

**EVALUACIÓN DE LA HABILIDAD DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES DEL  
WCRP/CMIP3 MULTI-MODEL DATASET PARA REPRESENTAR EL CLIMA PRESENTE**

**Carla Gulizia, Inés Camilloni y Moira Doyle**

**Dep. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales,  
UBA.**

**Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA-UBA/CONICET).**

carla.gulizia@gmail.com

**Resumen**

El cambio climático es actualmente considerado como uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad debido a la magnitud de sus impactos económicos, sociales y ecológicos. Los modelos climáticos globales (MCGs) constituyen una herramienta fundamental para simular los procesos que determinarán el cambio climático futuro en escalas globales y regionales. Sin embargo, las predicciones de los MCGs están sujetas a considerables incertidumbres. El objetivo principal de este trabajo es evaluar la habilidad de 20 MCGs del WCRP/CMIP3 Multi-Model Dataset para representar el clima actual (1960-1999) en el sur de Sudamérica con énfasis en la precipitación y en el transporte de humedad a nivel anual y estacional. Este análisis fue realizado a partir de comparaciones con una base de datos observacional en el caso de la precipitación y con reanálisis NCEP/NCAR para el transporte de humedad. En particular se evaluó el comportamiento de estas variables derivadas de los MCGs en tres subregiones: la región monzónica (Monzón), la región continental de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y el sudeste de Sudamérica (SESA). Los resultados obtenidos en la evaluación de la precipitación muestran que la mediana de los 20 MCGs es siempre menor que el promedio de las observaciones de precipitación sugiriendo que todos los modelos climáticos subestiman la precipitación en las tres regiones analizadas. Finalmente, los resultados de la validación del transporte de humedad, permiten identificar las regiones y épocas del año con mayores dificultades en la representación de este parámetro. Por ejemplo el verano en la ZCAS aparece como una de las regiones en donde el transporte meridional es más ineficientemente simulado.

**Abstract**

Climate change is nowadays considered as one of the greatest problems humanity is facing due to the magnitude of its impact on economy, society and ecology. Global climate models (GCMs) are a reliable tool that account for the variety of complex processes which will determine future climate change at both global and regional levels. Nevertheless, GCMs predictions are subject to considerable uncertainties. The main objective of this study is to evaluate the ability of a set of twenty GCMs available from the WCRP/CMIP3 Multi-model Dataset to represent the present climate (1960-1999) of southern South America with emphasis on precipitation and moisture transport. The evaluation of the GCMs' ability was done by comparisons with observed precipitation and with the moisture transport derived from the NCEP/NCAR reanalysis. Particularly, the analysis was done for three subregions: the core monsoon region (Monsoon), the continental South Atlantic Convergence Zone region (SACZ) and southeastern South America (SESA). In the case of precipitation, results show that the median of the 20 GCMs is always lower than the observed mean indicating that all climate models underestimate the precipitation in the three analyzed regions. Finally, the results of the evaluation of moisture transport allow to identify regions and seasons with major difficulties in representing the moisture transport. For example, summer in ZCAS is one of the regions where the meridional moisture transport is more inefficiently simulated.

