

EVALUACIÓN DE LAS PREDICCIONES CLIMÁTICAS DECENALES DEL MODELO MIROC6 (*MODEL FOR INTERDISCIPLINARY RESEARCH ON CLIMATE*) EN AMÉRICA TROPICAL

Yenny Marcela TORO ORTIZ¹, Matilde GARCÍA-VALDECASAS OJEDA^{1,3},
Nicolas TACORONTE¹, Juan José ROSA-CÁNOVAS^{1,3}, Reiner PALOMINO
LEMUS², Yolanda CASTRO-DÍEZ^{1,3}, Sonia R. GÁMIZ-FORTIS^{1,3} y María Jesús
ESTEBAN-PARRA^{1,3}

¹Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Granada, España

²Centro de Investigación de Energías Renovables y Meteorología. Universidad
Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”

³Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía
(IISTA-CEAMA), Granada, España

yenmartoro@correo.ugr.es, esteban@ugr.es

RESUMEN

Este estudio se enfoca en la evaluación de las predicciones climáticas decenales del modelo MIROC6 en América Tropical, una región de gran variabilidad climática, influenciada por fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Se han analizado las variables precipitación (pr) y temperatura superficial del mar (SST), claves para entender el ciclo hidrológico y los patrones climáticos en la región.

El estudio ha utilizado las bases de datos observacionales del GPCC para la precipitación y el ERSSTv5 para la SST, comparando las simulaciones del modelo MIROC6 con estas bases de datos, sin y con la aplicación del método de corrección de sesgo basado en las condiciones iniciales (ICDC). Esta corrección reduce los errores sistemáticos del modelo para mejorar la precisión de las predicciones.

Los resultados muestran que la corrección de sesgo suaviza las diferencias entre las observaciones y las simulaciones, especialmente para la SST en las zonas cercanas a la costa del Pacífico. En cuanto a la precipitación, se observa que el modelo tiende a subestimar en algunas áreas, como la Amazonía. El análisis de correlación revela que la corrección de sesgo mejora las predicciones a corto y largo plazo, aunque no corrige completamente las correlaciones. La investigación concluye que la corrección de sesgo es útil para mejorar la precisión de las predicciones decenales de los campos medios, pero su impacto en las correlaciones es limitado.

Palabras clave: Predicciones climáticas decenales, Corrección de sesgo, Cambio climático, América Tropical, Modelo MIROC6.

ABSTRACT

This study focuses on the evaluation of decadal predictions of the MIROC6 model in Tropical America, a region with high climate variability influenced by phenomena such as El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). The variables of precipitation (pr) and sea surface temperature (SST) have been analysed, which are key variables to understanding the hydrological cycle and atmospheric patterns.

The study has used the observational databases GPCC for precipitation and ERSSTv5 for SST, comparing MIROC6 simulations with these datasets, before and after applying the bias correction method of the initial condition-based drift correction (ICDC). This correction reduces the model's systematic errors to improve the accuracy of predictions.

The results show that bias correction smooths the differences between observations and simulations, particularly in areas near the Pacific coast. Regarding precipitation, the model underestimates values in some areas, such as the Amazon. The correlation analysis reveals that bias correction improves predictions in both the short and long term, though it does not fully correct the correlations. The research concludes that bias correction is useful for improving the accuracy of mean fields from decadal predictions, but its impact on correlations is limited.

Key words: Decadal predictions, Bias correction, Climate change, Tropical America, MIROC6 model.

1. INTRODUCCIÓN

La predicción climática decenal se ha convertido en una herramienta esencial para comprender mejor la variabilidad climática y la relación que existe con los cambios antropogénicos a corto plazo. Las predicciones decenales ofrecen información útil para una variedad de sectores socioeconómicos, como la agricultura, la gestión de recursos hídricos y la planificación energética (Meehl et al., 2009). Las predicciones decenales permiten anticipar cambios en las condiciones climáticas de uno a diez años, lo que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático a corto plazo (Boer et al., 2016).

