

Mapas recursos eólico y solar provincia de Río Negro

Emilio Bianchi, Tomás Guozden

1. Resumen

En el presente informe se presentan mapas de los recursos eólico y solar para la provincia de Río Negro: velocidad media de viento a 10 y 100 metros de altura, densidad de potencia del viento a 10 y 100 metros de altura y radiación solar total acumulada en superficie. Además, y a modo de ejemplo, se estima el factor de capacidad de diferentes tecnologías de generación: aerogeneradores de alta potencia para el viento a 100 metros de altura, un aerogenerador de potencia media para el viento a 10 metros de altura, y un panel de silicio policristalino con un ángulo de inclinación igual a la latitud.

1. Metodología

Los mapas de velocidad de viento a 10 y 100 metros de altura, densidad de potencia eólica y radiación solar se obtuvieron a partir de la base de datos de reanálisis MERRA2 (<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>). Los datos de reanálisis son el resultado de proyectos de asimilación de datos meteorológicos históricos en períodos de tiempo extendidos. Para ello se unen datos observacionales de diferentes fuentes (estaciones de superficie, radiosondeos, satélite) con diagnósticos realizados por modelos climáticos de circulación general. MERRA2 fue desarrollado por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) utilizando la versión 5 del modelo de asimilación de datos GMAO. Su resolución espacial es de 0.5° de latitud x 0.66° de longitud (1; 2). Para el dominio geográfico que incluye a la provincia de Río Negro, se extrajeron las variables velocidad de viento a 2, 10 y 100 metros de altura ($U/V2M$, $U/V10M$, $U/V50M$), y flujo de radiación de onda corta en superficie ($SWGDN$) y en el tope de la atmósfera ($SWTDN$)(1) para el período 2000-2010 con resolución horaria. Se extrapoló la velocidad del viento a 100 metros de altura utilizando las velocidades a 2, 10 y 50 metros de altura, y asumiendo un perfil logarítmico del viento con la altura (3; 4; 5). Para calcular la densidad de potencia se utilizó además la temperatura a 10 metros de altura (variable $T10M$ de MERRA2). Para calcular la densidad del aire a 10 metros de altura se supuso el gradiente de temperatura con la altura correspondiente a la aproximación de atmósfera estándar (6). Utilizando este gradiente de temperatura (0.0065° K/m) y la ecuación de los gases ideales, se integró la ecuación hidrostática obteniendo la siguiente expresión de la variación de la densidad con la altura:

$$\rho = \rho_{10} e^{(gM/RL - 1)(\ln(1 - Lh/T_{10}))} \approx \rho_{10} e^{-(gM/RL - 1)(Lh/T_{10})} = \rho_{10} e^{-(gMh/RT_{10} - Lh/T_{10})}$$

Donde:

- M , masa molar
- R , constante de gases ideales
- T_{10} , temperatura absoluta a 10 metros de altura
- ρ_{10} , densidad a 10 metros de altura
- g , aceleración gravitacional (9.81 m/s^2)
- L , gradiente de temperatura (0.0065° K/m)
- h , altura, en este caso 100 metros

Luego, una vez obtenidos los valores de densidad del aire a 10 y 100 metros de altura, se calculó la Densidad de Potencia Eólica (DPE) de acuerdo a, :

$$DPE = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Donde V es la velocidad del viento

Esta variable representa la energía total de la masa de aire interceptada por un aerogenerador cualquiera por unidad de área y por unidad de tiempo.

Para el cálculo de los factores de capacidad eólicos se convolucionaron los datos de velocidad de viento horarios con curvas de potencia de maquinas para las diferentes alturas de 10 y 100 metros. Con esto se obtiene la cantidad de energía generada a lo largo de un período de tiempo (mensual o anual). Luego, el cociente entre esa cantidad de energía y la que se generaría operando a la potencia nominal es el factor de capacidad. Para la altura de 100 metros se eligieron las curvas de potencia de aerogeneradores de 3.45 mW de potencia, una para cada clase de viento definida por la Comisión Electrotécnica Internacional (7) de acuerdo al viento medio de cada punto de grilla:

- Vestas V126 para vientos medios por debajo de 8 m/s (clase IIB – IIIA)
- Vestas V117 para vientos medios entre 8 y 9.75 m/s (clase IEC IB – IIA)
- Vestas V112 para vientos medios superiores a 10 m/s (clase IEC IA)

