

VALIDACIÓN DE LOS PATRONES DE SLP DEL PACÍFICO TROPICAL EN MODELOS DEL CMIP5

Reiner PALOMINO-LEMUS^{1,2}, Samir CÓRDOBA-MACHADO^{1,2},
Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS¹, Yolanda CASTRO-DÍEZ¹,
María Jesús ESTEBAN-PARRA¹

¹ Department of Applied Physics, University of Granada, Granada, Spain

² Technological University of Chocó, Colombia

scordobam1@ugr.es, rpalomino@ugr.es, srgamiz@ugr.es, ycastro@ugr.es, esteban@ugr.es.

RESUMEN

En este estudio se ha llevado a cabo una validación de las simulaciones del campo de SLP en la zona del Pacífico tropical, obtenidas en los experimentos históricos de 40 modelos del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), mediante su comparación con los campos de SLP de los datos de reanálisis del NCEP y observacionales HadSLP2, en el periodo 1950-2004. Para ello se ha aplicado el análisis de componentes principales para obtener los modos principales de variabilidad (EOFs) a partir de las simulaciones de los modelos y se han comparado con los calculados a partir de los datos observacionales usando el diagrama de Taylor y comprobando las varianzas del campo de la SLP explicadas por cada modo en cada modelo. En general, los dos primeros modos de variabilidad de la SLP se reproducen fielmente por todos los modelos, en particular por los modelos CNRM-CM5, CMCC-CMS y HadGEM2-CC, mientras que el modelo CESM1(CAM5) es el que proporciona peores resultados. Así, los resultados muestran que los modelos proporcionan una adecuada representación de la variabilidad intraanual de la SLP asociada al primer modo de variabilidad de la SLP obtenido a partir de los datos del NCEP y del HadSLP2 en el Pacífico central, caracterizado por un patrón de fuertes correlaciones positivas entre 10°S–10°N y 140°W–90°W, vinculado con El Niño, con varianzas entre el 17% y el 30%, según el modelo. También representan de forma apropiada la variabilidad asociada al segundo modo, caracterizado por un fuerte núcleo de correlaciones positivas situadas sobre el Pacífico tropical occidental, entre los 120°E–165°W, y otro pequeño centro también de correlaciones positivas, aunque mucho más débiles sobre el continente suramericano, ligado al de la Oscilación del Sur, con varianzas entre el 12% y el 23%, según el modelo. La capacidad de los modelos para reproducir los modos principales de variabilidad de la SLP sienta las bases para su utilización en modelos de downscaling estadístico que usan la SLP como variable predictora.

Palabras clave: SLP del Pacífico tropical, Modelos del CMIP5, ENSO, PCA, Diagrama de Taylor.

ABSTRACT

In this study, the Tropical Pacific SLP field simulated in the pre-industrial historical experiments of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) has been validated by comparing it with the SLP from NCEP reanalysis and HadSLP2 data, in the

period 1950-2004. For this end, principal modes of variability (EOFs) obtained from the simulations by Principal Component Analysis, have been compared with those calculated from observational data through the use of Taylor diagrams along with the SLP variance accounted by the different modes. In general, the two first modes of SLP variability are accurately reproduced by the models, particularly for the CNRM-CM5, CMCC-CMS and HadGEM2-CC models, meanwhile the CESM1(CAM5) model can be considered as the worst. So, the results show for the models a suitable representation of the intrannual SLP variability associated with the first leading SLP pattern from the NCEP and HadSLP2 datasets in the central Pacific, characterized by a strong correlation pattern between 10°S–10°N and 140°W–90°W, linked to El Niño, with variances between 17% and 30%, depending on the model. They also represent appropriately the variability associated with the second mode, characterized by a strong core of positive correlations located over the western tropical Pacific between 120°E–165°W, and a small center also with positive correlations, although much weaker on the South American continent, linked to the Southern Oscillation, with variances between 12% and 23%, depending on the model. The ability of these models to reproduce the leading modes of the SLP variability provides the basis to be used in statistical *downscaling* models utilizing SLP as a predictor variable.

Keywords: Tropical Pacific SLP, CMIP5 models, ENSO, PCA, Taylor diagram.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se continúan haciendo importantes esfuerzos de cooperación entre las diferentes comunidades científicas que trabajan en el desarrollo de modelos climáticos, cada vez más sofisticados, con el objetivo de mejorar la comprensión del sistema climático y predecir las futuras condiciones climáticas, utilizando, para ello, los modelos acoplados océano-atmósfera (AOGCM o GCM) (Taylor et al., 2009). Desafortunadamente los modelos no son perfectos, y por lo tanto, antes de utilizar sus salidas es necesario valorar su exactitud. En primer lugar el sistema climático es tan complejo que todos los modelos tienen que hacer algunas suposiciones, cuyos resultados difieren unos de otros, incluso para pequeños cambios de los componentes de forzamiento radiativo (Covey et al., 2000). Además, es importante hacer notar que un modelo que reproduce con éxito el clima actual no garantiza una simulación fiable del clima en el futuro, debido a que su evolución no tiene porqué ser lineal. En este sentido, el uso de técnicas complejas para la validación de las salidas de los GCMs, como los métodos multivariantes, adquieren interés, ya que estas técnicas son capaces de tomar en cuenta múltiples características simultáneamente.

