

# CALIBRACIONES DE PREDICCIONES ESTACIONALES DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA ARGENTINA, 1993-2016

María Mercedes Poggi<sup>1</sup>, María Laura Bettolli<sup>2</sup>,  
César Azorín-Molina<sup>3</sup>, María de los Milagros Skansi<sup>1</sup>  
[mpoggi@smn.gob.ar](mailto:mpoggi@smn.gob.ar)

<sup>1</sup>Dirección Central del Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Climate, Atmosphere and Ocean Laboratory (Climatoc-Lab), Moncada, Valencia, España.

**Palabras clave:** Observaciones, pronóstico climático, post-procesamiento.

## 1) INTRODUCCIÓN

La predicción estacional consiste en prever las condiciones climáticas medias durante un período de varios meses con una anticipación de semanas, derivando su habilidad predictiva de factores que cambian gradualmente, y cómo la atmósfera interactúa y se ve influida por dichos factores. A su vez, la predictibilidad a medio plazo de una variable específica, como la velocidad del viento, depende de la región, la estación del año, el tiempo de anticipación, el período de pronóstico y su relación con los principales modos de variabilidad.

Los Modelos de Circulación General (MCGs) son herramientas fundamentales para la predicción en esta escala temporal, ya que representan la interacción entre los distintos componentes del sistema climático. En los últimos años, las predicciones estacionales de los MCGs han experimentado avances significativos, logrando generar previsiones hábiles incluso en regiones extratropicales, donde anteriormente no mostraban habilidad sustancial (Osman y Vera, 2017). Sin embargo, todavía presentan errores sistemáticos y sus resoluciones espaciales no son lo suficientemente altas para aplicaciones prácticas. Por ello, es necesario aplicar técnicas de post-procesamiento. Entre ellas, se destacan el *bias adjustment* (BA) y el *ensemble recalibration* (RC), los cuales ajustan los pronósticos crudos de la variable de interés, para hacerlas compatibles con las observaciones históricas. Estas técnicas son menos costosas computacionalmente dado que, por ejemplo, no requieren la identificación de predictores, pudiendo ser adecuados para su uso operativo.

En Argentina, la predicción estacional de la velocidad del viento es una línea de investigación incipiente, recién explorada por Viazzo (2024). Sin embargo, aún no se han desarrollado estudios que apliquen técnicas de post-procesamiento a las predicciones estacionales de los MCGs para esta variable. Las investigaciones existentes se han centrado, principalmente, en el *downscaling estadístico y dinámico* de temperatura y precipitación (Bettolli et al., 2021). Esta temática es sumamente relevante para el sector de la energía eólica, entre otros, más aún cuando estudios como el de Torralba et al. (2017) han demostrado que las predicciones climáticas pueden aportar un valor adicional a sus aplicaciones. Frente a este contexto, los objetivos del presente trabajo son:

a) Evaluar las predicciones estacionales de MGCs que integran el Servicio de Cambio Climático de Copernicus.

b) Aplicar métodos de BA, RC y de *machine learning* (ML) para corregir las predicciones estacionales de los MGCs considerados, y evaluar su desempeño.

## 2) DATOS

Se utilizaron predicciones estacionales de velocidad de viento a 10 m provenientes de distintos MGCs, incluyendo GloSea6 de UKMO, System 8 de Météo-France, GCFS2.1 de DWD, SPS3.5 de CMCC, CPS3 de JMA, SEAS5 de ECMWF y CFSv2 de NCEP, con estos dos últimos ya habiendo sido evaluados por Viazzo (2024), pero utilizando datos del reanálisis MERRA2 como referencia. Se consideraron las predicciones con un mes de anticipación para el verano, otoño, invierno y primavera. Estas predicciones constan de un período retrospectivo común de 24 años, desde 1993 a 2016, y un número común de 10 miembros.

Se utilizaron las series mensuales de la velocidad del viento correspondientes a 86 estaciones meteorológicas convencionales de la red del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1993-2016. Estas series fueron homogeneizadas y agregadas estacionalmente, y empleadas tanto para la calibración como para la verificación de los pronósticos. Cabe destacar que las salidas de los MGCs fueron interpoladas a las ubicaciones de las estaciones, utilizando el punto de retícula más cercano.

## 3) METODOLOGÍA

Siguiendo a Manzanas et al. (2019), para la corrección de los pronósticos crudos de los MGCs se aplicaron dos métodos de BA: *mean/variance adjustment* (MVA) y *empirical quantile mapping* (EPQM); y cuatro métodos de RC: *climate conserving recalibration* (CCR), *ratio of predictable components* (RPC), *linear regression* (LM) y *non-homogeneous Gaussian regression* (NGR). Además, se incorporaron tres métodos de ML, con diferentes configuraciones: *random forest* (RF), *support vector machine* (SVM\_LIN, SVM\_RAD, SVM\_SIG) y *neural network* (NN\_LOG) y (NN\_TAN). Todos los métodos se aplicaron utilizando la validación cruzada del tipo *leave-one-year-out*.