Para el cálculo de factores de capacidad eólicos a 10 metros de altura se eligió la curva de potencia del aerogenerador IVS4500 de 4500 W de potencia. Para estimar la producción (mWh) a partir de los valores de factor de capacidad, se debe despejar de la siguiente igualdad:

$$FC \text{ (factor de capacidad)} = \text{producción de energía} / (\text{potencia nominal} * \text{\#horas})$$

Despejando la producción de energía:

$$\text{producción de energía} = \text{potencia nominal} * \text{\#horas} * FC$$

Así, por ejemplo si se quiere estimar la producción anual de un parque de 50 mW de potencia nominal con un factor de capacidad de 0.5 (50%), la ecuación queda:

$$\text{producción anual de energía} = 50 \text{ mW} * 8760 \text{ horas} * 0.5 = 219000 \text{ mWh o } 219 \text{ gWh}$$

Usando la potencia de la radiación solar sobre superficie a partir de MERRA2, se calculó el acumulado mensual de energía, obteniendo los kWhr mensuales por metro cuadrado de superficie (equivalente al total mensual de horas solares pico). Para el cálculo de potencia solar aprovechada se optó por la tecnología de panel de silicio policristalino con una inclinación hipotética de los paneles de un ángulo igual a la latitud de cada punto de grilla. Se utilizó el modelo GSEE (The Global Solar Energy Estimator) desarrollado por 8. Este método calcula la proporción de radiación difusa y directa utilizando como datos de entrada la radiación global de onda corta en superficie (variable SWGDN) y radiación en el tope de la atmósfera (variable SWTDN) para cada punto de grilla. Luego se calculó la radiación en el plano de los paneles de acuerdo a su inclinación. Finalmente, los factores de capacidad se calcularon de igual forma que para los generadores eólicos.

El calculo de producción de energía a partir de los factores de capacidad se realiza de igual forma que la descrita anteriormente para el caso eólico. Si por ejemplo se quiere calcular la producción



Centro Interdisciplinario de Telecomunicaciones, Electrónica, Computación y Ciencia Aplicada

anual de una instalación fotovoltaica de 1000w con un factor de capacidad de 0.2 (20%), la cuenta es:

producción anual de energía = $1000W * 8760 \text{ horas} * 0.2 = 1752000 \text{ Wh}$ o 1.752 mwh

Para cada una de las variables se calcularon los promedios mensuales, y se escribieron los archivos raster de salida en formato GeoTiff utilizando la librería GDAL de Python (<https://gdal.org/>).

3. Mapas

viento 10 m.