En el marco del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6), se estudiaron diferentes modelos climáticos, evaluando su capacidad predictiva en distintas escalas temporales y espaciales (Eyring et al. 2016). Bajo esta iniciativa, se obtuvieron simulaciones climáticas retrospectivas a partir de diversos modelos climáticos, con el fin de comparar las predicciones simuladas con datos observacionales. Esto es importante para calibrar los modelos y validar la fiabilidad de las predicciones climáticas (Kirtman et al., 2013).

El presente estudio se centra en la evaluación de las predicciones decenales para el *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC6), tomando un enfoque particular para las variables precipitación (pr) y temperatura de la superficie del mar (SST) en la región de América tropical. Se toman estas variables ya que la precipitación es una variable climática crucial para estudiar y entender, por ejemplo, el ciclo hidrológico y los posibles impactos de los cambios en esta variable en la

región de estudio. Por otra parte, la SST es un indicador clave para realizar predicciones, ya que esta afecta los patrones de circulación de la atmósfera y, por consiguiente, a la distribución global de la precipitación (Deser et al., 2010).

2. MÉTODOS

2.1 Área de estudio.

El área de estudio seleccionada es América Tropical comprendida entre los 30°N y 30°S 154°W y -30°E. En esta región la interacción entre la atmósfera y el océano desempeña un papel crucial en la distribución de la precipitación y en la SST. Además, una de las principales características de esta región es la inclusión de la ZCIT, con un efecto directo sobre los patrones de lluvia en América Tropical (Poveda et al., 2006). El fenómeno del ENSO, ejerce una influencia significativa sobre el clima de la región (Giannini et al., 2004). Los patrones oceánicos y atmosféricos modulan la ocurrencia de eventos extremos como sequías o lluvias intensas los cuales afectan la agricultura, la biodiversidad y otros factores (Marengo et al. 2012).

2.2. Base de datos

Para esta evaluación se usaron dos bases de datos observacionales. Para la pr se emplearon los datos del “*Global Precipitation Climatology Centre*” (GPCC), que proporciona datos mensuales de precipitación, con una resolución espacial de 0, 25°. Esta base de datos presenta una alta calidad y cobertura (Schneider et al. 2016) en la región de estudio. Por otro lado, para la SST, se utilizó la base de datos “*Extended Reconstructed Sea Surface Temperature*” versión 5 (ERSSTv5), desarrollada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Esta base de datos contiene los valores mensuales hasta el presente, ofrece una resolución espacial de 2°, lo que resulta adecuado para analizar las fluctuaciones en la temperatura del océano a escala global y regional (Huang et al. 2017). Para ambas bases de datos observacionales se tomó el periodo de tiempo comprendido entre 1960 y 2011.

En cuanto a las predicciones decenales del modelo MIROC6, se obtuvieron 52 décadas de datos mensuales, la primera de ellas inicializada en 1960 y extendiéndose hasta la última década inicializada en 2011, con una resolución espacial de 1°. La base de datos comprende ocho miembros, obteniéndose la media del ensemble, tanto para la pr como para la SST. Este modelo ha sido ampliamente empleado en estudios de predicciones climáticas debido a su capacidad de reproducir las variaciones climáticas decenales (Tatebe et al. 2019).

2.3. Metodología

La corrección de sesgo se implementa para reducir los errores sistemáticos inherentes a los modelos climáticos y mejorar la exactitud de las predicciones (Hawkins et al. 2011). En este trabajo se ha implementado el método de corrección de sesgo basado en las condiciones iniciales conocido como “*initial condition-based drift correction*” (ICDC), siguiendo la metodología de (Choudhury et al. 2017).