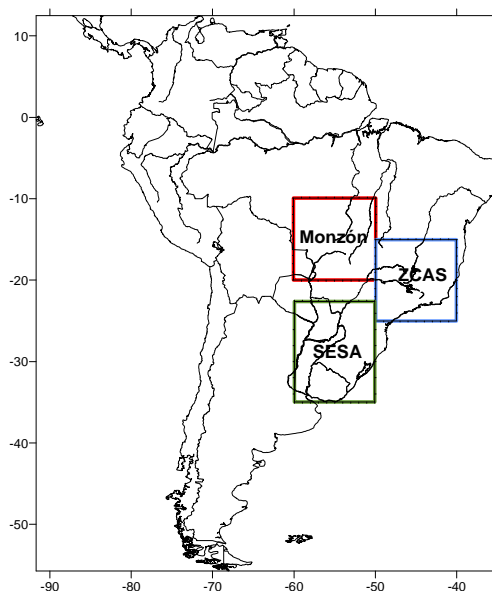
## 1. Introducción

Los modelos climáticos globales (MCGs) constituyen una herramienta para simular los procesos que determinarán el cambio climático futuro en escalas globales y regionales (Murphy et al. 2004). Sin embargo, las predicciones de los MCGs están sujetas a considerables incertidumbres derivadas de su resolución espacial y las parametrizaciones empleadas. Consecuentemente, es imprescindible realizar una evaluación de la habilidad de los MCGs para representar el clima presente para aumentar la confiabilidad de proyecciones futuras. El sur de Sudamérica y particularmente la Cuenca del Plata, constituyen áreas en las que el cambio climático se ha manifestado con mayor intensidad (Liebmann et al. 2004, Barros et al 2006). El objetivo principal de este trabajo es evaluar la habilidad de 20 MCGs del WCRP/CMIP3 Multi-Model Dataset (Meehl et al. 2007) para representar el clima actual (1960-1999) en la región subtropical de Sudamérica con énfasis en la precipitación y en el transporte de humedad.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Información utilizada

El presente trabajo se focaliza en la evaluación de la representación de la precipitación y el transporte de humedad por parte de modelos climáticos globales en la región subtropical de Sudamérica para el período 1960–1999. En particular, se consideraron tres subregiones de estudio (figura 1). La región *Monzón* corresponde al núcleo continental de la región monzónica entre 50°W-60°W y 10°S-20°S. La región denominada ZCAS abarca el área continental de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur y se encuentra limitada por 40°W-50°W y 15°S-25°S. Por último *SESA*, correspondiente al área 50°W-60°W y 22.5°S-35°S, es representativa del sudeste de Sudamérica. Los límites a partir de los cuales se definieron las tres regiones se basaron en estudios previos de diferentes autores (Liebmann et al. 2004, Gan et al. 2006, Seth et al. 2008).



**Figura 1:** Área de trabajo y subregiones consideradas

Los datos de precipitación observada utilizados corresponden a la base de datos de la Universidad de Delaware (Willmott y Matsuura, 2001) interpolados a una grilla de 0.5°lat x

0.5°lon. En este trabajo, estos datos fueron convertidos a una retícula de 2.5°lat x 2.5°lon mediante el método de interpolación Krigging. Para el cálculo del transporte de humedad verticalmente integrado se utilizaron los reanálisis NCEP/NCAR (Kalnay y otros, 1996) donde las variables consideradas fueron presión en superficie, y humedad específica, viento zonal y meridional en niveles estándar de presión. La integración se realizó hasta 700 hPa por lo que los niveles verticales considerados fueron 1000, 925, 850 y 700 hPa.

El grupo de 20 MCGs utilizado forma parte del WCRP CMIP3 Multi-Model Dataset disponible a través del Programa para el Diagnóstico e Intercomparación de Modelos (en inglés, PCMDI) utilizados para la preparación del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Las variables analizadas son los valores mensuales de precipitación y, para el cómputo del transporte de humedad, humedad específica y viento en sus dos componentes horizontales en distintos niveles de la atmósfera. Estos MCGs son acoplados entre el océano y la atmósfera y utilizan entre 18 y 56 niveles verticales en la componente atmosférica. La resolución horizontal de estos modelos oscila entre 1.1° y 4° de latitud y 1.1° y 5° de longitud. Para facilitar la comparación con los datos observados o los reanálisis NCEP/NCAR, toda la información fue interpolada a una retícula común de 2.5°lat x 2.5°lon utilizando el método Krigging.

