

PREDICTIBILIDAD Y DESEMPEÑO DE PRONÓSTICOS ESTACIONALES DE VIENTO EN ARGENTINA

Carla Viazzo¹, Emilio Bianchi², Marisol Osman^{1,3,4}
cviazzo@at.fcen.uba.ar. Autora correspondiente.

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO)

²Universidad Nacional de Río Negro (UNRN)

³Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)

⁴Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IFAECI)

Palabras clave: pronóstico estacional, modelos climáticos globales, pronósticos determinísticos, probabilidad

1) INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables se ha incrementado sostenidamente en Argentina. Entre ellas, la energía eólica es la segunda con mayor potencia instalada en el país. Esta transición energética responde tanto a compromisos ambientales como a oportunidades económicas, especialmente considerando el gran potencial eólico en regiones como la Patagonia y la Pampa (Schaube et al., 2018). Sin embargo, la intermitencia del viento en distintas escalas temporales plantea desafíos para su integración en la matriz energética, aumentando la demanda de pronósticos precisos (Guozden et al., 2020). Hasta el momento, los estudios en Argentina se han enfocado en la variabilidad de alta frecuencia (escalas micro-meteorológica y sinóptica; e.g., Waimann, 2016), sin evaluaciones realizadas para pronósticos de viento a escala estacional.

Este trabajo presenta la primera evaluación y comparación de la predictibilidad y desempeño de pronósticos estacionales de intensidad de viento en Argentina. El estudio se realiza para el trimestre de verano (Diciembre-Enero-Febrero, DEF) comparando dos sistemas de pronóstico estacionales. Se hace especial énfasis en regiones con alta densidad de parques eólicos con el objetivo de explorar el potencial de estos pronósticos en el sector energético.

2) DATOS y METODOLOGÍA

Se evalúan los ensambles de pronósticos estacionales de intensidad viento a 10 m de altura provenientes del European Center for Medium-Range Weather Forecasts, system 5 (ECMWFs5) y el Climate Forecast System, version 2 (CFSv2), emitidos con un mes de anticipación al trimestre de validez. La variable considerada es el promedio trimestral de DEF y se estudia el periodo 1994-2017.

Para verificar los pronósticos se usan datos de intensidad de viento provenientes del Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2).

La predictibilidad se evalúa mediante la correlación modelo perfecto, calculada como el coeficiente de correlación de anomalías (ACC) entre cada miembro del ensamble y el promedio de los restantes, promediando luego todas las correlaciones. La significancia estadística de esta métrica se prueba mediante un test t-student a cola derecha con un nivel de confianza del 95%.

El desempeño determinístico se analiza a partir de la media del ensamble, utilizando tres métricas: el error medio (bias), la raíz del error cuadrático medio normalizada (NRMSE) y el ACC, los dos últimos calculados usando validación cruzada con una ventana de un año:

$$BIAS = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x_t - y_t) \quad (1)$$

$$NRMSE = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x}_t - y_t + \bar{y}_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y}_t)^2}} \quad (2)$$

$$ACC = \frac{\sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x}_t) \cdot (y_t - \bar{y}_t)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y}_t)^2 \sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x}_t)^2}} \quad (3)$$

donde T es el total de años pronosticados, x_t es el valor pronosticado en el año t (la media del ensamble del año t), y_t es el valor de referencia, \bar{x}_t e \bar{y}_t representan los promedios temporales para la media del ensamble y el reanálisis, respectivamente, calculadas excluyendo el año t. El ACC es testeado con un test t-student a cola derecha con un nivel de confianza del 95%.

Además, se estudia el desempeño probabilístico en tres regiones con alta densidad de parques eólicos: el sudeste de la provincia de Buenos Aires (región 1); el noreste de la provincia de Chubut (región 2); y la costa del golfo San Jorge, entre las provincias de Chubut y Santa Cruz (región 3).

Los terciles y la mediana se estiman aplicando validación cruzada con una ventana de 3 años, definiendo las siguientes categorías de pronóstico: (i) tres categorías (inferior, normal, superior); y (ii) dos categorías (inferior y superior a la mediana). Las probabilidades se estiman como la fracción de miembros de ensamble contenidas en cada categoría.

Para evaluar el desempeño probabilístico, se utilizan curvas ROC, que permiten caracterizar la capacidad de discriminación entre aciertos (HR) y falsas alarmas (FAR), y diagramas de confiabilidad, que muestran la correspondencia entre la frecuencia observada y la probabilidad pronosticada.