Un paso previo a la obtención de proyecciones de cambio climático es la evaluación sistemática de los modelos a través de comparaciones con los datos instrumentales o de reanálisis. Es importante notar que, aunque la capacidad de los modelos climáticos que se están utilizando actualmente para simular el clima ha mejorado significativamente, los errores y las incertidumbres asociados a las observaciones siguen siendo un problema en el análisis de las diferencias resultantes (Frost et al., 2011). Otra fuente de incertidumbre en los modelos es de origen antropogénico, en relación con los aerosoles y sus efectos en procesos radiativos ya sea directa o indirectamente (Lohmann et al., 2010).

La evaluación de la capacidad de los modelos climáticos para simular variables climáticas a nivel regional y global, en diferentes escalas de tiempo, ha sido estudiada recientemente por muchos autores (Su et al., 2013; Casado y Pastor, 2012; Nieto y Rodríguez Puebla, 2006). Por ejemplo, Casado y Pastor (2012) evaluaron la capacidad de 16 modelos para simular patrones

de variabilidad atmosférica dominantes sobre la región euro-atlántica en invierno, y Benestad (2004) compara las tendencias de la temperatura del aire simulada por los GCMs con las observadas en el norte de Europa. Las condiciones atmosféricas en el Pacífico tropical son un componente importante para entender y predecir las variaciones climáticas a nivel global. Estudiar el comportamiento de la circulación atmosférica general en el Pacífico tropical, y su variabilidad, es por tanto de gran importancia ya que muchos de los fenómenos atmosféricos asociados a esta franja latitudinal, afectan de manera directa o indirecta al clima, a los ecosistemas y, por consiguiente, a los procesos socioeconómicos de muchas regiones del mundo (Díaz y Markgraf, 2000).

Numerosos estudios han demostrado que la variabilidad generada por las interacciones océano-atmósfera en el Pacífico tropical, ligada a la presión a nivel del mar (SLP), tiene enormes implicaciones climáticas, sobre todo, en la mayoría de las regiones ubicadas en el sur de la costa oeste de América del Norte, los países de centro y América del Sur, Australia y oeste de Oceanía, mediante sus efectos condicionantes en las principales variables meteorológicas (Chang et al., 2007). La fuerte relación entre la SLP y la temperatura de la superficie del mar (SST) en esta región tiene impactos importantes en el comportamiento de la variabilidad climática extratropical de muchos otros lugares del planeta (Kim et al., 2012). Este estudio representa una contribución a la evaluación de la habilidad de los GCMs del CMIP5 para simular el campo de la SLP en la región del Pacífico tropical.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

En el presente estudio se han considerado datos de la SLP procedentes de dos bases diferentes; la primera de ellas es la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR. Estos datos están disponibles desde 1948 hasta el presente, con una resolución horizontal de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay et al., 1996). La segunda es la base de datos de SLP del Hadley Centre, HadSLP2 (Allan y Ansell, 2006), que cuenta con una resolución horizontal de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, cubriendo el periodo 1850-2004.

Se han utilizado para su validación las simulaciones de SLP de 40 modelos del CMIP5 del IPCC-AR5. Estos modelos están listados en orden alfabético en las cabeceras de las Figuras 2 y 3, así como en el pie de la Figura 4. Las simulaciones utilizadas corresponden al periodo histórico, que comienza en 1850 y termina en el año 2005. Estas consideran emisiones antropogénicas y naturales, destacándose que, por primera vez, incluyen los cambios del uso y cobertura de suelo (Taylor et al., 2012). Para el presente trabajo, se han utilizado 55 años, cubriendo el periodo 1950-2004.

Por otra parte, el área de estudio para el análisis de la validación comprende la región entre 30°S - 30°N y 120°E - 60°W . Para facilitar la comparación entre las observaciones y las simulaciones, los datos de cada modelo han sido interpolados a las resoluciones espaciales de los datos del NCEP y HadSLP2.

Para cada conjunto de datos de SLP se han calculado las anomalías mensuales y se han eliminado las tendencias lineales. Con el objetivo de identificar los principales patrones de variabilidad de la SLP y verificar la capacidad de cada una de las simulaciones de los GCMs en reproducir estos patrones de circulación a gran escala en la región del Pacífico ecuatorial, se ha llevado a cabo un PCA sobre cada base de datos utilizando la matriz de correlaciones. Las Funciones Ortogonales Empíricas (EOFs) obtenidas a partir de los diferentes análisis pueden ser interpretadas como representaciones de los modos naturales o patrones recurrentes de variabilidad (Jolliffe, 2002). Por construcción los EOFs son ortogonales entre sí, teniendo,

tal ortogonalidad la ventaja de aislar los modos no correlacionados, pero algunas veces, esto también conlleva la creación de estructuras complejas que dificultan su interpretación física y espacial (Hannachi, 2006).