## 2.2 Resultados

En la figura 2 se presentan, para las regiones identificadas como Monzón, ZCAS y SESA, los promedios areales de precipitación anual, para verano e invierno correspondientes a la base de datos observados junto con la mediana y el primer y tercer cuartil derivados de la precipitación simulada por los 20 MCGs analizados. Asimismo se incluyen los *outliers* de los modelos correspondientes a valores extremos menores al percentil 10 y mayores al percentil 90. Se presenta la mediana en lugar de la media, ya que es una medida de tendencia central bastante robusta y resistente, la cual no se ve alterada por los *outliers*. Por otro lado, el intervalo intercuartílico (25%-75%), al excluir los valores que exceden ese rango, resulta ser una medida adecuada para evaluar la dispersión de los datos y, al mismo tiempo especifica el rango del valor central del 50% de los mismos (Wilks, 1995). La figura muestra que la distancia entre la mediana de los 20 MCGs y las observaciones difiere en las tres regiones estudiadas, y para distintas épocas del año. Sin embargo, la mediana siempre se encuentra por debajo de las observaciones de precipitación indicando que todos los modelos subestiman la precipitación en las tres regiones. Esto confirma lo observado con los campos de porcentajes de precipitación observada que son estimados por los modelos climáticos a nivel anual y estacional (figuras no mostradas), en donde se obtuvo una subestimación de la precipitación por parte de la composición de los 20 MCGs para todas las estaciones del año y a nivel anual en las tres regiones estudiadas. Más aún, en todos los casos exceptuando el verano, las observaciones se encuentran por encima del tercer cuartil y próximas a las simulaciones provistas por modelos considerados *outliers* en la distribución. Para la precipitación anual se observa que siempre los promedios areales de las observaciones son superiores al tercer cuartil indicando que los modelos que subestiman la precipitación en cada una de las regiones consideradas, son mayoritarios. En particular, el modelo UKMO-HADGEM1 sobreestima las observaciones y supera el percentil 90 en las tres regiones analizadas mientras que, por el contrario, el modelo IPSL-CM4 subestima las observaciones en todas las regiones y se encuentra por debajo del percentil 10. En el caso del verano, las observaciones y la mediana de los MCGs son muy similares, en especial en las regiones ZCAS y SESA mientras que, en la región monzónica la discrepancia entre la mediana y el promedio de las observaciones es

mayor. No obstante ello, si bien en todas las regiones las observaciones se ubican dentro del intervalo intercuartílico de los modelos, su valor es subestimado. En el invierno la mediana de los modelos nuevamente se encuentra muy por debajo de las observaciones particularmente en la región SESA donde la dispersión entre modelos es muy importante. A partir del análisis realizado es posible determinar que el hecho de que un modelo climático sea considerado *outlier* no implica que el modelo no represente bien a las observaciones sino que indica que el modelo se aleja de lo que la mayoría de los mismos representan. Por ejemplo, CCCMA-CGCM3.1(T63) en el sudeste de Sudamérica a nivel anual y en la región monzónica durante el invierno, UKMO-HADGEM1 en la región monzónica durante el invierno, son algunos de los modelos que representan correctamente el acumulado de precipitación para las dos épocas del año mostradas y a nivel anual, figurando como *outliers* que superan el percentil 90.

La figura 3 muestra los coeficientes de correlación lineal espacial entre la componente meridional de los campos del transporte de humedad derivados a partir de los reanálisis NCEP/NCAR y de las simulaciones de los MCGs para las regiones monzónica, continental de la ZCAS y para el sudeste de Sudamérica (no se muestran las figuras correspondientes a la componente zonal). La región monzónica es la que presenta menores correlaciones espaciales para todas las estaciones y el promedio anual para la mayoría de los modelos, lo cual estaría indicando que hay discrepancias considerables entre el flujo derivado de los reanálisis NCEP/NCAR y el simulado por los MCGs. La región de la ZCAS parecería ser el área donde el transporte de humedad está mejor representado por la mayoría de los modelos, dado que los coeficientes de correlación presentan valores más altos. Se encuentra que 14 de los 20 MCGs evaluados, son capaces de representar considerablemente bien ( $R > 0.70$ ) la componente meridional del transporte de humedad anual en las tres regiones aunque la componente zonal está en general mejor representada. La composición de los 20 MCGs (ensemble) en ninguna de las tres regiones y para ninguna escala temporal presentó el mayor coeficiente de correlación espacial. Sin embargo, los valores de correlación ( $R$ ) son considerablemente altos, exceptuando el verano en la región monzónica, donde  $R$  es inferior a 0.40.