La corrección de sesgo ICDC, basada en condiciones iniciales, permite reducir la deriva (*drift*) en las predicciones climáticas decenales. Este enfoque ha sido diseñado para minimizar las discrepancias sistemáticas entre las simulaciones del modelo

MIROC6 y los datos observacionales, las cuales suelen originarse por inexactitudes en las condiciones iniciales o en la representación de procesos físicos dentro del modelo. La corrección se basa en la comparación entre las condiciones iniciales simuladas y las observaciones reales, modificando las predicciones del modelo en función de los errores observados en los primeros pasos de la simulación, bajo la premisa de que dichos errores iniciales contribuyen a la deriva que se acumula con el tiempo. Esta corrección de sesgo se ha aplicado tanto a la pr como a la SST.

Una vez aplicada la corrección de sesgo, se ha evaluado el impacto de usar esta metodología mediante la comparación de datos corregidos y sin corregir. Dicha comparación se realiza en términos de campos medios y correlaciones entre las variables observadas y simuladas. La evaluación se ha llevado a cabo en tres ventanas temporales: tomando la media del primer año de simulación de cada una de las décadas, la media de los primeros cuatro años y la media de la década completa.

El análisis de los campos medios se centra en comparar los campos medios de las variables pr y SST de los datos simulados y observados en cada intervalo temporal, lo que permite identificar la magnitud de la corrección de sesgo aplicada y cómo afecta la exactitud de las simulaciones. La significación estadística de las diferencias obtenidas se evaluó con el estadístico de la t de Student. Para evaluar la correlación entre los datos simulados y observados, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, analizando los resultados a un nivel de confianza del 95 %, para ambos casos. La evaluación de los primeros cuatro años es particularmente importante para entender cómo la corrección de sesgo afecta la predicción a corto plazo, mientras que el análisis de la década completa nos ofrece una visión más general del rendimiento del modelo a largo plazo.

3. RESULTADOS

La Fig. 1 muestra las diferencias entre los campos medios de la SST observados y simulados antes de aplicar la corrección de sesgo, en escala anual y para las estaciones boreales de invierno (DJF) y verano (JJA), en las tres ventanas de tiempo analizadas. Como se puede observar, aparecen marcadas diferencias significativas en todos los casos. El modelo subestima la SST en más de 2°C al noroeste de la región analizada de forma general. Aparece también una subestimación significativa en el Pacífico Ecuatorial, muy marcada (superior a 2°C) para la ventana de 1 año durante el invierno, época del año que muestra zonas más extensas y con mayores subestimaciones. Por otro lado, los datos observacionales presentan valores más bajos que los modelados en una amplia zona junto a la costa pacífica de América del Sur, que aparece también de forma menos extensa junto a California e Indonesia. Esta sobreestimación del modelo, que alcanza valores de más de 2°C es más relevante durante el verano llegando a extenderse sobre un área mayor sobre el Pacífico sur y ecuatorial.

La Fig. 2 muestra las diferencias de los campos medios entre los datos observacionales de la SST y los del modelo tras ser corregidos en sesgo. Se observa de manera general que estas diferencias son más pequeñas que en el caso de usar el modelo sin corregir, con amplias zonas sin significación estadística. Esto indica que la corrección de sesgo logra reducir considerablemente las diferencias entre las observaciones y el modelo. Las áreas con diferencias significativas, como las regiones cerca de la costa del

Pacífico de América del Sur y Central y el Pacífico ecuatorial, presentan valores más bajos, inferiores a un 1°C , comparados con los obtenidos sin la corrección de sesgo (Fig. 1). En general durante JJA aparecen mayores áreas con diferencias significativas en las que el modelo presenta una sobreestimación de la SST en torno a 0.5°C .