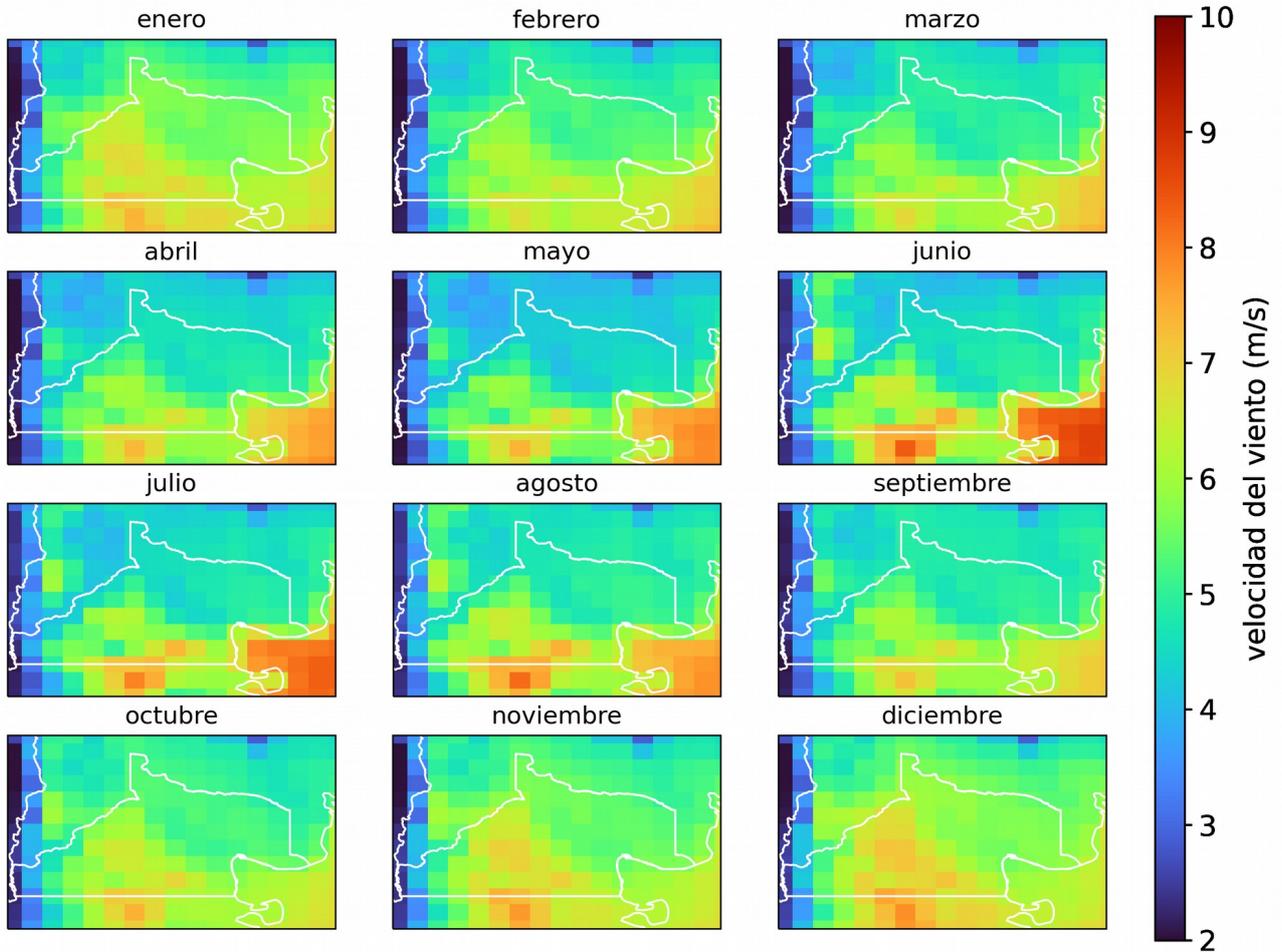


Figura 1: Mapas de promedios mensuales de velocidad del viento a 10 metros de altura período 2000-2020

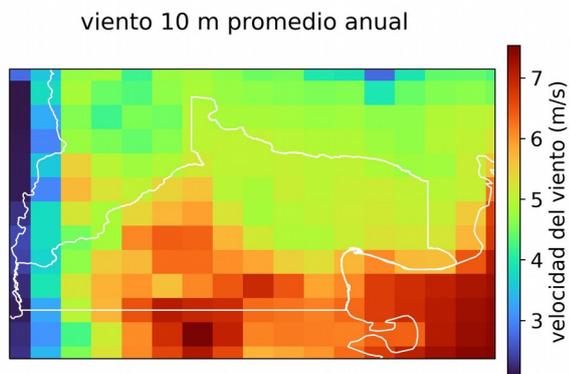


Figura 2: Promedio anual de velocidad del viento a 10 metros de altura período 2000-2020

viento 100 m.

