Bianchi y Silvia Ana Carla Cravero. (2010). "Atlas Climático Digital de la República Argentina".
- Organización de las Naciones Unidas (2000). "DECLARACIÓN DEL MILENIO". 8a. sesión plenaria de Asamblea General.