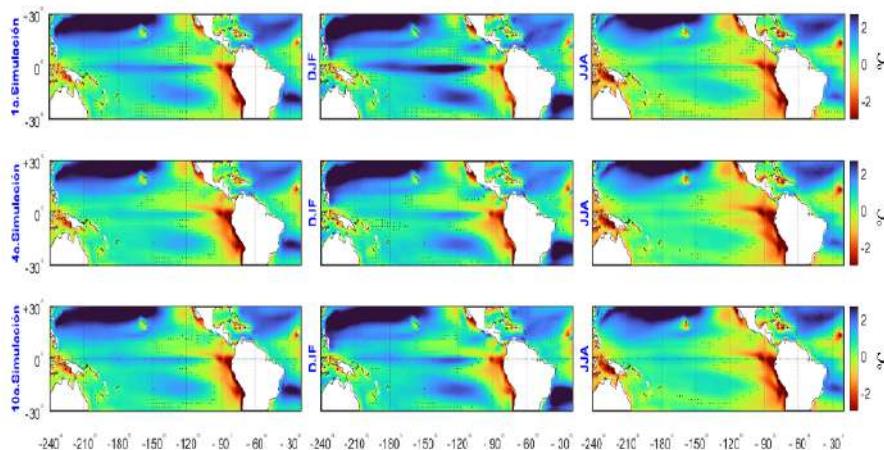


Fig. 1. Diferencias (en $^{\circ}\text{C}$) entre los campos medios de la SST observacional y del modelo MIROC6 sin corrección de sesgo para tres ventanas de tiempo (primer año de simulación, cuatro primeros años de simulación y diez años de simulación). En la primera columna se muestran las diferencias para los promedios anuales en las respectivas ventanas de tiempo, en la segunda columna las diferencias en el invierno (DJF) y en la tercera columna las diferencias para el verano (JJA). El punteado indica que las diferencias no son significativas al nivel de confianza del 95 %.

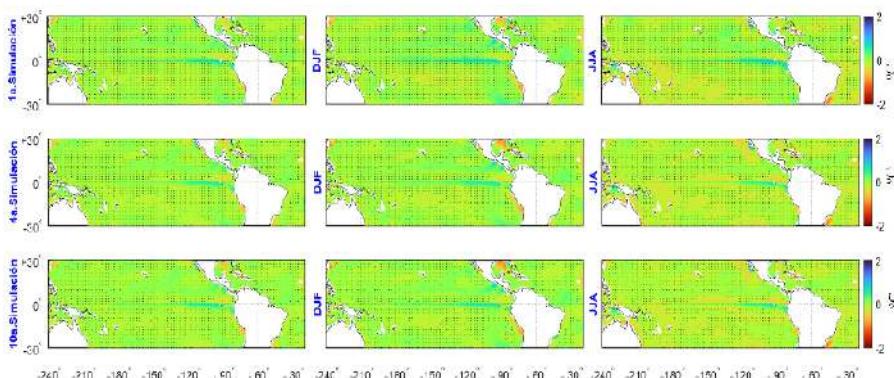


Fig. 2. Como la Fig. 1 pero mostrando las diferencias entre las observaciones y el modelo con la corrección de sesgo para la SST.

De forma análoga a la Fig. 1, la Fig. 3 muestra las diferencias entre los campos medios de precipitación (en mm/mes) observados y simulados por el modelo MIROC6 sin corregir. Para el promedio del primer año de simulación, tienden a parecer diferencias más marcadas, sobre todo en JJA, donde se aprecia tanto sobreestimaciones como subestimaciones significativas de más de 150 mm/mes en gran parte de México junto con noroeste de Sudamérica, y de la región amazónica, respectivamente.

