

Implementación y evaluación del modelo atmosférico de circulación global CAM5

Carlos Enciso, Jorge Reupo y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

Introducción

Los modelos numéricos climáticos globales (GCMs, por sus siglas en inglés), consisten en una importante herramienta para el entendimiento del complejo sistema terrestre, tratando de representar y simular los distintos componentes del sistema climático; así como las interacciones que se dan entre ellos. En los últimos años, el desarrollo de los modelos globales, ha incrementado ampliamente las capacidades de los mismos; dando pase al desarrollo de “Modelos del Sistema Tierra” o “Earth System Models (ESM)”; incluyendo en ellos: ciclo interactivo de carbono-nitrógeno, vegetación dinámica global y cambio de uso de suelo bajo actividad antropogénica, módulo bio-geoquímico de ecosistema marino, así como procesos físicos directos e indirectos de los aerosoles y sus funciones sobre el clima global.

En el Instituto Geofísico del Perú (IGP) se instaló el modelo CESM (Community Climate System Model), un ESM desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) de los EE.UU., respaldado por U.S. Department of Energy y la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Debido a que los modelos climáticos tienen problemas con simular el clima en el Pacífico oriental, particularmente la distribución de precipitación, primero se evaluó la componente atmosférica, el modelo atmosférico global de última generación CAM5 (Community Atmospheric Model), que cuenta con 32 niveles de atmósfera, permitiendo con ello abarcar simulaciones desde la superficie terrestre, hasta niveles de la termósfera (Hurrell et al., 2013, Versteinsten, M. et al., 2013). El modelo permite diferentes resoluciones, alcanzando espaciamientos de grilla horizontal finas del orden de 10 a 25 km, pero para lo cual algunas de las parametrizaciones de gran escala (e.g. convección de gran escala) deben ser rediseñadas. Así mismo, CAM5, cuenta con nuevas parametrizaciones, tal como la estimación de los efectos de los aerosoles de forma indirecta, no siendo posible esto en su versión anterior (CAM4), un esquema nuevo de parametrización sobre convección superficial y turbulencia de humedad, parametrizaciones de fracción de nubes y formación de partículas de nubes. (Neale, R. et al., 2012).

Metodología

La instalación del modelo CESM, se realizó siguiendo los puntos descritos en la guía del mismo (<http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2>). Además de realizar la configuración “Porting and Validation CESM on a new platform” para el HPC-Linux-Clúster (Santillán et al., 2017), que se encuentra en el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos Computacional (Versteinsten, M. et al., 2013).

Para la evaluación del CAM5, se realizó la simulación del tipo AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project), utilizando el compset (configuración) “F_AMIP_CAM5”, para el periodo de 1979 – 2005, con una resolución $1.9^\circ \times 2.5^\circ$ (grilla horizontal con $nlon=144$ y $nlat=96$). En esta configuración (“CAM standalone”), la atmósfera está acoplada con el modelo de suelo (CLM), solo actúa la termodinámica del modelo hielo marino (configuración especial del CICE) y utiliza condiciones de frontera, datos mensuales de temperatura superficial del mar histórica del

periodo 1850-2012, la cual varía año tras año (‘sst_HadOIBL_bc_1.9x2.5_1850_2012_c130411.nc’) (Taylor, et al., 2000; Eaton, B. et al., 2015).

Las salidas de la simulación fueron evaluadas con datos de precipitación del GPCP V.2.1 (Global Precipitation Climatology Project), de resolución $2.5^\circ \times 2.5^\circ$. Se realizó una interpolación bilineal de los datos del GPCP a la grilla horizontal del modelo en todo su dominio (originalmente 144×72 puntos de grilla). Así mismo, se realizó la interpolación horizontal de los datos de Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B43 ($1^\circ \times 1^\circ$) y XIE-ARKIN (T42) a la grilla del modelo, para el análisis mediante el diagrama de Taylor, en los periodos (1998-2005) y (1981-1998), respectivamente.

Se analizó el periodo de 1981-2005 (descartando 2 años para el ajuste inicial o “spin-up”), calculando el promedio climatológico de los meses FMA (Febrero-Marzo-Abril) y ASO (Agosto-Septiembre-October). El primer trimestre corresponde a la primavera boreal, el periodo con los peores sesgos en los modelos globales asociados a la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, en sus siglas en inglés), particularmente a la sobreestimación de la segunda banda al sur del ecuador en el Pacífico oriental (Zhang, 2015; Huaman and Takahashi, 2016).