La rotación de los EOFs (REOFs) simplifica este problema en los patrones representados por los EOFs. Generalmente los REOFs tienen estructuras más simples y localizadas en comparación con los EOFs, ya que en la rotación de los factores de carga se pierden algunas propiedades geométricas de los EOFs en favor de una mejor interpretación. En este estudio se ha utilizado la técnica de rotación denominada Varimax, la cual transforma linealmente los patrones espaciales obtenidos en los EOFs y mejora la relación entre sus patrones espacio-temporales con los mecanismos físicos conocidos

Para el elegir el número óptimo de EOFs a retener para la rotación se ha empleado la Regla de North (North et al., 1982), encontrándose que sólo los cuatro primeros modos son significativos.

Por último, se han utilizado diagramas de Taylor (Taylor, 2001), para evaluar las principales diferencias entre los REOFs obtenidos a partir de la SLP del NCEP-NCAR y del HadSLP2, respecto a las simulaciones del CMIP5. Este diagrama permite resumir algunos parámetros estadísticos y comparar los resultados en varios modelos respecto a las observaciones, al mostrar sus coeficientes de correlación, la raíz del error cuadrático medio (RMSD), y la varianza total explicada por cada modo en comparación con la base de datos observacional.

3. RESULTADOS

La Figura 1 muestra la distribución espacial de los cuatro primeros REOFs obtenidos a partir de los datos del NCEP y del HadSLP2, mediante la representación de los factores de carga. Los cuatro modos de variabilidad significativos encontrados para el caso de la SLP del NCEP explican un 24.95%, 19.33%, 9.78% y 7.42% de la varianza, respectivamente, representando en conjunto el 61,48% de la varianza total de la SLP. Los cuatro primeros modos rotados correspondientes a los datos del HadSLP2 explican porcentajes similares de 23.41%, 17.31%, 10.02% y 8.04%, respectivamente, de la varianza total de los datos. A primera vista, la representación de los patrones espaciales del primer modo de variabilidad rotado (REOF1) del NCEP y del HadSLP2 es similar (Fig. 1), estando asociado a El Niño. El primer modo de variabilidad de la SLP de las bases de datos del NCEP y el HadSLP2, con un coeficiente de correlación entre los patrones espaciales de 0.98, exhiben un fuerte núcleo de correlación con valores positivos entre los 150°W-90°W, y débiles correlaciones negativas llegando a casi cero en el oeste del Pacífico tropical, siendo más pronunciado para el NCEP. Adicionalmente, se observa que el patrón de correlaciones para el REOF1 del NCEP en la zona que limita con la costa oeste ecuatorial de América del Sur, es más marcado que el del HadSLP2, presentando valores de correlación más pequeños a medida que se adentra en la zona continental. Por otro lado, el centro de correlaciones negativas es muy similar en ambas bases de datos, reanálisis y observacionales.

El porcentaje de varianza explicada por el segundo modo de variabilidad rotado (REOF2) en el NCEP (19.33%) es ligeramente superior que en el HadSLP2 (17.31%), presentando un patrón típico de la circulación de Walker. Este modo muestra un fuerte núcleo de correlaciones positivas sobre el Pacífico tropical occidental, entre 120°E y 165°W, y otro pequeño centro también de correlaciones positivas, aunque más débiles sobre el continente suramericano. En contraste, aparecen correlaciones negativas dividiendo estos centros de acción. Este patrón espacial es muy similar al de la Oscilación del Sur (Philander, 1989).

El REOF3 presenta un fuerte patrón de correlaciones positivas ubicadas sobre toda la zona continental y costa oeste del continente americano, el cual tiende a debilitarse a medida que se extiende sobre la franja ecuatorial hasta los 150°W, junto con dos centros de correlaciones negativas ubicados al norte, alrededor de los 15°N-140°E y al sur, por debajo de los 15°S.

Por otro lado, el cuarto modo de variabilidad explica un 7.42% de la varianza de la SLP en el NCEP y un 8.04% en el HadSLP2, mostrando un fuerte centro de correlaciones positivas por encima de los 10°N, entre los 130°E y los 120°W.

