

# EVALUACIÓN DE LA ÚLTIMA GENERACIÓN DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES DE ALTA RESOLUCIÓN EN LA COBERTURA DE NIEVE EN LOS ANDES CENTRALES DEL SUR

**Natalia Zazulie<sup>1,2</sup>, Matilde Rusticucci<sup>1,2</sup>**  
[nzazulie@at.fcen.uba.ar](mailto:nzazulie@at.fcen.uba.ar) Autora correspondiente.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA)

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas(CONICET)

Palabras clave: HighResMIP, CMIP6, Centro-oeste de Argentina.

## 1) INTRODUCCIÓN

Los Andes Centrales del Sur (ACS, porción de los Andes entre 30° y 37°S) separan las dos grandes regiones económicas y agrícolas de Chile Central y el centro-oeste de Argentina. La cobertura de nieve estacional y los glaciares de montaña representan una fuente crítica de agua que sostiene las actividades socioeconómicas en las poblaciones cercanas. El consumo urbano, las industrias y la agricultura dependen del aporte del caudal de estos ríos, por lo tanto la acumulación de nieve en la época invernal tienen un rol fundamental en la disponibilidad de agua. Durante el último siglo se documentaron tendencias negativas en las descargas de los principales ríos de la región que han sido relacionadas con una disminución de las precipitaciones nivéas sobre la cordillera y un aumento de la temperatura regional, que es más pronunciado en las zonas con mayor elevación. Sobre la cordillera, la precipitación es fundamentalmente de invierno, y diversos estudios han reportado tendencias negativas de precipitación en la región de los ACS (Rusticucci y otros, 2014; Rivera y otros, 2017; Rivera y Arnould, 2020). Estos cambios observados en la precipitación han sido relacionados con cambios en la circulación de gran escala inducidos por el calentamiento global debido al aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero (Scheff y Fierson, 2012; Mindlin y otros, 2020). En particular, la disminución de la precipitación en la región de estudio, se ha relacionado con un fortalecimiento del Modo Anular del Sur y la expansión de la celda de Hadley (Boisier y otros, 2018; Villamayor y otros, 2021), que tiene como consecuencia que las trayectorias de los sistemas de mal tiempo responsables de las precipitaciones invernales sobre los Andes Centrales de Argentina fueron desplazadas hacia latitudes más altas.

Una reducción en la cobertura de nieve debido a menores nevadas durante el invierno puede alterar la disponibilidad de agua para la generación de energía hidroeléctrica. Además, el derretimiento de la nieve estacional acumulada en la región de los ACS tiene impactos sobre el transporte terrestre, el comercio y el turismo, debido a que la principal ruta que conecta Mendoza con Santiago de Chile cruza la cordillera en estas latitudes (Masiokas y otros, 2006). En la última década (2010-2020) se encontró una reducción en la nieve acumulada sobre la cordillera de los Andes Centrales del Sur que favoreció la ocurrencia de una extendida y severa sequía hidrológica sobre el centro-oeste de Argentina, que afectó al turismo invernal, restringió el uso de agua para irrigación y doméstico, lo que llevó disputas socio-políticas en la región (Rivera y otros, 2021). Estas implicancias conducen a una necesidad social de conocer las proyecciones futuras de la cobertura de nieve en un entorno de calentamiento global. Existe un creciente interés hacia utilizar salidas de modelos con alta resolución horizontal, ya sea a través de modelos regionales, así como modelos globales que han ido aumentando considerablemente su resolución, y es especialmente importante para

regiones con orografía compleja, como la región de los ACS. El objetivo del presente trabajo es analizar la representación de las variables de nieve de los modelos climáticos globales (MCG) acoplados de alta resolución de High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP) en la región de los ACS.

## 2) DATOS UTILIZADOS

Se utilizó la variable de cobertura de nieve (snc) de la corrida hist-1950 del HighResMIP (Haarsma y otros, 2016). Estos modelos tienen la característica de alcanzar resoluciones similares a la de los modelos climáticos regionales, que resultan especialmente relevantes en regiones con topografía compleja. La Tabla 1 muestra los modelos utilizados en el presente trabajo. Se utilizó una corrida para cada modelo. Las salidas de los MCG fueron contrastadas con el reanálisis ERA5 Land que posee una resolución horizontal de  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ .

*Tabla 1. Listado de modelos pertenecientes al HighResMIP utilizados.*

<b>Modelo</b>	<b>Institución (País)</b>	<b>Resolución</b>
BCC-CSM2-HR	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (China)	T266, $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$
CMCC-CM2-HR4	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici (Italia)	192x288, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$
CMCC-CM2-VHR4	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici (Italia)	768x1152, 25 km
CNRM-CM6-1	Centre National de Recherches Météorologiques y Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée (Francia)	$1.406^{\circ} \times 1.406^{\circ}$
CNRM-CM6-1-HR	Centre National de Recherches Météorologiques y Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée (Francia)	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
EC-Earth3P	European Consortium (Europa)	T255, 100 km
EC-Earth3P-HR	European Consortium (Europa)	T511, 50 km

## 3) RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Figura 1 muestra la onda anual promedio de cobertura de nieve para el Reanálisis ERA5 y los distintos modelos analizados. Se observa que los modelos BCC-CSM2-HR y CMCC-CM2-HR4 subestiman la cobertura de nieve. Sin embargo, este último presenta una mejor performance cuando aumenta su resolución (CMCC-CM2-HR4). El modelo EC-Earth3P presenta una sobreestimación de la cobertura de nieve durante la época de nevadas y al aumentar su resolución (EC-Earth3P) la sobreestimación también ocurre en los meses de verano, cuando la cobertura de nieve es cercana a cero.