Resultados

Las simulaciones realizadas (Fig. 1) presentan sesgos positivos en la doble banda de la ITCZ, con excesiva precipitación fuera de la banda ecuatorial, a través del Pacífico, extendiéndose hacia el Pacífico oriental. La Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ, en sus siglas en inglés) presenta una orientación demasiado zonal y de mayor magnitud que la observada. Asimismo, presenta sesgos en el océano Índico, con excesiva precipitación en la región occidental, en comparación sobre la parte oriental del mismo, donde se presenta subestimación de la precipitación. Estos mismos sesgos se han reportado en la evaluación del CAM5 y el SP-CAM5 (superparametrizado) realizada por Kooperman, et al. (2016). Los sesgos negativos en la región Amazónica se presentan en el primer trimestre de análisis (FMA), donde la segunda banda de la ITCZ se intensifica. Los resultados muestran subestimaciones de precipitación en esta región del orden de 4-5 mm/día (-20%), así como sesgos positivos sobre la costa norte del Perú. En el segundo trimestre de análisis (ASO), los sesgos sobre la Amazonia, así como la segunda banda de la ITCZ, disminuyen, debido a la migración estacional de la ITCZ.

En el diagrama de Taylor (Fig. 2) se muestra la correlación espacial de la precipitación, para el Pacífico tropical oriental (30°N - 30°S 180°W - 90°W), para los dos trimestres analizados, abarcando en esta región la ITCZ y la SPCZ. Se encontraron correlaciones altas para los periodos analizados de FMA ($r=0.85$) y ASO ($r=0.9$), indicando que los patrones de precipitación tropical de gran escala son bien representados a grandes rasgos, aunque estos resultados esconden las importantes sobreestimaciones y subestimaciones en diferentes regiones por parte del modelo.

Implementación y evaluación del modelo atmosférico de circulación global CAM5

Carlos Enciso, Jorge Reupo y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

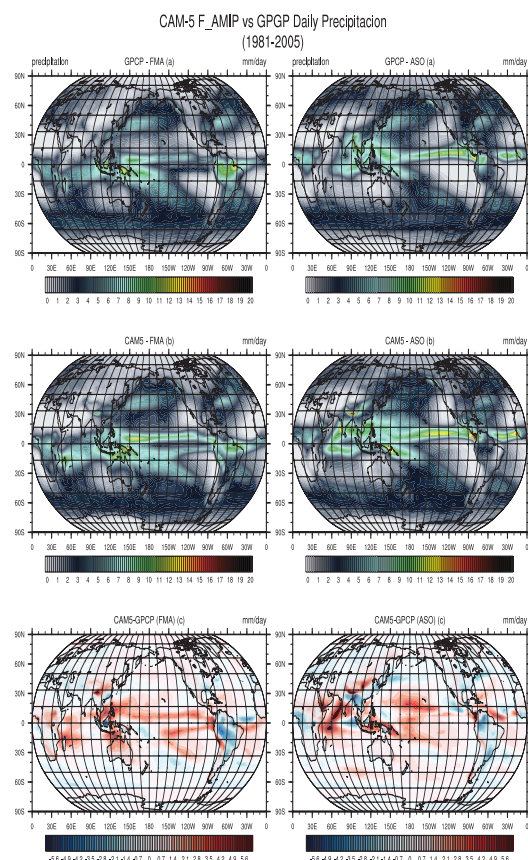


Figura 1. Promedio trimestral climatológico (1981-2005) de precipitación total diaria (mm/day), para los meses FMA (Febrero-Marzo-Abril) y ASO (Agosto-Septiembre-Octubre). (a) GPCP, (b) CAM5 y (c) Sesgos (GPCP-CAM5).

Conclusiones

El modelo CAM5 representa bien las principales características climatológicas de la precipitación tropical. Sin embargo, a escala regional presenta sesgos en su distribución y su cantidad. En particular, la simulación exhibe una doble ITCZ, que se extiende en el Pacífico oriental, y genera grandes sesgos de sobreestimación en la costa de Ecuador y norte de Perú; así como sesgos secos en el Amazonas. Dichos sesgos pueden limitar la utilidad del modelo CAM5 para el estudio de los efectos de los eventos El Niño/La Niña en el Perú, los cuales dependen bastante de la dinámica de la precipitación en el Pacífico oriental, tanto en los eventos globales ENOS (Takahashi y Dewitte, 2016) como en los eventos El Niño de tipo costero (Takahashi y Martínez 2017). Además, esto también puede afectar la validez del modelo para la evaluación de escenarios de cambio climático en nuestras latitudes (Belmadani et al., 2013).