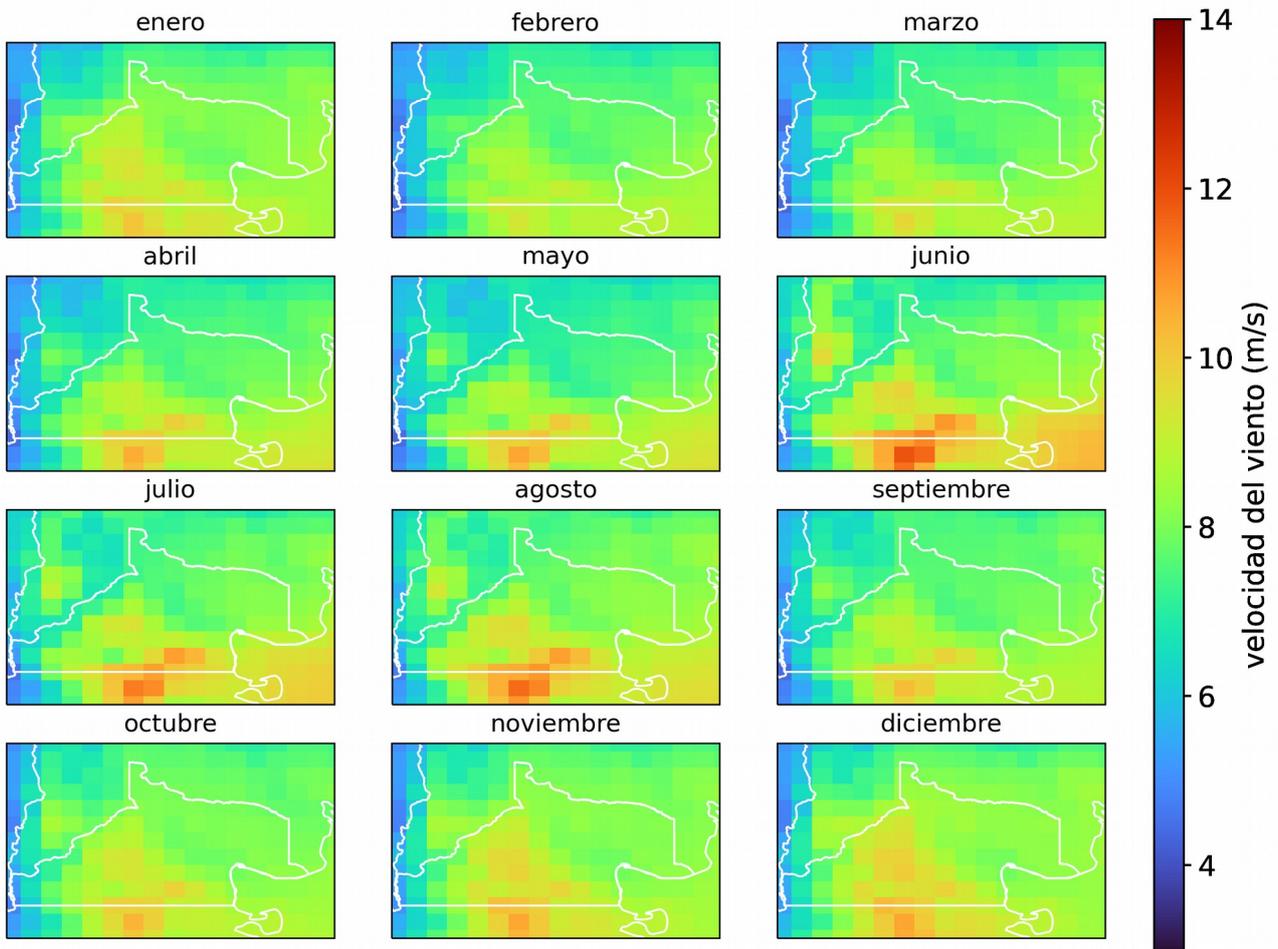


Figura 3 Mapas de promedios mensuales de velocidad del viento a 100 metros de altura período 2000-2020

viento 100 m promedio anual

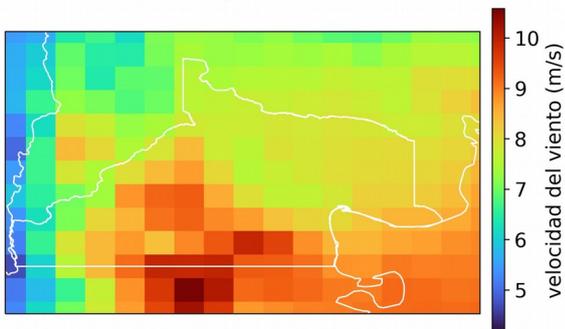


Figura 4: Promedio anual de velocidad del viento a 100 metros de altura período 2000-2020

densidad de potencia 10 m.