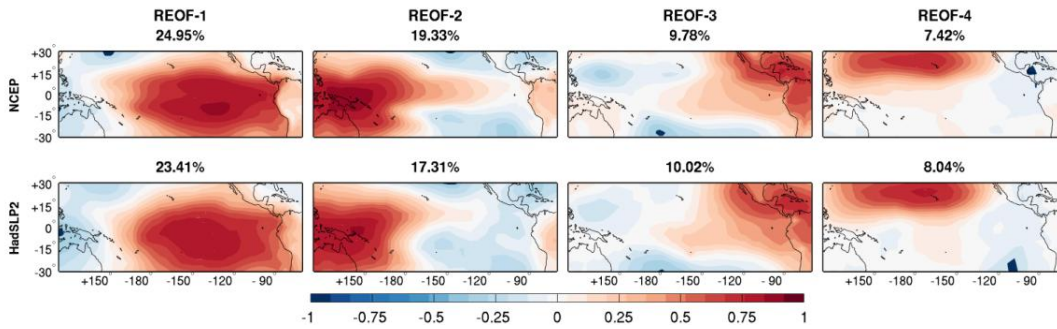


Fig. 1: Distribución espacial de los primeros cuatro modos de variabilidad rotados de la SLP del NCEP y del HadSLP, para el periodo 1950-2004.

Debido a que los dos primeros modos rotados, en ambas bases de datos (NCEP y HadSLP2) son los que explican el mayor porcentaje de la varianza total de los datos de SLP, además de ser los que se identifican claramente en todos los modelos considerados en este estudio, se ha restringido el análisis de la validación a estos dos primeros REOFs. Las Figuras 2 y 3 ilustran los patrones espaciales asociados al REOF1 y REOF2, respectivamente, mediante la representación de los factores de carga de estos dos primeros modos de variabilidad de las anomalías medias mensuales de SLP obtenidos a partir de las salidas de los 40 modelos del CMIP5. En la parte superior de cada panel se muestra entre paréntesis el porcentaje de varianza total explicada por cada modo para cada modelo, así como la identificación del mismo, en orden alfabético. Por otro lado, la Figura 4 muestra los diagramas de Taylor para comparar estos modos con los obtenidos de las bases de datos del NCEP y HadSLP2.

Los modelos analizados tienden a reproducir de manera razonable el campo espacial de correlación asociado al primer modo de variabilidad de la SLP (Fig. 2). Además, es posible observar que los modelos (m) CNRM-CM5, (l) CMCC-CMS y (B) HadGEM2-CC, son los que mejor reproducen la distribución espacial de los patrones de correlación para este modo del NCEP, con máximos coeficientes de correlación de 0.96 (Figura 4), como se aprecia en el diagrama de Taylor. El REOF1 del CNRM-CM5 y CMCC-CMS muestran un gran centro de correlaciones positivas con forma de óvalo muy similar pero más fuerte que del NCEP

Por su parte, los modelos que distorsionan en mayor grado los campos espaciales de correlación del primer modo de variabilidad, vienen encabezados por el (g) CESM1(CAM5), con una varianza total explicada del 26.5%, con correlaciones de 0.74 y 0.71, respecto al NCEP y el HadSLP2. El centro de correlaciones positivas ubicado en el Pacífico toma forma de lengua alargada llegando hasta la costa australiana. Además, la distribución espacial de estas correlaciones sobre el continente americano y el Caribe es relativamente mayor.

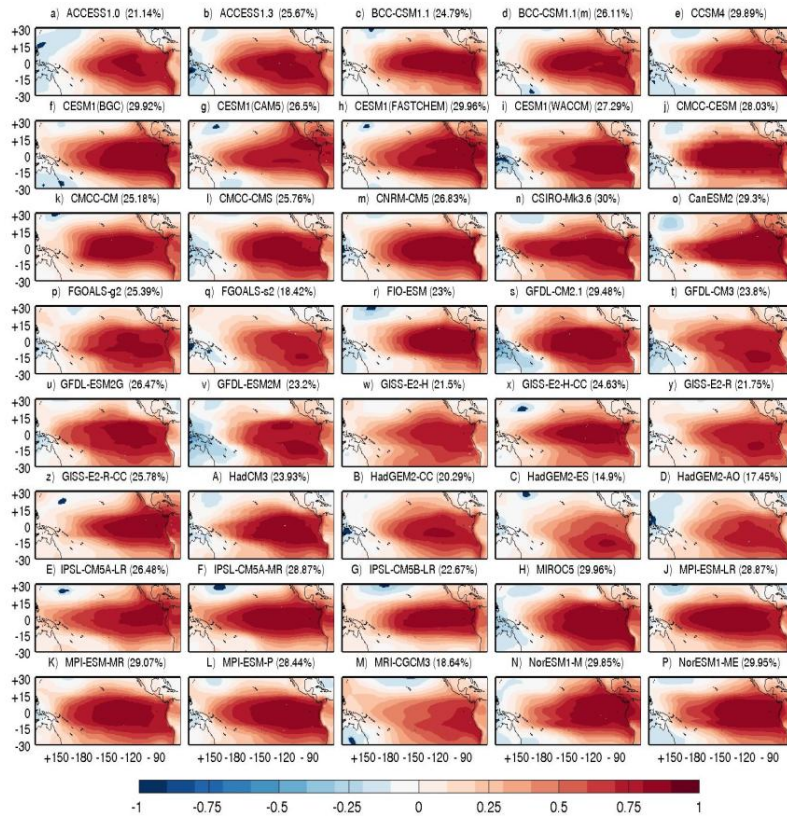


Fig. 2: Distribución espacial del REOF1 de la SLP obtenido a partir de las salidas de cuarenta modelos del CMIP5, durante el periodo 1950-2004.