Si bien se ha probado el uso de esquemas de superparametrización para mejorar los sesgos (Kooperman et al., 2016) y se ha logrado una mejora en la simulación de la doble banda de la ITCZ; sin embargo, esto agrava los sesgos secos en la Amazonía y presenta un muy alto costo computacional.

En general, este modelo tiene una buena representación del clima tropical y es muy usado internacionalmente para el estudio del clima, pero se deberá tener cuidado en identificar de qué manera los sesgos del modelo podrían afectar las conclusiones de los estudios enfocados en nuestra región.

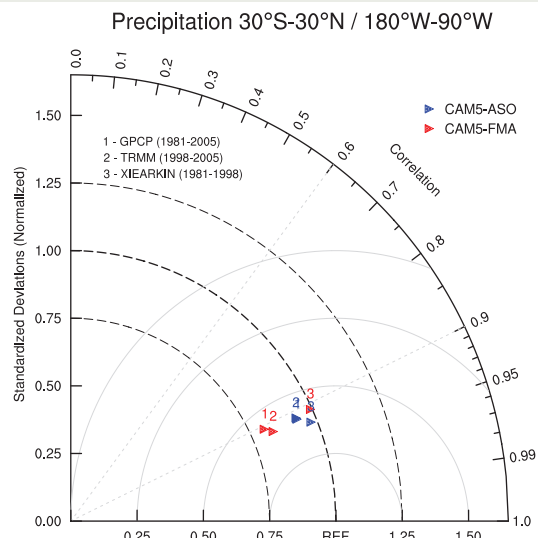


Figura 2. Diagrama de Taylor de correlación espacial de precipitación entre lo simulado por el modelo CAM5 y (1) GPCP, (2) TRMM y (3) XIEARKIN, para la región (30°S - 30°N / 180°W - 90°W), para los trimestres ASO (Agosto-Septiembre-Octubre) y FMA (Febrero-Marzo-Abril).

Referencias

- Belmadani, A., Echevin, V., Codron, F., Takahashi, K., Junquas, C., 2013: What dynamics drive future wind scenarios for coastal upwelling off Peru and Chile? *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-013-2015-2
- Hurrell, James W.; M. M. Holland; P. R. Gent (2013): "The Community Earth System Model: A Framework for Collaborative Research". *B. Am. Meteorol. Soc.* 94 (9): 1339-60.
- Eaton, B. E., User's Guide to the Community Atmosphere Model CAM5.0, Technical report, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, (http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.0/cam/docs/ug5_0/ug.html)
- Kooperman, G. J., Pritchard, M. S., Burt, M. A., Branson, M. D., & Randall, D. A. (2016). Robust effects of cloud superparameterization on simulated daily rainfall intensity statistics across multiple versions of the Community Earth System Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 8(1), 140-165.
- L. Huaman y K. Takahashi, 2016: The vertical structure of the eastern Pacific ITCZs and associated circulation using the TRMM Precipitation Radar and in situ data. *Geophys. Res. Lett.*, 43, (doi:10.1002/2016GL068835).
- Neale, R. B., and Coauthors, 2012: Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0). NCAR Tech. Note TN-486, 274 pp.
- Santillán, O., Gilt, H., Ingunza, Mosquera, K. y Montes, I. 2017: Diseño del Sistema HPC-Linux-Clúster del IGP. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Marzo, 4, 3, 7-9.
- Takahashi, K., Dewitte B, 2016: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.
- Takahashi, K., Martínez, AG. 2017: The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3702-1
- Taylor, K. E., D. Williamson, and F. Zwiers. 2000: The sea surface temperature and sea-ice concentration boundary conditions of AMIP II simulations. PCMDI Rep. 60, 20 pp.
- Versteinst, M. et al. ;2013: CESM User's Guide, CESM1.2 Release Series User's Guide, NCAR Technical Note (Boulder, CO: National Center for Atmospheric Research) p 884 (<http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cesm/doc/usersguide/ug.pdf>)
- Zhang, X., H. Liu, and M. Zhang (2015), Double ITCZ in coupled ocean-atmosphere models: From CMIP3 to CMIP5, *Geophys. Res. Lett.*, 42,8651-8659, doi:10.1002/2015GL06559