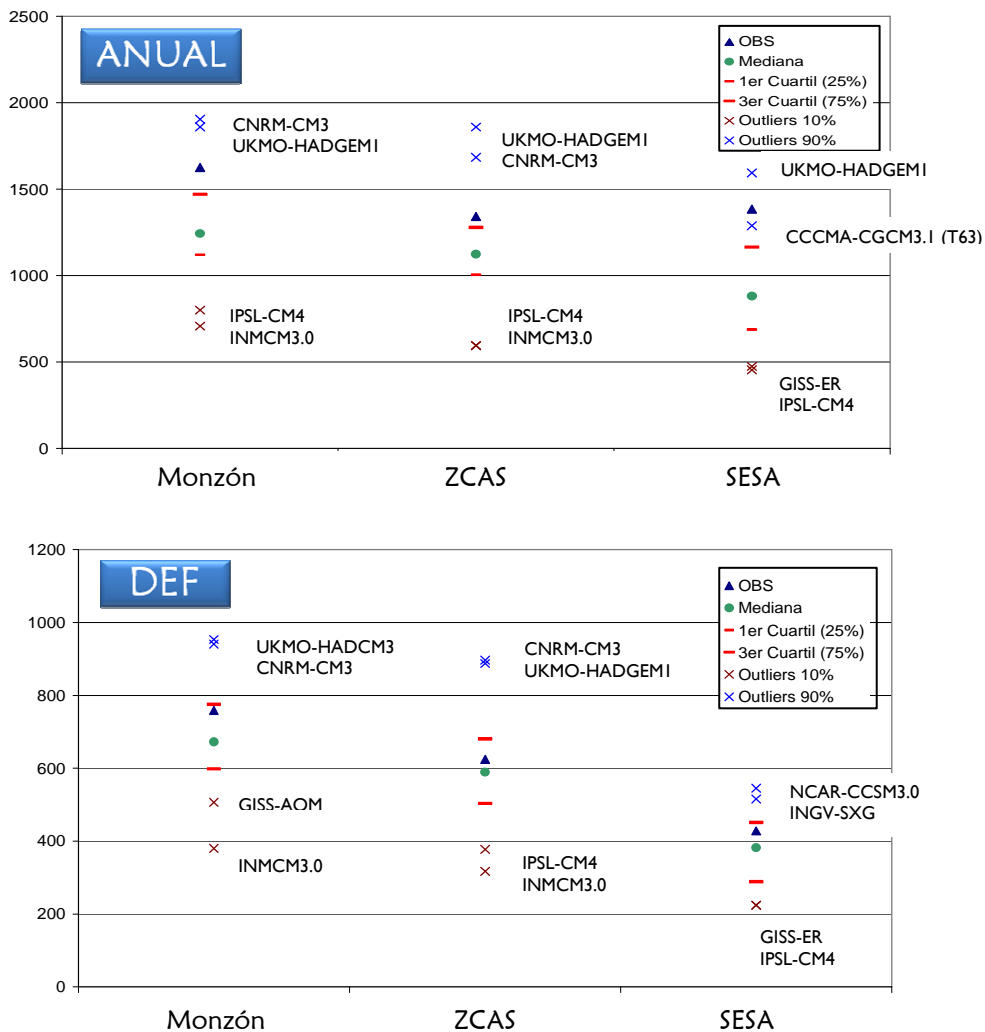
## Conclusiones

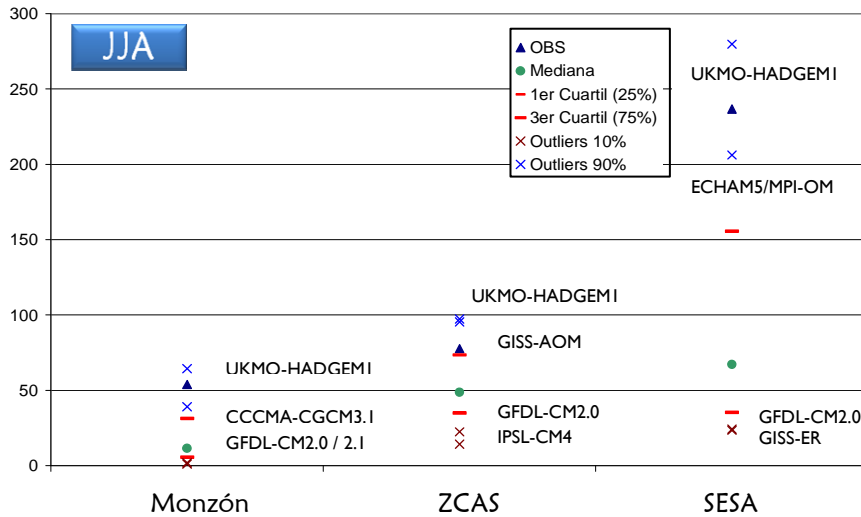
La evaluación de la precipitación simulada por los MCGs muestra que la mediana de los modelos climáticos se encuentra por debajo de las observaciones de precipitación indicando que todos los modelos subestiman la precipitación en la región monzónica, el área continental de la ZCAS y SESA. Los modelos CCCMA-CGCM3.1(T63) en SESA a nivel anual y en la región monzónica durante el invierno y UKMO-HADGEM1 en la región monzónica durante el invierno son algunos de los modelos que representan correctamente el acumulado de precipitación en verano e invierno y a nivel anual, pese a que aparecen como *outliers* (superiores al percentil 90).