Para la verificación, se consideraron distintas métricas: la correlación de Pearson entre las medias de los ensembles y las observaciones; el *Continuous Ranked Probability Score* y *Skill Score* (CRPS y CRPSS), el *Ranked Probability Score* y *Skill Score* (RPS y RPSS); así como el *ROC Score* y *Skill Score* (ROC, ROCSS). Cabe destacar que las métricas de CRPSS, RPSS y ROCSS permiten comparar el desempeño de los pronósticos calibrados respecto a los pronósticos crudos, indicando mejoras cuando sus valores son positivos.

## 4) RESULTADOS

La Figura 1 muestra, para el verano, el CRPS del pronóstico crudo del modelo CFSv2 de NCEP, junto con los valores de CRPSS de los pronósticos corregidos. Cabe destacar que las métricas de verificación se presentan únicamente en aquellas estaciones con correlaciones positivas y significativas con el pronóstico crudo (es decir, con “habilidad”), siguiendo lo propuesto por Manzanas et al. (2019). Se observa que predominan los valores de CRPSS superiores a 0, representados en azul, lo que sugiere que, según esta métrica, los pronósticos corregidos mediante los distintos métodos mejoran generalmente el pronóstico crudo, como consecuencia de un ajuste efectivo de los sesgos. También se advierte que los métodos de ML muestran un rendimiento inferior en ciertas localidades.

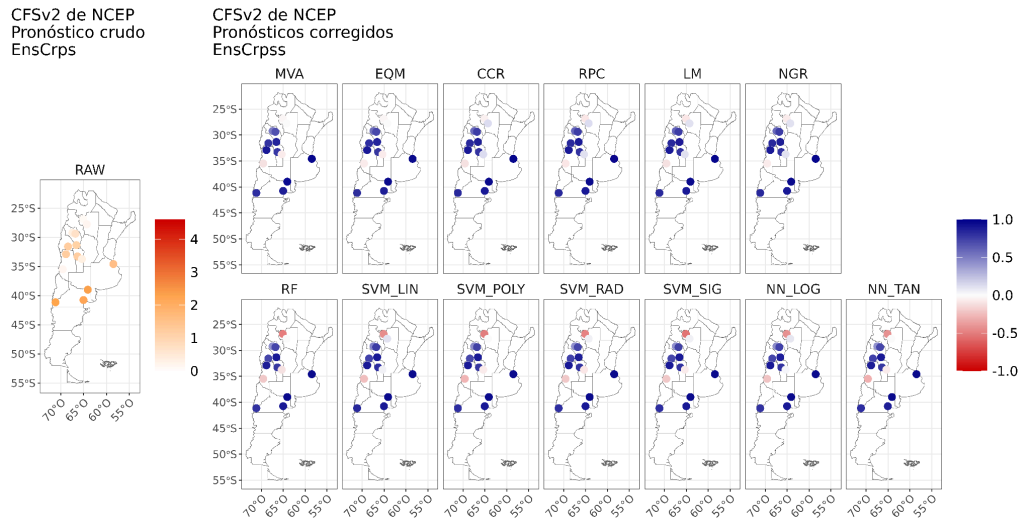


Figura 1: CRPS del pronóstico crudo del modelo CFSv2 de NCEP (izq.) y CRPS de los pronósticos corregidos (der.) para el verano.

## 5) DISCUSIÓN

Se encontró que los métodos de BA, RC y ML corrigieron eficazmente los sesgos de los pronósticos crudos. Si bien se observaron mejoras en métricas sensibles al sesgo, como el CRPS, también se registraron degradaciones en la verificación probabilística.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló en el marco del proyecto RED-CLIMA 2 (programa LINGLOBAL - CSIC, Ref. LING24042).

## REFERENCIAS

**Bettoli, M. L., Solman, S. A., Da Rocha, R. P., Llopart, M., Gutierrez, J. M., Fernández, J., ... y Cuadra, S. V., 2021:** The CORDEX Flagship Pilot Study in southeastern South America: a comparative study of statistical and dynamical downscaling models in simulating daily extreme precipitation events. *Climate Dynamics*, 56, 1589-1608.

**Manzanas, R., Gutiérrez, J. M., Bhend, J., Hemri, S., Doblas-Reyes, F. J., Torralba, V., Penalba, E., y Brookshaw, A., 2019:** Bias adjustment and ensemble recalibration methods for seasonal forecasting: A comprehensive intercomparison using the C3S dataset. *Climate Dynamics*, 53, 1287-1305.

**Osman, M. y Vera, C.S; 2017:** Climate predictability and prediction skill on seasonal time scales over South America from CHFP models. *Clim Dyn* 49, 2365–2383.

**Torralba, V., Doblas-Reyes, F. J., MacLeod, D., Christel, I., y Davis, M., 2017:** Seasonal climate prediction: a new source of information for the management of wind energy resources. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56(5), 1231-1247.

**Viazzo, C. D., 2024:** Estudio de las variaciones estacionales de la predictibilidad del viento de Argentina en escala trimestral. Tesis de Grado, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.