Por otra parte, también se observa que algunas simulaciones tienden a distorsionar este patrón, mostrando estructuras irregulares no muy definidas en algunos casos. Aun así, todos los modelos logran obtener una buena representación de la distribución espacial del REOF1, en comparación con ambas bases de datos (NCEP y HadSLP2). Asimismo, en la mayor parte de los modelos, la varianza total explicada por el primer modo presenta valores superiores a las obtenidas en ambas bases de datos observacionales, siendo más evidente en los modelos (h) CESM1 (FASTCHEM), (n) CSIRO-Mk3.6.0, (N) NorESM1-M, (P) NorESM1-ME y (H) MIROC5, con diferencias de hasta un 21% más en la varianza explicada, mientras que los modelos (q) FGOALS-s2, (C) HadGEM2-ES y el (D) HadGEM2-AO presentaron varianzas muy por debajo de las observacionales, explicando hasta un 40% menos, mostrando factores de carga más débiles y menos extensos en el Pacífico central y frente a las costas de Sudamérica.

La Figura 3 muestra los resultados relativos al REOF2 para todos los GMCs analizados. De manera general, la mayoría de los modelos hacen una aceptable representación de los patrones espaciales asociados a este modo de la SLP, los cuales se asemejan al patrón tropical de la Oscilación del Sur. Los modelos que mejor representan el patrón asociado al segundo modo de variabilidad del NCEP-NCAR con una varianza de (19.33%), son el (u) GFDL-ESM2G, (b) ACCESS1.3, (p) FGOALS-g2 y (L) MPI-ESM-P, con varianzas explicadas de 13.08%, 15.89%, 17.24% y 14.65%, respectivamente, menores que las mostradas por el REOF2 de los datos de reanálisis. Por otro lado, el (M) MRI-CGCM3 y el (r) FIO-ESM son los modelos que distorsionan en mayor grado el segundo modo, con una varianza explicada de 20.55 % y 23.62%, respectivamente, por encima de la correspondiente a los datos de reanálisis.

Igualmente se encuentra que la mayoría de los modelos subestiman la varianza explicada por el REOF2 del NCEP-NCAR, aunque esta subestimación no es tan marcada respecto al HadSLP2.

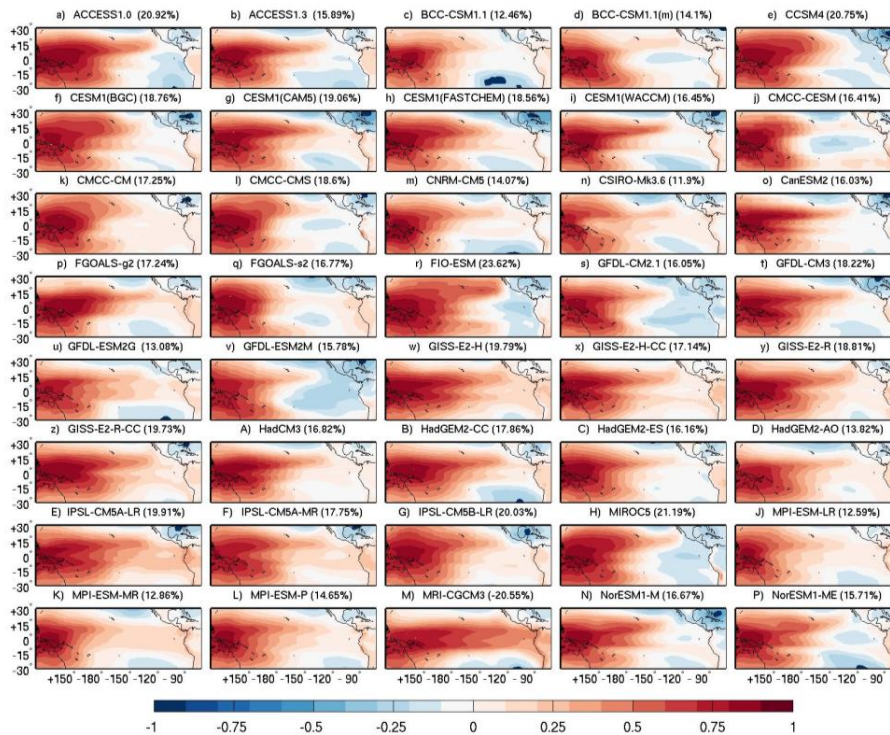


Fig. 3: Distribución espacial del REOF2 de la SLP obtenido a partir de las salidas de cuarenta modelos del CMIP5, durante el periodo de 1950-2004.