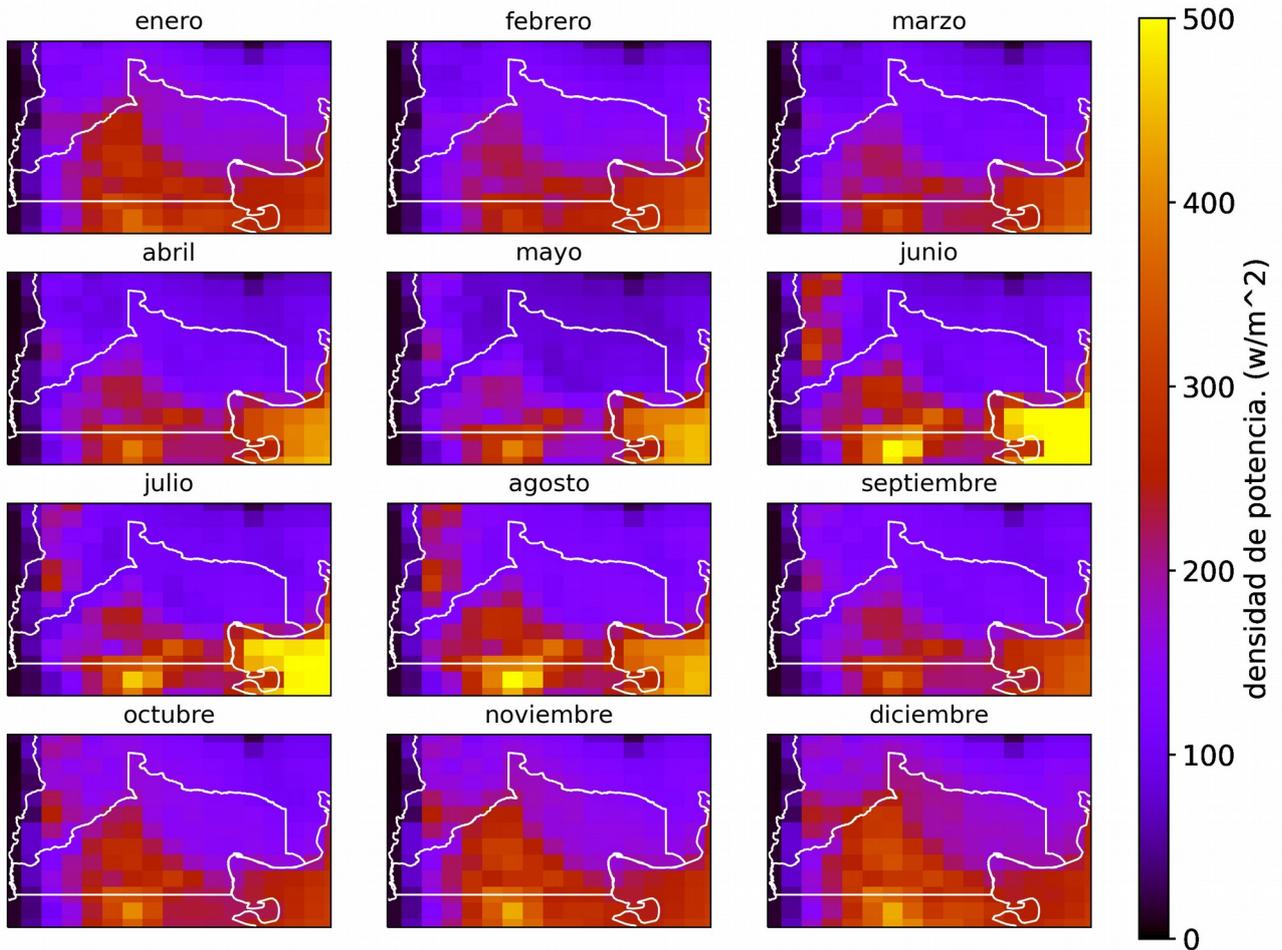


Figura 5: Mapas de promedios mensuales de densidad de potencia a 10 metros de altura período 2000-2020

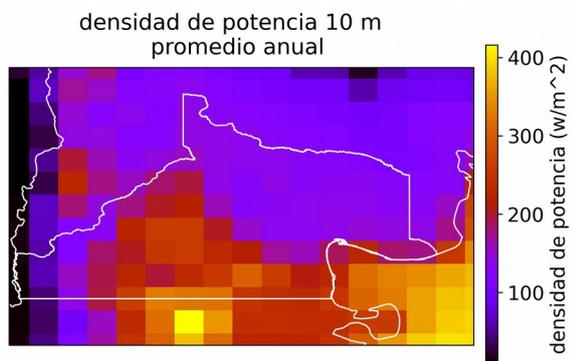


Figura 6: Promedio anual de densidad de potencia a 10 metros de altura período 2000-2020

densidad de potencia 100 m.