Con respecto a la capacidad de los modelos climáticos para estimar el transporte verticalmente integrado se obtiene que si bien no existe un único modelo que sea el “mejor” en todas las regiones y épocas del año, puede destacarse al CCCMA-CGCM3.1(T63) como el más apropiado en las tres regiones de estudio a nivel anual, en el verano en SESA y la región ZCAS. El transporte meridional durante el invierno está bien representado en las regiones Monzón y SESA por el modelo UKMO-HADGEM1, y por CSIRO-MK3.0 en la ZCAS. El *ensemble* de los 20 MCGs considerados, en ninguna región ni época del año muestra correlaciones espaciales que superen las obtenidas para cada modelo individualmente. Se encuentra que, excepto en la región monzónica durante el verano y el otoño, los valores de  $R$  son considerablemente altos. En el resto de los casos (escalas temporales y regiones de

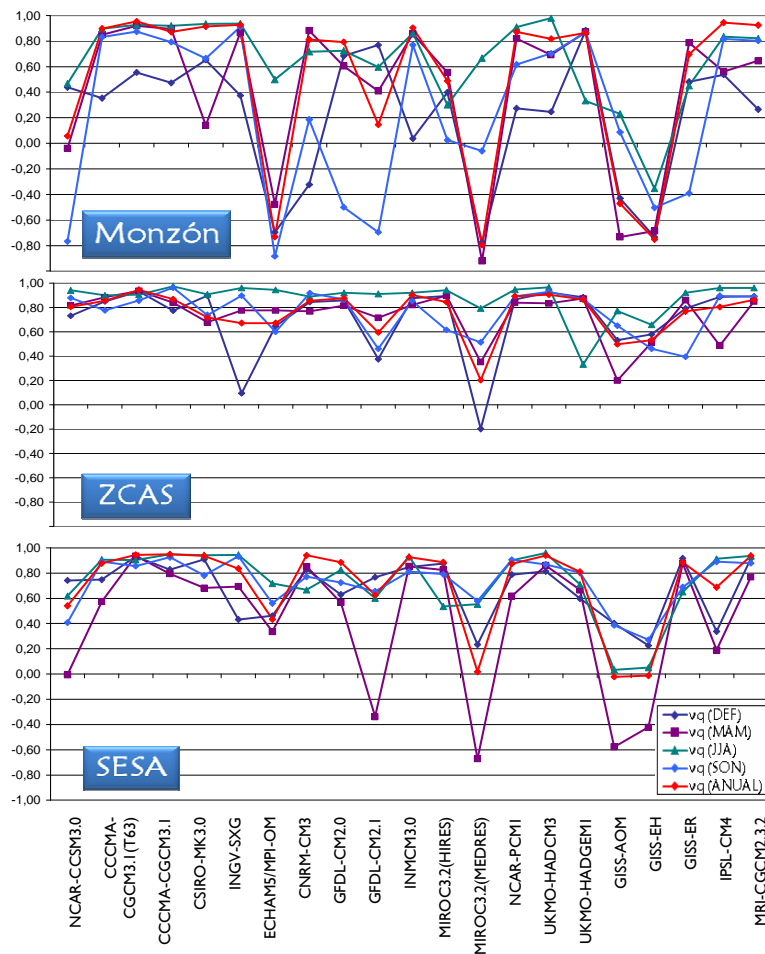
estudio analizadas), R es superior a 0.77.