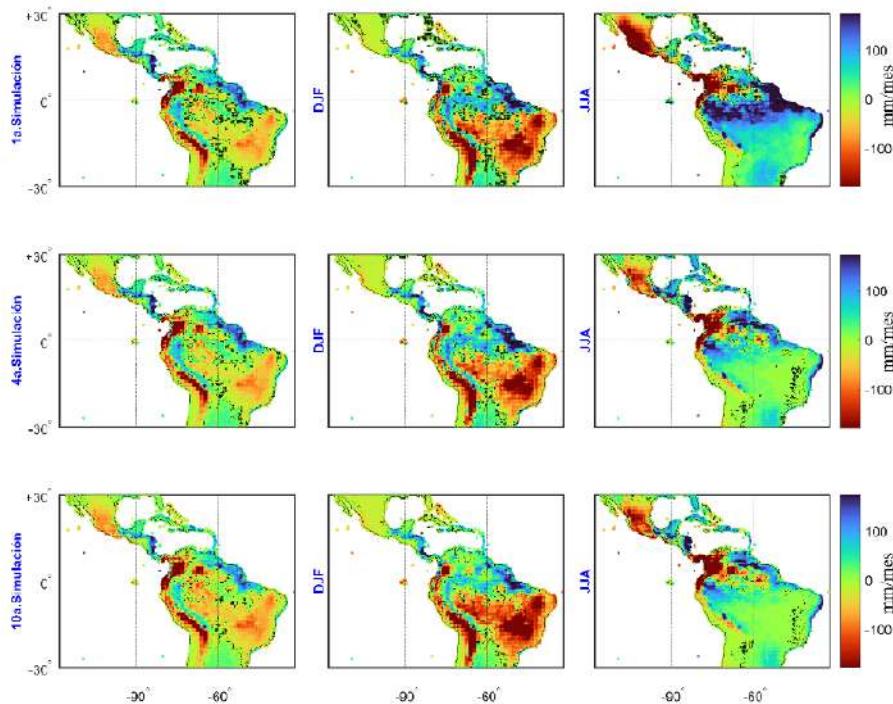


Fig. 3. Diferencias entre los campos medios para la precipitación del GPCC (observacional) y del modelo MIROC6 sin corrección de sesgo para tres ventanas de tiempo (primer año de simulación, cuatro primeros años de simulación y diez años de simulación). En la primera columna se muestra las diferencias para los promedios anuales en las respectivas ventanas de tiempo, en la segunda columna el invierno (DJF) y en la tercera columna para el verano (JJA). El punteado indica que las diferencias no son significativas al nivel de confianza del 95 %.

Durante la estación DJF predominan las sobreestimaciones significativas en gran parte de América del Sur, sobre todo en la región andina y este de Brasil, mientras que las observaciones muestran valores sustancialmente más altos que el modelo en el noreste de América del Sur, y en zonas de Centroamérica. En los promedios tanto para los cuatro primeros años de simulación como de las décadas completas, los cambios más remarcables aparecen para la estación de JJA, siendo las áreas con elevadas diferencias más reducidas y con valores más bajos que para los promedios durante el primer año simulado. Es también destacable cómo en las diferencias en los promedios

anuales, el modelo sobreestima sustancialmente en toda la región andina (más de 150 mm/mes), con un comportamiento similar en las tres ventanas temporales. La Fig. 4 presenta las diferencias entre los promedios de precipitación observados y los modelados con la corrección de sesgo. Aumentan las áreas con diferencias no son significativas, con valores en muchas zonas cercanos a cero, aunque aún persisten regiones con elevadas desviaciones, como es la elevada precipitación simulada en gran parte de la región andina sobre todo en DJF y con una menor extensión en Ecuador y Colombia en JJA. Resulta llamativo que en los promedios del primer año de simulación durante JJA, el efecto de la corrección de sesgo sea más limitado que en los promedios anuales y de DJF y en las otras ventanas temporales analizadas, con una reducción más pequeña de las zonas con grandes desviaciones en el modelo sin corregir, manteniendo así la subestimación de la precipitación del modelo en la región amazónica oriental y la sobreestimación sobre áreas en México y Colombia.