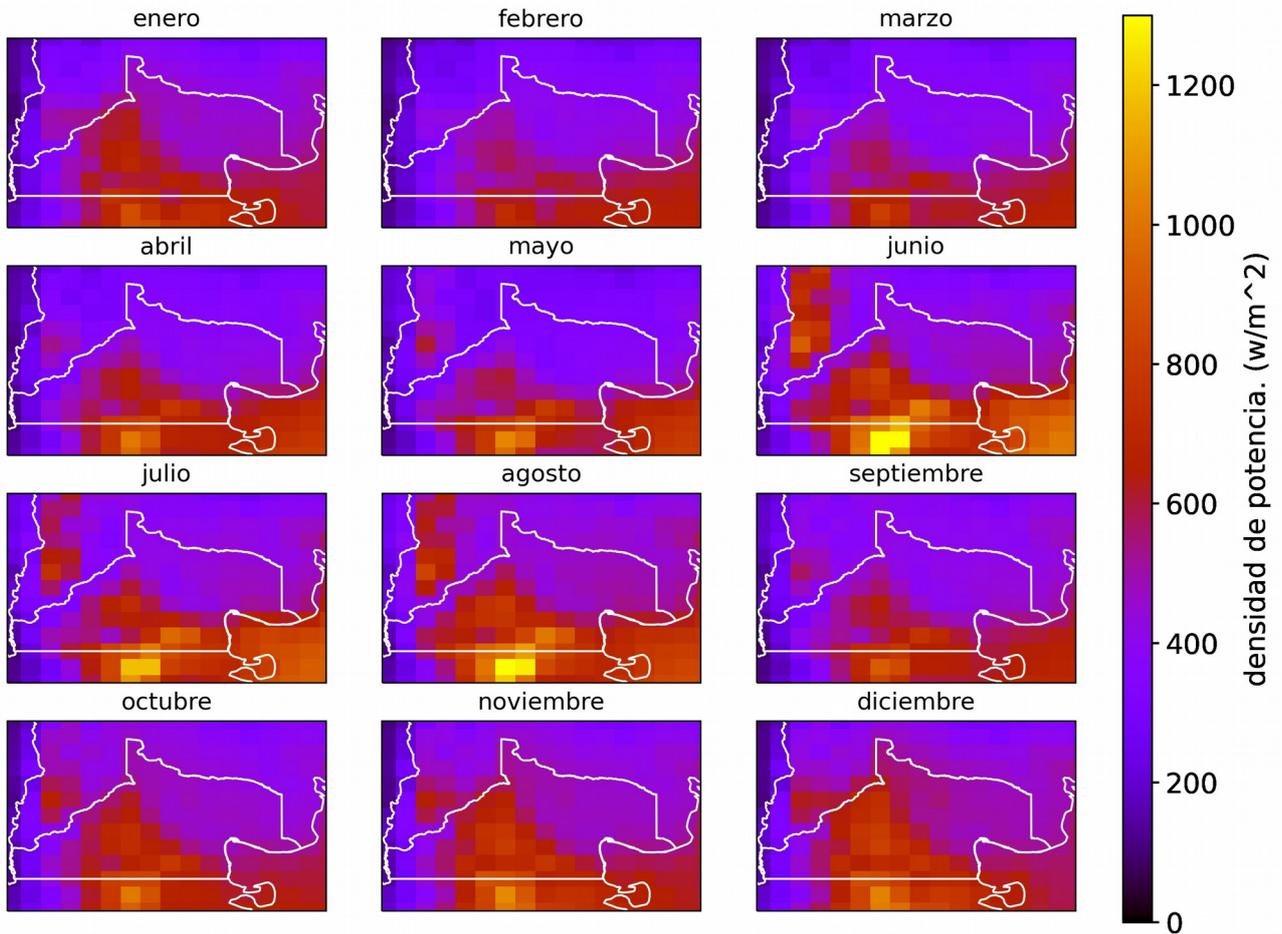


Figura 7: Mapas de promedios mensuales de densidad de potencia a 100 metros de altura período 2000-2020

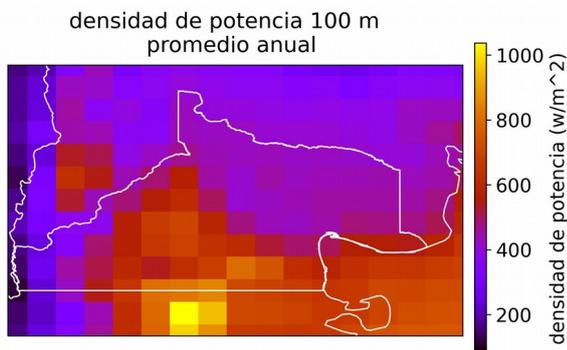


Figura 8: Promedio anual de densidad de potencia a 100 metros de altura período 2000-2020

factor de capacidad 10 m.

