

ATLAS MENSUAL DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR PARA LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Rocío Otero¹, Matías Suarez^{1,2}, Denis Poffo², Lucía Sandalio², Leandro Maturano²,
Andrés Rodríguez¹.

rocio.otero@mi.unc.edu.ar. Autora correspondiente.

¹Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba(UNC)

²Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, UNC.

Palabras clave: Energías renovables, energía eólica, radiación solar, potencial energético regional

1) INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la creciente demanda energética, se vuelve imprescindible avanzar hacia fuentes de energía renovables y limpias. Para lograr una planificación eficiente, resulta esencial conocer con precisión el potencial de los recursos disponibles en el territorio. En la provincia de Córdoba son pocos los estudios que caractericen de forma conjunta los recursos eólico y solar con fines energéticos. La energía eólica representa un recurso de gran potencial, pero de compleja caracterización: la intensidad del viento puede variar abruptamente en escalas temporales cortas, cambia con la altura y está fuertemente influenciada por la topografía local. Por su parte, la radiación solar presenta una variabilidad más predecible, con un marcado ciclo diario y estacional. Sin embargo, la presencia de nubosidad representa un desafío importante para su estimación precisa. El objetivo de este trabajo es elaborar un atlas mensual de energía eólica y solar para la provincia de Córdoba, que permita visualizar espacialmente la disponibilidad de estos recursos. Además de la generación del atlas, se realiza una evaluación comparativa del desempeño de diferentes configuraciones de modelo: WRF forzado con condiciones iniciales del modelo GFS, WRF forzado con ERA5, y directamente los datos del reanálisis ERA5 (Hersbach y otros, 2020). Estas simulaciones se contrastan con observaciones provenientes de estaciones meteorológicas, a fin de identificar cuál de las alternativas ofrece mejores estimaciones del recurso disponible en la región.

2) MATERIALES Y MÉTODOS

Para caracterizar el recurso eólico se utilizaron datos del modelo de reanálisis ERA5 y simulaciones del modelo WRF forzado con ERA5, abarcando dos años (2021–2022). Los datos del modelo WRF se generaron sobre un dominio centrado en la provincia de Córdoba, con resolución espacial de 4 km y 35 niveles verticales. La configuración física y dinámica del modelo se basó en el esquema de parametrización operativa D del OHMC, previamente validado para esta región (Suarez y otros 2022 y Otero y otros 2025). Se analizaron intensidades de viento a 10, 50, 80, 100 y 120 metros sobre el nivel del terreno. Para evaluar la calidad de los resultados, se realizó una comparación entre los datos de ERA5, WRF-ERA5 y observaciones de nueve estaciones meteorológicas automáticas que poseen anemómetro a 10 m de altura.

En el caso de la radiación solar, se compararon dos fuentes principales: datos del modelo ERA5 y simulaciones WRF forzadas con GFS, para el período comprendido entre enero de 2019 y diciembre de 2020. Se calcularon valores medios diarios de radiación solar global (directa y difusa) expresados en unidades de kWh/m²/día con una resolución espacial de 20km. Como métricas de validación se utilizaron: la raíz del error cuadrático medio (RMSE),

el sesgo (BIAS), el sesgo medio (MBE), el error absoluto medio (MAE) y el coeficiente de correlación de Pearson (CC) entre los datos simulados y los observados.

3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones realizadas permitieron identificar diferencias en el desempeño de las distintas configuraciones modeladas. En el caso del viento, la comparación entre ERA5 y ERA5-WRF muestra que el reanálisis ERA5 representa mejor la intensidad en zonas montañosas y de pie de monte. Por otro lado, en la región de llanura, ambas simulaciones presentan desempeños similares. Un aspecto importante a destacar es que, en algunos casos, WRF acentúa el sesgo positivo observado en la velocidad del viento. Esto puede observarse en la Figura 1, que muestra los valores de RMSE, BIAS y coeficiente de correlación obtenidos para las distintas estaciones. Este comportamiento podría deberse a la configuración física o dinámica del modelo, que en zonas de topografía compleja puede amplificar las diferencias frente a las observaciones.

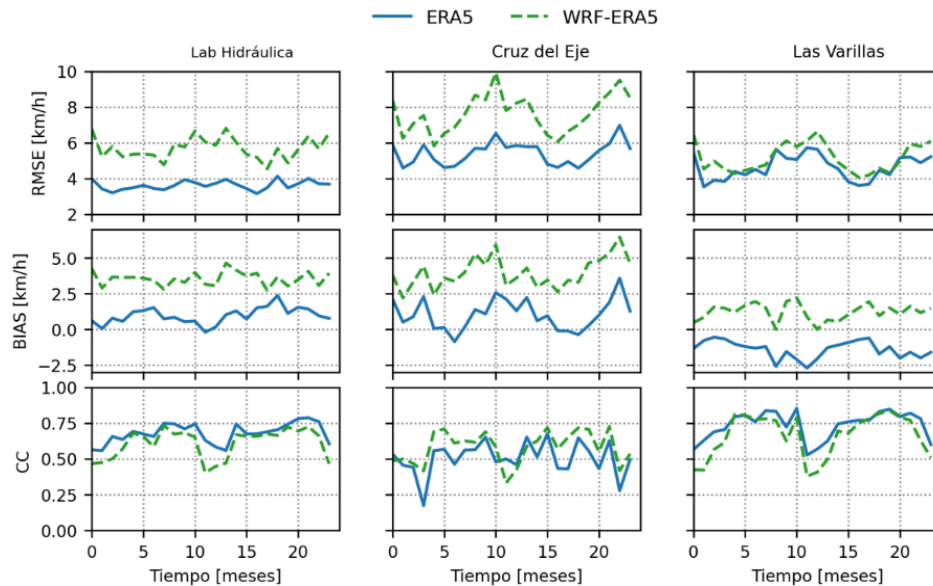


Figura 1: Parámetros estadísticos calculados a partir de la comparación del viento medido por las estaciones con el modelo ERA5 (Azul) y WRF-ERA5 (verde), para los años 2021 y 2022.