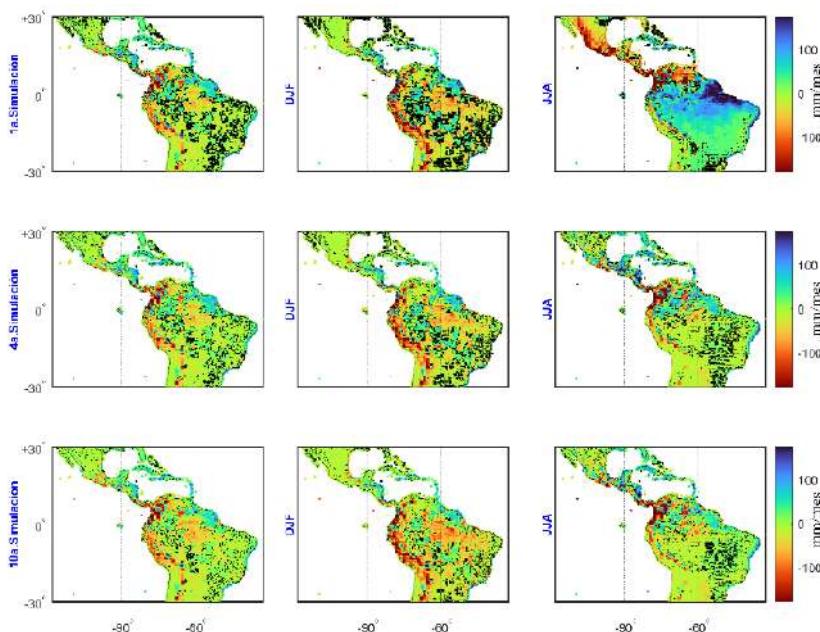
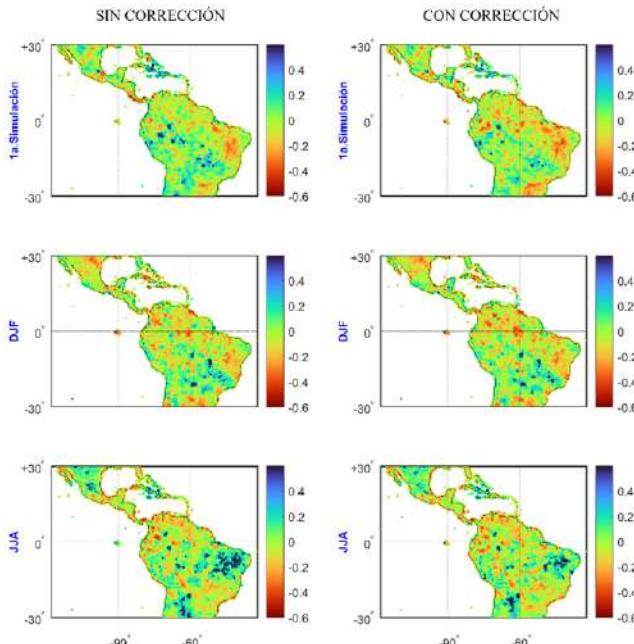


Fig. 4. Como la Fig. 3 pero mostrando las diferencias entre las observaciones y las simulaciones del modelo MIROC6 con la corrección de sesgo para la precipitación.



La representación de los coeficientes de correlación para los promedios anual y estacional de la SST entre los datos observados y los simulados por el modelo MIROC6 en el primer año de simulación, sin y con corrección de sesgo. Como puede apreciarse la diferencia en la aplicación de esta corrección es muy limitada, con resultados muy parecidos. Destaca los elevados valores de correlación positiva en la zona del Pacífico ecuatorial, región donde se desarrolla el ENSO, durante DJF. Las correlaciones son más débiles durante el verano, apareciendo zonas de correlación negativa entre el modelo y las observaciones, si bien estas suelen ser no significativas.