Se consideraron los trimestres donde se acumula nieve en la región de los ACS: otoño (marzo-abril-mayo), invierno (junio-julio-agosto) y primavera (septiembre-octubre-noviembre) para explorar la distribución espacial de la cobertura de nieve media en el período 1981-2010 (no se muestra). Al explorar la representación de la cobertura de nieve en Sudamérica al sur de  $20^{\circ}\text{S}$ , se observa que los modelos EC-Earth3P sobreestiman la cobertura de nieve en toda la región cordillerana, extendiendo la zona de nieve excesivamente hacia el este de la cordillera. Los modelos CMCC-CM2 muestran una subestimación generalizada. El resto de los modelos muestran una distribución espacial consistente con el reanálisis de ERA5.

Se computaron las tendencias de los MCG en los tres trimestres en el máximo período disponible 1950-2014. Estas tendencias fueron testeadas con el test no-paramétrico de Mann-Kendall con un nivel de confianza de 95%. Las tendencias resultaron negativas para

todos los modelos en los tres trimestres analizados, a excepción del modelo EC-Earth3P-HR que resultó positiva (no significativa) solo en otoño. En todos los trimestres se observó que las tendencias negativas resultaron significativas en tres de los modelos utilizados.

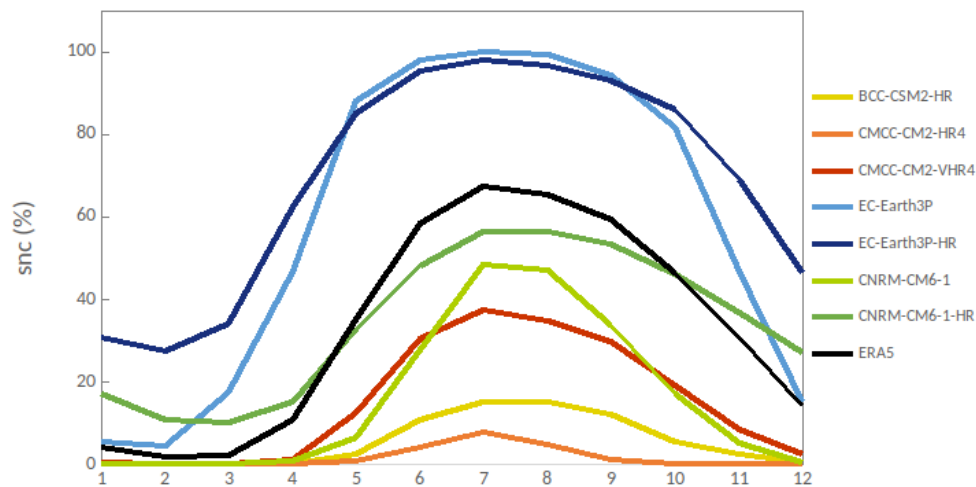


Figura 1. Onda anual media de cobertura de nieve (%) para la región de los Andes Centrales del Sur para los distintos MCG y el reanálisis ERA5

## REFERENCIAS

- Boisier J.P., Alvarez-Garreton C., Cordero R.R., Damiani A., Gallardo L., Garreaud R.D., Lambert F., Ramallo C., Rojas M., Rondanelli R., 2018:** Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elem. Sci. Anth.* 6, 74.
- Haarsma, R. J., Roberts, M. J., Vidale, P. L., Senior, C. A., Bellucci, A., Bao, Q., Chang, P., Corti, S., Fučkar, N. S., Guemas, V., von Hardenberg, J., Hazeleger, W., Kodama, C., Koenigk, T., Leung, L. R., Lu, J., Luo, J.-J., Mao, J., Mizielinski, M. S., Mizuta, R., Nobre, P., Satoh, M., Scoccimarro, E., Semmler, T., Small, J., and von Storch, J.-S., 2016:** High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 4185–4208.
- Masiokas M.H, R. Villalba, B. Luckman, C. Le Quesne, J.C. Aravena, 2006:** Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *J. Clim.*, 19, 6334–6352.
- Mindlin J., Shepherd T.G., Vera C.S., Osman M., Zappa G., Lee R. W., Hodges K.I., 2020:** Storyline description of Southern Hemisphere midlatitude circulation and precipitation response to greenhouse gas forcing. *Clim. Dyn.* 54, 4399-4421.
- Rivera J.A., Otta S., Lauro C., Zazulie N., 2021:** A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina. *Front. Water* 3, 640544.
- Rivera J.A., Arnould G., 2020:** Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: Climatic features and long-term trends (1901–2014). *Atmospheric Research*, 241, 104953.
- Rivera J.A., Penalba O.C., Villalba R., Araneo D.C., 2017:** Spatio-temporal patterns of the 2010–2015 extreme hydrological drought across the Central Andes, Argentina. *Water* 9, 652.
- Rusticucci M., Zazulie N., Raga G.B., 2014:** Regional winter climate of the southern central Andes: Assessing the performance of ERA-Interim for climate studies, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 8568–8582.
- Schef J., Frierson D., 2012:** Twenty-first-century multimodel subtropical precipitation declines are mostly midlatitude shifts. *J. Clim.* 25:4330–4347
- Villamayor J., Khodri M., Villalba R., Daux V., 2021:** Causes of the long-term variability of southwestern South America precipitation in the IPSL-CM6A-LR model. *Clim. Dyn.* 57, 2391-2414.