En cuanto a la radiación solar, los resultados indican que ERA5 ofrece un desempeño considerablemente superior al de WRF forzado con GFS. Este resultado se debe posiblemente a que ERA5 incorpora correcciones a partir de observaciones, incluyendo información satelital. Para mostrar esto, se presenta una tabla comparativa de métricas en dos estaciones: una en terreno montañoso y otra en la zona centro-sur.

Zona	Estación	Modelo	MBE	MAE	RMSE	CC
Zona Montañosa	Villa Ciudad Parque	ERA5	42.9	45.45	52.6	0.927
		GFS-WRF	58.6	68.5	91.5	0.76
Zona Centro - Sur	Pilar	ERA5	0.7	21.7	34.7	0.927
		GFS-WRF	16.6	40.0	68.9	0.806

Tabla 1: Métricas estadísticas (en W/m^2) entre radiación solar modelada por GFS-WRF y ERA5 y la radiación solar observada por estaciones de superficie.

La Figura 2 muestra los atlas elaborados con las mejores opciones disponibles según el análisis anterior: ERA5-WRF para el caso de viento y ERA5 para el caso de radiación solar.

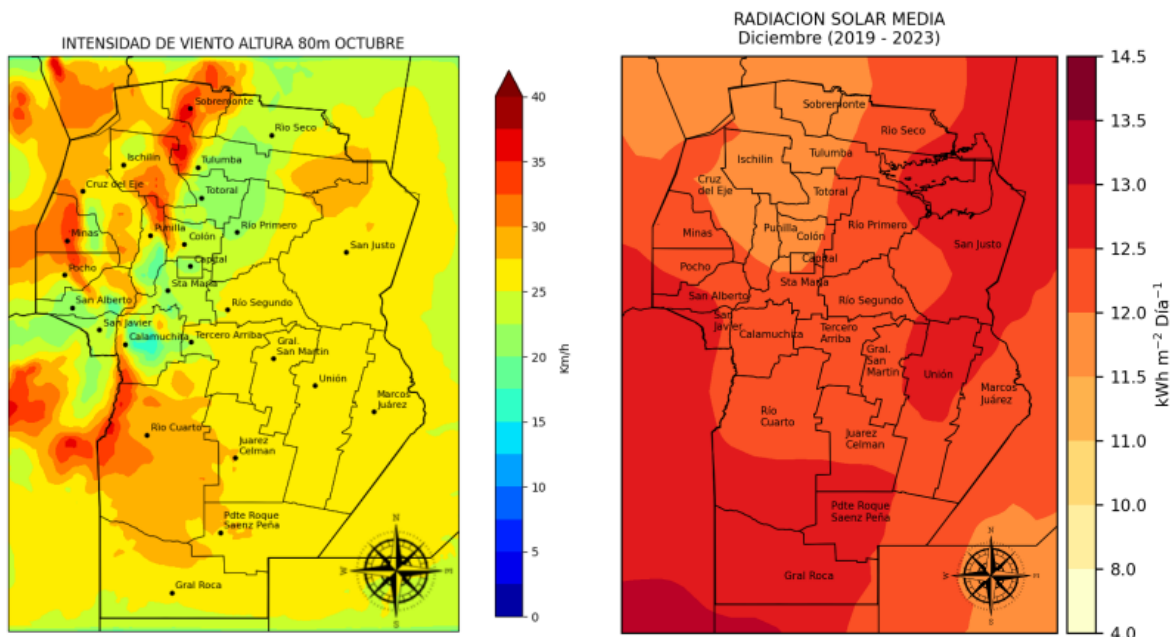


Figura 2: A la izquierda se muestra la distribución espacial del viento a 80 m de altura para octubre. A la derecha, la distribución de la radiación solar media diaria para el mismo mes.

4) CONCLUSIONES

Este trabajo constituye una primera aproximación que intenta caracterizar el potencial eólico y solar en la provincia de Córdoba, evaluando distintas configuraciones de modelos numéricos: WRF forzado con ERA5, WRF forzado con GFS y el reanálisis ERA5 por sí solo. A partir del análisis comparativo con observaciones de superficie, se seleccionaron las configuraciones más precisas para la elaboración del atlas mensual: ERA5-WRF para el caso del viento y ERA5 para la radiación solar. Los atlas obtenidos permiten visualizar espacialmente la disponibilidad del recurso en la provincia y contribuyen a la identificación de zonas ya conocidas por su potencial eólico, así como de nuevas regiones de interés donde se proyecta profundizar la investigación mediante campañas de medición específicas.

REFERENCIAS

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Simmons, A. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.

Otero, R., Suarez, M., Pierobon, E., Maturano, L., Montamat, I., Sanchez, J. E., ... & Poffo, D. (2025). Assessing the Impact of Physical Configuration and Lead Time on WRF Forecasting of an Extreme Wind Event. *Journal of Meteorological Research*, 39(1), 154-171.

Suárez, M., Poffo, D., Pierobon, E., Martina, A., Saffe, J., & Rodríguez, A. (2022). Wind and gust forecasts assessment of Weather Research and Forecast (WRF) model in Córdoba, Argentina. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 16(1), 2021133.