4) RESULTADOS

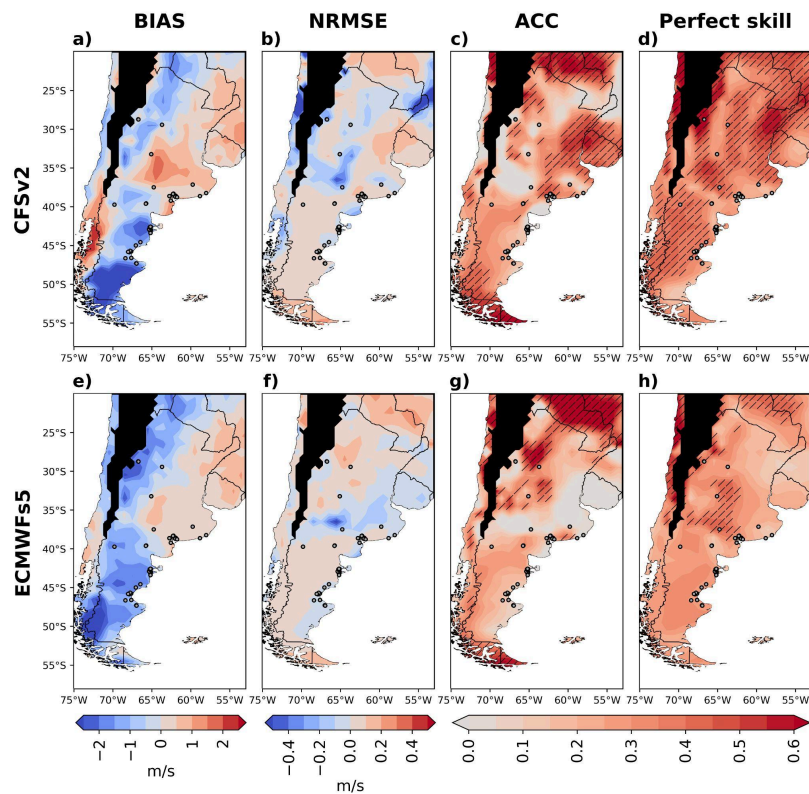


Figura 1: BIAS (a, e), NRMSE (b, f), ACC (c, g) y correlación modelo perfecto (d, h) para CFSv2 (primer fila: a, b, c, d) y ECMWFs5 (segunda fila: e, f, g, h). Áreas con ACC y correlaciones modelo perfecto significativas se indican con rayas (test t-student a cola derecha con una confianza del 95%).

La Figura 1 muestra los resultados del desempeño determinístico y la predictibilidad. En el este del país y la Patagonia ambos modelos presentan sesgos negativos de hasta -2 m/s (Fig. 1a, e), mientras que en el oeste los sesgos son positivos. El NRMSE (Figura 1b, f) indica que el error cuadrático es, en general, menor que la varianza de referencia, lo que sugiere que los modelos aportan valor respecto a la climatología.

El desempeño determinístico según el ACC es mayor en CFSv2 (Figura 1c), con correlaciones significativas en Mesopotamia, sur de Patagonia y gran parte de Buenos Aires. ECMWFs5 (Figura 1g)

presenta valores más moderados y menos puntos de retícula con valores significativos.

La predictibilidad estimada mediante la correlación modelo perfecto (Figura 1d,h) es mayor en CFSv2, con valores significativos en la mayor parte del país, mientras que ECMWFs5 muestra predictibilidad más moderada, con escasos puntos con valores significativos.

Los resultados del análisis del desempeño probabilístico en las tres regiones consideradas indican, en general, un desempeño moderado para ambos modelos durante DJF. En el caso de las tres categorías basadas en terciles, se observa una baja capacidad de discriminación entre aciertos y falsas alarmas, así como discrepancias entre las probabilidades pronosticadas y las frecuencias relativas observadas. Ambos modelos muestran un mejor desempeño en la región 3 al simplificar las categorías a eventos de viento por encima y por debajo de la mediana. En la región 2, CFSv2 presenta un mejor desempeño en el pronóstico de eventos definidos usando los terciles.

5) CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo evidencian que la predictibilidad y el desempeño de los pronósticos estacionales de viento en superficie en Argentina durante el verano son moderados. En particular, la predictibilidad y el desempeño son mayores para CFSv2. Aun así, los valores obtenidos son en general menores a los reportados en otras regiones como Europa, Norteamérica (e.g., Torralba et al., 2017) o China (e.g., Lockwood et al., 2019).

Además, la predictibilidad y el desempeño documentados para el viento en Argentina resultan menores a los observados para otras variables de superficie como la precipitación y la temperatura (e.g., Andrian et al., 2022). Por otra parte, el análisis de pronósticos probabilísticos en regiones con alta densidad de parques eólicos muestra que, si bien estos añaden valor al considerar la incertidumbre representada por el conjunto de miembros del ensamble, el desempeño sigue siendo en general moderado. Se observan mejoras al considerar eventos por encima y por debajo de la mediana, los cuales muestran mejor desempeño en comparación con categorías equiprobables basadas en terciles.

REFERENCIAS

Andrian, L., Osman, M. y Vera, C., 2022: Climate predictability on seasonal timescales over South America from the NMME models. *Climate Dynamics*, 60, 1–16. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-022-06506-8>.

Guozden, T., Carbajal, J.P., Bianchi, E. y Solarte, A., 2020: Optimized balance between electricity load and wind-solar energy production. *Frontiers in Energy Research*, 8. doi:<https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00016>.

Lockwood, J., Thornton, H., Dunstone, N., Scaife, A., Bett, P., Li, C. y Ren, H., 2019: Skilful seasonal prediction of winter wind speeds in China. *Climate Dynamics*, 53, 3937–3955. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-019-04763-8>.

Schaube, P., Ortiz, W. y Recalde, M., 2018: Status and future dynamics of decentralised renewable energy niche building processes in Argentina. *Energy Research & Social Science*, 35, 57–67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.037>.

Torralba, V., Doblas, F., Macleod, D., Christel Jiménez, 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. doi:<https://doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0204.1>.

Waimann, C., 2016: Desarrollo de un sistema de pronóstico estocástico-dinámico de producción de energía eólica basado en el modelo WRF/CIMA. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.