De manera general, para el REOF1, los valores de los coeficientes de correlación entre el REOF1 del reanálisis del NCEP y las simulaciones son superiores a 0.75, mientras que para los datos del HadSLP2 este límite inferior baja a 0.65 para algunos GCMs, aunque para la mayoría de los modelos este límite es superior a 0.8 en ambos casos. Por tanto, al contrastar los resultados obtenidos en las dos bases de datos, reanálisis y observacionales, los coeficientes de correlación de las simulaciones respecto al NCEP son ligeramente superiores. En el caso del REOF2, los resultados son indistinguibles entre ambos, ubicándose por encima de 0.78. Por otra parte, los valores de la varianza total explicada y la desviación estándar del REOF1, tiende a presentar valores similares y una menor desviación respecto al NCEP, que respecto al HadSLP2, donde la varianza total explicada por la mayoría de los modelos tiende a estar por encima, mientras que los valores de la desviación estándar por debajo.

Los máximos coeficientes de correlación entre los patrones simulados y el del reanálisis del NCEP para el REOF1, lo encabeza el modelo (m) CNRM-CM5, con una de correlación de 0.961 y desviación estándar de 0.35, presentando además el menor RMS con un valor de 0.098. Le siguen los modelos (l) CMCC-CMS y el (D) HadGEM2-CC, con altos coeficientes de correlación (0.960 y 0.959, respectivamente), y bajos RMS (0.1 para ambos). Por el contrario, los coeficientes de correlación más bajos los presentan los modelos (E) IPSL-CM5A-LR y (g) CESM1(CAM5), con valores de 0.75 y 0.74, respectivamente, además, presentando un 5% más en la varianza explicada, y una menor desviación estándar, más evidente incluso en el caso del modelo (E) IPSL-CM5A-LR. La comparación con el REOF1

de la SLP del HadSLP2 (Fig. 4), muestra el menor RMS para el modelo (l) CMCC-CMS, con un valor de 0.113, presentando este GCM también el máximo coeficiente de correlación (0.953), y una desviación estándar del campo simulado de 0.358, ligeramente menor respecto al observado. El máximo RMS y el menor coeficiente de correlación (0.645) lo presenta el modelo (y) GISS-E2-R.

Los coeficientes de correlación entre los patrones espaciales de variabilidad del REOF2 de la SLP simulada y observada en la zona del Pacífico ecuatorial, presentan valores ligeramente superiores, tanto para el NCEP como para el HadSLP2 en mayor medida. Los máximas correlaciones entre las simulaciones y las observaciones se dan para los modelos (u) GFDL-ESM2G, (b) ACCESS1.3, (p) FGOALS-g2 y (L) MPI-ESM-P, con valores de 0.96, y los mínimos el (r) FIO-ESM con un valor de 0.78. En cambio, para el HadSLP2 los mayores coeficientes de correlación los presentan los modelos (C) HadGEM2-ES, con un valor de 0.97, y (c) BCC-CSM1.1, (m) CNRM-CM5, (F) IPSL-CM5A-MR, (v) GFDL-ESM2M, (b) ACCESS1.3, (s) GFDL-CM2.1, (L) MPI-ESM-P, y (q) FGOALS-s2, con valores de 0.95; el valor mínimo de correlación, se obtiene para el (M) MRI-CGCM3, con un valor de 0.78.

Para este REOF2, la mayoría de los modelos presentan valores inferiores en la varianza total explicada respecto al campo espacial observado de la SLP del NCEP, al igual que la desviación estándar, con excepción del (v) GFDL-ESM2M, que a pesar de tener menor varianza explicada en un 15.78% frente a un 17.31% en los datos de reanálisis, presenta valores superiores en la desviación estándar.

4. CONCLUSIONES

Este estudio evalúa la capacidad de 40 modelos del CMIP5 para reproducir los dos primeros modos de variabilidad de las anomalías mensuales de la SLP en el Pacífico tropical de los datos de reanálisis del NCEP-NCAR y de los observacionales HadSLP2, durante el periodo comprendido entre 1950 y 2004. Estos modos se han caracterizado a partir de los dos primeros EOFs rotados. Para comparar de una forma cuantitativa la habilidad de los modelos climáticos globales a la hora de simular estos patrones principales de variabilidad, se ha utilizado el diagrama de Taylor, que proporciona una forma gráfica de resumir la proximidad entre un patrón (o conjunto de patrones) y el patrón espacial correspondiente a las observaciones. La similitud entre dos patrones se ha cuantificado conjuntamente en términos de su coeficiente de correlación, la razón entre la desviación estándar modelada y observada y el error cuadrático medio entre el modelo y las observaciones.

