

CAPACIDAD PREDICTIVA DE MODELOS CLIMÁTICOS PARA LA TEMPERATURA INVERNAL EN SUDAMÉRICA: ENFOQUES DINÁMICOS Y ESTADÍSTICOS.

Candela Sol Glatstein¹, Diego García Picasso¹, Marisol Osman^{1,2}
candeglatstein@gmail.com

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA)

²Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)

Palabras clave: predictibilidad, modelos climáticos, calibración

1) INTRODUCCIÓN

El pronóstico estacional de la temperatura en Sudamérica durante el invierno austral, Junio-Julio-Agosto (JJA) presenta grandes desafíos debido a la alta variabilidad climática en la región, influenciada por fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), el Dipolo del Océano Índico (IOD) y la Oscilación Anular del Sur (SAM). Los modelos de circulación general acoplados atmósfera-océano (GCMs) han demostrado ser herramientas poderosas para abordar esta incertidumbre inherente a la predicción climática, al proporcionar simulaciones que integran tanto los forzantes internos como los externos del sistema climático (Osman et al., 2016). En particular, el uso de ensambles de modelos con perturbaciones en las condiciones iniciales ha permitido capturar mejor la variabilidad climática y mejorar la precisión de las predicciones a escala regional (Coelho et al., 2018).

Los modelos pronostican parcialmente los patrones climáticos observados, especialmente en zonas de alta complejidad topográfica o donde las interacciones locales son determinantes. En este contexto, las metodologías estadísticas, como la regresión lineal múltiple (MLR, por sus siglas en inglés) y el análisis de correlación canónica (CCA), complementan los modelos dinámicos al capturar relaciones entre variables climáticas y fenómenos como el ENSO o el SAM, los cuales afectan la temperatura y otros parámetros en Sudamérica (Barnston et al., 1992).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la predictibilidad del modelo GEM5-NEMO para la temperatura a 2 metros en el trimestre Junio-Julio-Agosto (JJA) en Sudamérica, analizando la capacidad de los pronósticos generados con este modelo y compararlos con otros enfoques estadísticos. También se busca analizar el impacto del fenómeno ENSO y la aplicación de distintas técnicas de calibración.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

El modelo GEM5-NEMO perteneciente al Environment and Climate Change Canada y al proyecto North American Multi-Model Ensemble (NMME), es un pronóstico retrospectivo, acoplado atmósfera-océano que posee 10 miembros de ensamble obtenidos mediante perturbaciones isotrópicas aleatorias en la atmósfera. Se analizaron las temperaturas pronosticadas en JJA en el período 1983-2020 con condiciones iniciales del mes de mayo (plazo de pronóstico 1 mes). Para la verificación se usaron datos pertenecientes al Climate Prediction Center (CPC).

La predictibilidad del modelo se evaluó con dos métricas: la predictibilidad potencial (Pb) definida como la fracción de la señal sobre la varianza total (Osman et al., 2016) y el coeficiente de correlación de anomalías (ACC) entre cada miembro del ensamble y la media

del resto, también llamada habilidad de modelo perfecto (Lorenz, 1982) y definida en este trabajo como ACC Teórico. Este índice indica el grado de acuerdo entre los miembros del modelo. A su vez, se calculó el ACC entre la media del ensamble del modelo y la climatología de las observaciones para evaluar la habilidad (skill) del modelo para reproducir patrones climáticos observados. Estos análisis se repitieron para todos los años del período y sólo para años ENSO.