En el caso de la componente zonal del transporte de humedad, no se presentaron las figuras correspondientes, dado que la mayoría de los MCGs analizados muestran una buena representación de este parámetro. La única región en la que los modelos parecen tener mayor dificultad para representar a la componente zonal del transporte de humedad es SESA. Por lo tanto, la elección de los MCGs más apropiados para representar el clima presente y su utilización para la elaboración de escenarios climáticos futuros de transporte de humedad dependerá esencialmente de la habilidad que presenten para estimar la componente meridional. Los resultados presentados permiten identificar que la ZCAS durante el verano como una de las regiones con más dificultades en la representación del transporte meridional de humedad.





**Figura 2:** Promedios areales de precipitación observada a nivel anual (arriba), en verano (centro), y en invierno (abajo) (OBS, con triángulo azul) y mediana (círculo verde), intervalo intercuartílico (segmentos rojo) y outliers menores al percentil 10 (cruces bordó) y mayores al percentil 90 (cruces azules) derivados de la precipitación anual de los veinte MCGs correspondientes a las regiones monzónica, ZCAS y SESA, respectivamente.



**Figura 3:** *Coefficientes de correlación lineal espacial entre la componente meridional de los campos anual y estacionales de transporte de humedad derivados de los reanálisis NCEP/NCAR y simulados por los MCGs para la región monzónica, el área continental de la ZCAS y el sudeste de Sudamérica.*

### Referencias Bibliográficas

- Barros, V.R. 2006. Tendencias climáticas e hidrológicas en la cuenca del Plata. En: El cambio climático en la Cuenca del Plata. Barros, Clarke, Silva Dias (eds.). Ed. CIMA. 12-18.
- Gan, M, V.B.Rao y C.L.Moscatti. 2006. South American monsoon indices. Atmospheric Science Letters 6:2219-223, DOI:10.1002/ASL.119.
- Kalnay,E., and coauthors. 2004. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77, 437–471.
- Liebmann, B., C.S.Vera, L.M.V.Carvalho, I.A.Camilloni, M.P.Hoerling, D.Allured, V.R.Barros, J.Báez y M.Bidegain. 2004. An observed trend in central South American precipitation. J.Climate 17, 4357-4367.
- Meehl, G.A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAveney, J.F.B. Mitchell, R. J. Stouffer y K.E. Taylor. 2007. The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. Bull. Amer. Meteor. Soc. 88, 1383-1394.
- Murphy, J.M, D.M.H. Sexton, D.N.Barnett, G.S. Jones, M.J. Webb, M. Collins y D.A. Stainforth. 2004. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. Nature 430, 768-772.
- Seth, A., M.Rojas y S. Rauscher. 2008. CMIP3 Projected Changes in the annual cycle of the South American Monsoon. Climatic Change (en prensa).
- Wilks, D. 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press. 24-25.
- Willmott, C.J. y K.Matsura. 2001. Terrestrial air temperature and precipitation monthly and annual time series (1950-1999) Version 1.02. (Available from <http://climate.geog.udel.edu/~climate>).