Los resultados muestran que la mayoría de los modelos tienden hacer una buena representación de los dos primeros modos de variabilidad. En general, casi todos los modelos exhiben valores superiores de la varianza total explicada por primer modo de variabilidad respecto al obtenido en ambas bases de datos de reanálisis y observacional, mientras que el segundo tiene a presentar valores más parecidos a los obtenidos a partir de estas bases. Para la mayoría de los modelos la correlación espacial entre sus REOF2s y las bases observacionales presentan valores por encima de 0.9, mientras que para el REOF1, un número elevado de los modelos presentan valores de estas correlaciones por debajo de 0.9, aunque una gran mayoría se mantienen por encima de 0.8. De manera análoga existe una mayor dispersión en los valores de RMSE para los primeros REOFs de los modelos que para los REOF2, estando en cualquier caso acotados entre 0.25 y 0.1.

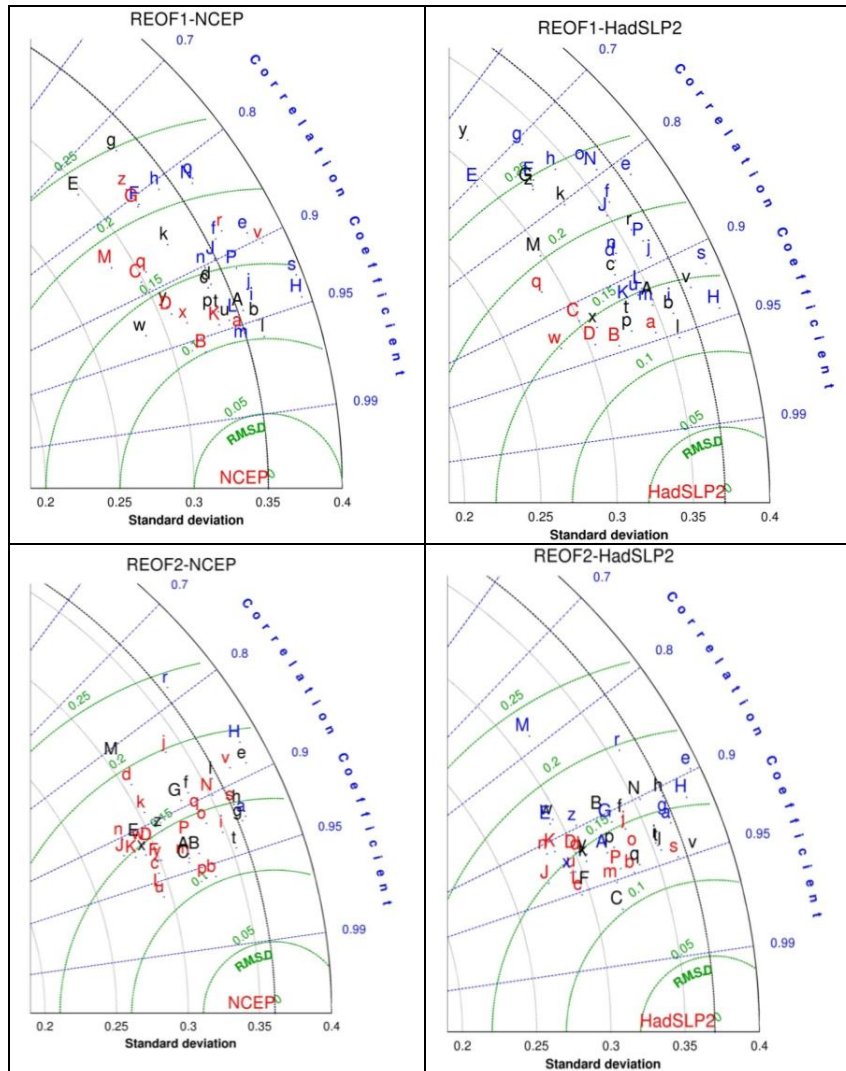


Fig. 4: Diagramas de Taylor para la comparación de los modos de variabilidad principales, REOF1 y REOF2, obtenidos del PCA de los datos de SLP de reanálisis del NCEP y observacionales del HadSLP2, y de los modelos. a) ACCESS1.0, b) ACCESS1.3, c) BCC-CSM1.1, d) BCC-CSM1.1(m), e) CCSM4, f) CESM1(BGC), g) CESM1(CAM5), h) CESM1(FASTCHEM), i) CESM1(WACCM), j) CMCC-CESM, k) CMCC-CM, l) CMCC-CMS, m) CNRM-CM5, n) CSIRO-Mk3.6.0, o) CanESM2, p) FGOALS-g2, q) FGOALS-s2, r) FIO-ESM, s) GFDL-CM2.1, t) GFDL-CM3, u) GFDL-ESM2G, v) GFDL-ESM2M, w) GISS-E2-H, x) GISS-E2-H-CC, y) GISS-E2-R, z) GISS-E2-R-CC, A) HadCM3, B) HadGEM2-AO, C) HadGEM2-CC, D) HadGEM2-ES, E) IPSL-CM5A-LR, F) IPSL-CM5A-MR, G) IPSL-CM5B-LR, H) MIROC5, J) MPI-ESM-LR, K) MPI-ESM-MR, L) MPI-ESM-P, M) MRI-CGCM3, N) NorESM1-M, P) NorESM1-ME.