Se construyeron cinco pronósticos estadísticos determinísticos: tres mediante una MLR utilizando como predictores no locales (asociados a fenómenos remotos) a los índices Niño3.4 y el Dipole Mode Index (DMI), y dos utilizando CCA empleando la presión a nivel del mar (SLP) como predictor. En ambos casos se emplearon diferentes técnicas para generar y evaluar pronósticos de manera independiente: validación cruzada (CV), donde un año o conjunto de años es retirado y con los años restantes se construye el modelo para luego validarlo en los años retirados; y división del período total en uno de entrenamiento y otro de testeo (TT). Además, se construyeron pronósticos probabilísticos basados en terciles para cuantificar la incertidumbre de los miembros de ensamble del pronóstico dinámico. Esto se llevó a cabo mediante el conteo de la proporción de miembros del ensamble que cae en cada tercil de la distribución de la variable y realizando un ajuste Gaussiano a partir de la media y el desvío de cada ensamble.

Con el objetivo de ajustar las predicciones y reducir las discrepancias con las observaciones (Coelho et al., 2018), se calibraron los pronósticos probabilísticos y los determinísticos, aplicando una técnica de corrección local (por media y desvío) y otra no local (con CCA). Finalmente, para cuantificar la calidad de los pronósticos estudiados, se analizaron diversas métricas de verificación determinísticas: error absoluto medio (MAE), el BIAS o error sistemático, el coeficiente de correlación de Spearman (sr) y de Pearson (r); y probabilísticas: Brier Skill Score (BSS), Rank Probability Skill Score (RPSS), diagramas ROC y de confiabilidad.

3) RESULTADOS PRINCIPALES

La predictibilidad del modelo GEM5-NEMO para la temperatura en JJA muestra una fuerte dependencia regional, con mejor desempeño en zonas tropicales. La señal del modelo (Fig. 1a) es particularmente alta en el norte argentino, Paraguay y el centro de Brasil, donde también se observan

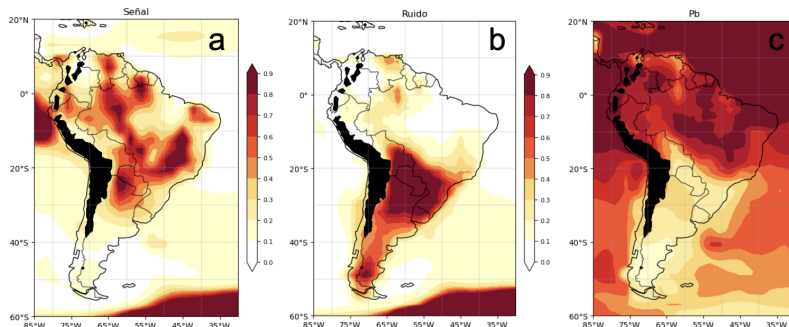


Figura 1. Medidas de predictibilidad del modelo GEM5-NEMO para JJA: **a** señal (°C); **b** ruido (°C); **c** predictibilidad potencial (Pb).

también se observan máximos de Pb (Fig. 1c), lo que indica una respuesta coherente del modelo a las condiciones iniciales. En contraste, el ruido (Fig. 1b), asociado a la variabilidad interna del ensamble, es elevado en el sur del continente, en particular en el Sudeste de Sudamérica (SESA) y la

Patagonia, reduciendo la predictibilidad en esas áreas. En cambio, regiones tropicales y oceánicas, presentan menor ruido y mayor consistencia entre miembros. Se encontró que durante años ENSO, la señal se intensifica en la región tropical del continente y en el Atlántico, incrementando la Pb y sugiriendo que el ENSO actúa como un modulador clave de la predictibilidad climática en Sudamérica.

Las métricas de verificación permitieron comparar la habilidad de los pronósticos determinísticos y probabilísticos. El MAE fue menor en los modelos estadísticos con validación cruzada (MLR CV y CCA CV), aunque la calibración del modelo dinámico —especialmente mediante CCA CV— también logró reducciones importantes del MAE, superando al modelo sin calibrar. En contraste, la calibración con CCA TT no mejoró el desempeño significativamente.