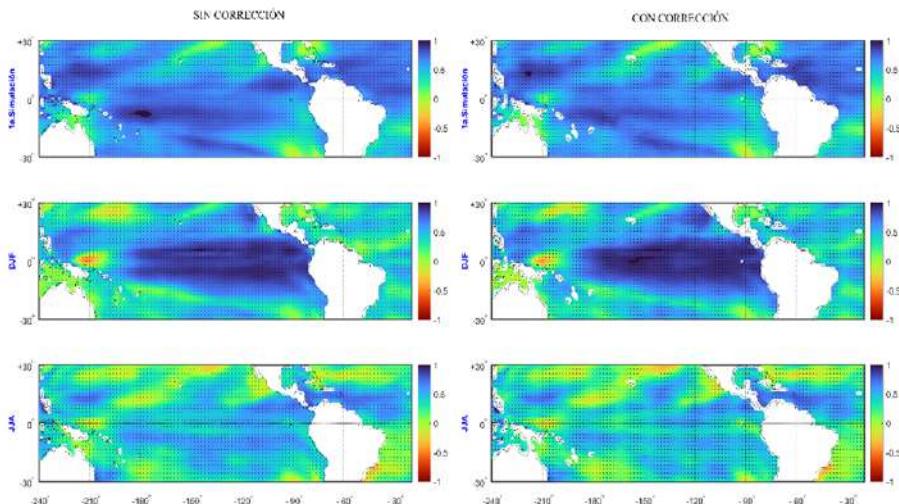


Fig. 5. Correlaciones entre los promedios anuales (primera fila), de DJF (segunda fila) y de JJA (tercera fila) de los datos observacionales del ERSSTv5 y las simulaciones del modelo MIROC6 para la SST tanto sin corrección de sesgo (primera columna) como con corrección de sesgo (segunda columna) para la ventana del primer año de simulación. El punteado indica que la correlación es significativa al nivel de confianza del 95 %.

Al igual que la figura anterior, la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los coeficientes de correlación para los promedios anual y estacional de la precipitación observada y simulada por el modelo MIROC6 en el primer año de simulación, sin y con corrección de sesgo. De nuevo el impacto de la corrección de sesgo es pequeño. En ambos casos, las correlaciones son modestas, con valores incluso significativamente negativos en amplias zonas, como puede observarse en la parte más oriental de Brasil para los datos anuales y de DJF, mientras que las correlaciones significativas positivas aparecen de forma dispersa, sobre todo al sur de Brasil y Paraguay. La estación de JJA es la que presenta mayores áreas con correlaciones positivas significativas en el este de Brasil, norte de Argentina, islas del Caribe y zonas más dispersas en México y al oeste de Sudamérica. Es interesante comentar que, en esta estación del año, la corrección de sesgo tiende a empeorar ligeramente los resultados, con un menor tamaño de las áreas con correlaciones positivas significativas.

4. DISCUSIÓN

El método de corrección de sesgo ICDC reduce claramente las diferencias entre los datos observacionales y las simulaciones del modelo MIROC6 para SST especialmente en las zonas cercanas a la costa del Pacífico y en regiones tropicales. Similar conclusión puede obtenerse para la precipitación, si bien para las diferencias en verano presentan aún valores altos sobre todo en el promedio del primer año simulado de cada década. Sin embargo, este procedimiento de corrección de sesgo de

las predicciones climáticas decenales no supone una mejora en la estructura temporal de estas predicciones. El modelo MIROC6 tanto con corrección como sin ella, parece simular adecuadamente la SST en el primer año de simulación sobre todo en DJF, pero presenta sustanciales limitaciones para la precipitación.