Los resultados de este análisis deberían ser tenidos en cuenta al aplicar estos modelos para obtener proyecciones regionales climáticas en áreas de América Central y del Sur, donde la precipitación es muy sensible a estos patrones de variabilidad. La capacidad de los modelos para reproducir los modos principales de variabilidad de la SLP supera con creces la que presentan en la simulación de otras variables, como es el caso de la precipitación, haciendo posible su utilización en modelos de *downscaling* estadístico que usan la SLP predictor.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Univ. Tecnológica de Chocó y COLCIENCIAS-Colombia por las becas concedidas a R. Palomino-Lemus y S. Córdoba-Machado. Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos CGL2010-21188/CLI (MICINN, FEDER) y P11-RNM-7941 (Junta de Andalucía).

6. BIBLIOGRAFIA

- Allan, R.J. and Ansell, T.J. (2006). “A new globally complete monthly historical gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850–2004”. *J. Climate*, 19, 5816–5842.
- Benestad, R. E. (2004). “Tentative probabilistic temperature scenarios for northern Europe”. *Tellus, Ser. A.*, 56(2), 89.
- Diaz, H.F. and Markgraf, V. (2000). *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Its Impacts on Natural Ecosystems and Society*. Cambridge University Press, 496 pp.
- Casado, M.J. and Pastor M.A. (2012). “Use of variability modes to evaluate AR4 climate models over the Euro-Atlantic region”. *Clim. Dynam.*, 38, 225-237.
- Chang, P.; Zhang, L.; Saravanan, R.; Vimont, D.J.; Chiang, J.C.H.; Ji, L.; Seidel, H. and Tippett, M.K. (2007). “Pacific meridional mode and El Niño–Southern Oscillation”. *Geophys. Res. Lett.*, 34 DOI:10.1029/2007GL030302.
- Covey, C.; Abe-Ouchi, A.; Boer, G.J.; Boville, B.A.; Cubasch, U.; Fairhead, L.; Flato, G.M.; Gordon H.; Guilyardi, E.; Jiang, X.; Johns, T.C.; Le Treut, H.; Madec, G.; Meehl, G.A.; Miller, R.; Noda, A.; Power, S.B.; Roeckner, E.; Russel, G.; Schneider, E.K.; Stouffer, R.J.; Terray, L. and von Storch, J.-S. (2000). “The seasonal cycle in coupled ocean-atmosphere general circulation models”. *Clim. Dynam.* 16,775–787.
- Frost, A.J.; Charles, S.P.; Timbal, B.; Chiew, F.H.S.; Mehrotra, R.; Nguyen, K.C.; Chandler, R.E.; McGregor, J.L.; Fu, G.B. and Kirono, D.G.C. (2011). “A comparison of multi-site daily rainfall downscaling techniques under Australia conditions”. *J. Hydrol.*, 408:1–18.
- Jolliffe I.T. (2002). *Principal Component Analysis*, 2nd edition. Springer-Verlag.
- Kalnay, E. and Coauthors, (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Kim, D.; Sobel, A.H.; Del Genio, A.; Chen, Y.-H.; Camargo, S.J.; Yao, M.-S.; Kelley, M. and Nazarenko, L. (2012). “The tropical subseasonal variability simulated in the NASA GISS general circulation model”. *J. Climate*, 25, 4641-4659,
- Lohmann, U.; Rotstayn, L.; Storelvmo, T.; Jones, A.; Menon, S.; Quaas, J.; Ekman, A.M.L.; Koch, D. and Ruedy, R. (2010). “Total aerosol effect: radiative forcing or radiative flux perturbation?”. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3235-3246,
- Nieto, S. and Rodríguez-Puebla, C. (2006). “Comparison of precipitation from observed data and general circulation models over the Iberian Peninsula”. *J. Climate*, 19:4254–4275.
- Hannachi, A.; Jolliffe, I.T.; Stephenson, D.B. and Trendafilov, N. (2006). “In search of simple structures in climate: simplifying EOFs”. *Int. J. Climatol.*, 26: 7–28.
- North, G.R.; Bell, T.L.; Cahalan, R.F. and Moeng, F.J. (1982). “Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions”. *Mon. Weather Rev.*, 110: 699–706.
- Philander, S.G.H., (1989). “El Niño and La Niña”. *American Scientist*, 77, 451-460.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J. and Meehl, G.A. (2009). A summary of the CMIP5 experiment design. PCDMI Rep., 33 pp.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J. and Meehl, G.A. (2012). “An overview of CMIP5 and the experiment design”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485–498.
- Su, Fengge, Xiaolan Duan, Deliang Chen, Zhenchun Hao, Lan Cuo, (2013). “Evaluation of the global climate models in the cmip5 over the tibetan plateau”. *J. Climate*, 26, 3187–3208.