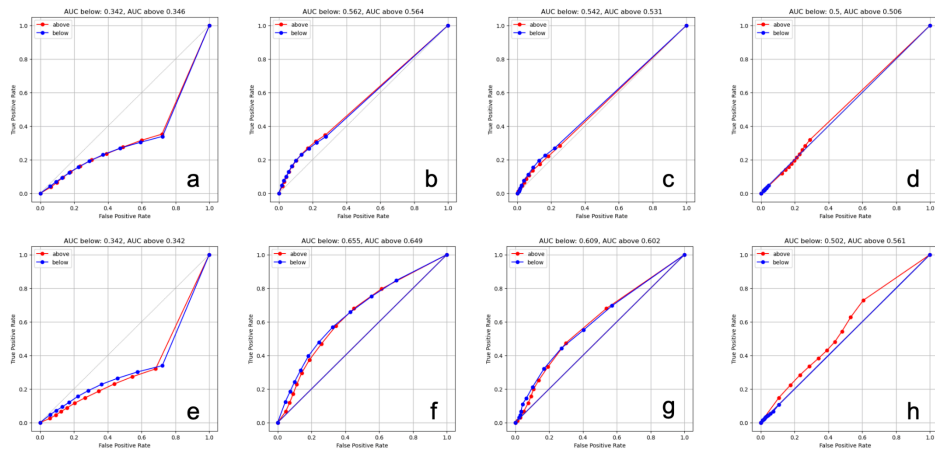


Figura 2: diagrama ROC y área ROC para el tercil inferior (azul) y superior (rojo) de los modelos dinámicos con a-d la estimación a partir de contar; e-h ajuste Gaussiano: a,e sin calibrar; b,f calibrado por media y desvío; c,g calibrado por CCA CV; d,h calibrado por CCA TT.

En términos probabilísticos, el BSS demostró que ninguna de las técnicas para construir pronósticos probabilísticos logró superar de forma consistente a la climatología, incluso tras la calibración. Sin embargo, la curva ROC (Fig. 2) indicó que la calibración mejora sustancialmente la capacidad de discriminación del modelo dinámico, y que el ajuste Gaussiano es superior al conteo directo en este aspecto. Por su parte, los diagramas de confiabilidad evidenciaron mejoras claras al calibrar el modelo dinámico, acercando la probabilidad pronosticada a la frecuencia observada, aunque sin resolver completamente las deficiencias en la resolución. Estos resultados refuerzan la necesidad de calibraciones cuidadosas y enfoques combinados para mejorar la representación de la incertidumbre en los pronósticos estacionales.

4) CONCLUSIONES

El análisis realizado demuestra que el modelo GEM5-NEMO presenta una predictibilidad razonable para la temperatura invernal en Sudamérica, con mejor desempeño en regiones tropicales y durante años ENSO. Los modelos estadísticos resultan complementarios, aunque limitados ante condiciones extremas o cambios no captados por los predictores. Calibrar el modelo dinámico, en especial mediante CCA con validación cruzada, mejora significativamente la precisión de los pronósticos determinísticos, incluso superando en algunos casos a los modelos estadísticos. Si bien los modelos probabilísticos calibrados mostraron mejoras en discriminación y confiabilidad, no lograron superar sistemáticamente a la climatología en todas las métricas. Estos resultados destacan la importancia de las técnicas de calibración y de la combinación de enfoques dinámicos y estadísticos para optimizar la calidad de los pronósticos estacionales en una región con alta complejidad climática como Sudamérica.

REFERENCIAS

- Barnston, A. G., & Ropelewski, C. F., 1992.** Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *J. Climate*, 5(11), 1316-1345.
- Coelho C, Firpo M, Andrade F., 2018.** A verification framework for South American sub-seasonal precipitation predictions. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 27, No. 6, 503–520.
- Lorenz, E. N., 1982.** Atmospheric predictability experiments with a large numerical model. *Tellus*, 34, 505–513.
- Osman, M., Vera, C.S. & Doblas-Reyes., 2016.** F.J. Predictability of the tropospheric circulation in the Southern Hemisphere from CHFP models. *Clim Dyn* 46, 2423–2434.