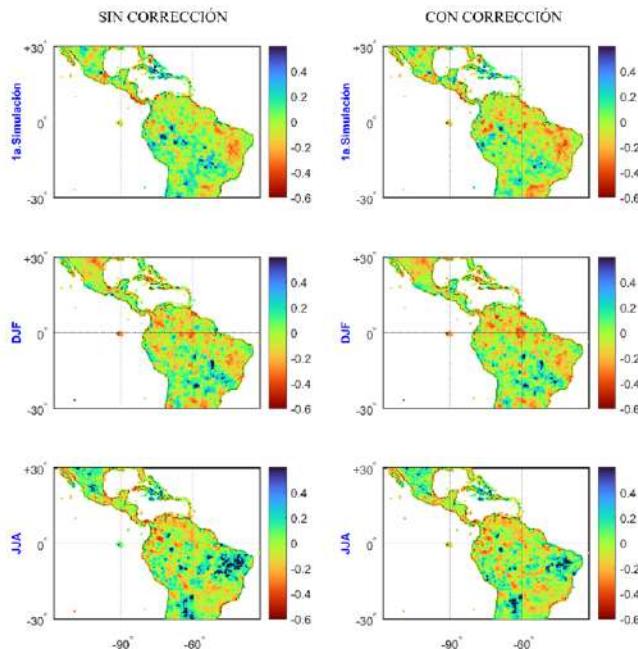


Fig. 6. Como la Fig. 5 mostrado las correlaciones entre los datos observacionales y simulados por el modelo MIROC6 para la precipitación.

AGRADECIMIENTOS

Financiación: Este trabajo se ha realizado dentro del marco del proyecto PID2021. 126401OB.I00. financiado por MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. Y.M. Toro Ortiz agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia por la beca para doctorados en el exterior núm. 860.

REFERENCIAS

Boer, G. J., Smith, D. M., Cassou, C., Doblas-Reyes, F., Danabasoglu, G., Kirtman, B., Kushnir, Y., Kimoto, M., Meehl, G. A., & Msadek, R. (2016). The Decadal Climate Prediction Project (DCPP) Contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(10), 3751–3777.

Deser, C., Alexander, M. A., Xie, S.-P., & Phillips, A. S. (2010). Sea Surface Temperature Variability: Patterns and Mechanisms. *Annual Review of Marine Science*, 2(1), 115–143.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) Experimental Design and Organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

Giannini, A., SaChoudhury, R., Sen Gupta, D., Sharma, A., Mehrotra, R., & Sivakumar, B. (2017). An Assessment of Drift Correction Alternatives for CMIP5 Decadal Predictions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(19), 10,210–282,296. doi: <https://doi.org/10.1002/2017JD026900>

Hawkins, E., Robson, J., Sutton, R., Smith, D., & Keenlyside, N. (2011). Evaluating the Potential for Statistical Decadal Predictions of Sea Surface Temperatures with a Perfect Model Approach. *Climate Dynamics*, 37, 2495–2509.

Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & Zhang, H.-M. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179–8205. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, A. J., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblas-Reyes, F., Fiore, A. M., Kimoto, M., & Meehl, G. (2013). Near-Term Climate Change: Projections and Predictability.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, W. R., Alves, L. M., & Nobre, C. A. (2012). Extreme Climatic Events in the Amazon Basin: Climatological and Hydrological Context of Recent Floods. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1), 73–85.

Meehl, G. A., Goddard, L., Murphy, J., Stouffer, R. J., Boer, G., Danabasoglu, G., Dixon, K., Giorgi, M. A., Greene, A. M., Hawkins, E., Hegerl, G., Karoly, D., Keenlyside, N., Kimoto, M., Kirtman, B., Navarra, A., Pulwarty, R., Smith, D., Stammer, D., & Stockdale, T. (2009). Decadal Prediction: Can It Be Skillful? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(10), 1467–1486. doi: <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2778.1>

Poveda, G., Waylen, P. R., & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and Inter-Annual Variability of the Present Climate in Northern South America and Southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031>

Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., & Ziese, M. (2016). GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain Gauges Built on GTS Based and Historic Data.

Tatebe, H., Ogura, T., Nitta, T., Komuro, Y., Ogochi, K., Takemura, T., Sudo, K., Sekiguchi, M., Abe, M., & Saito, F. (2019). Description and Basic Evaluation of Simulated Mean State, Internal Variability, and Climate Sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, 12(7), 2727–2765.