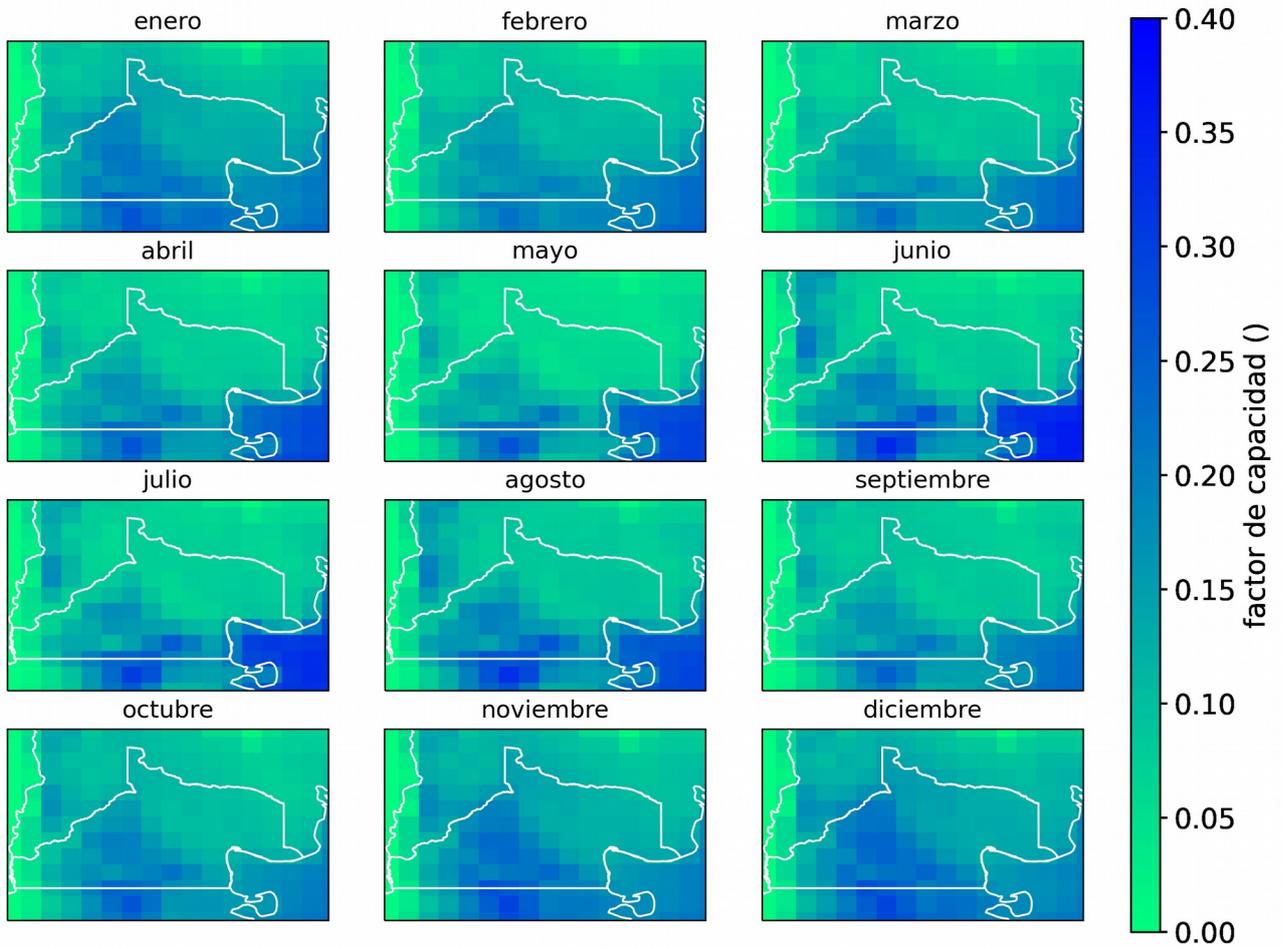


Figura 9: Mapas de factores de capacidad eólicos mensuales 10 metros de altura período 2000-2020

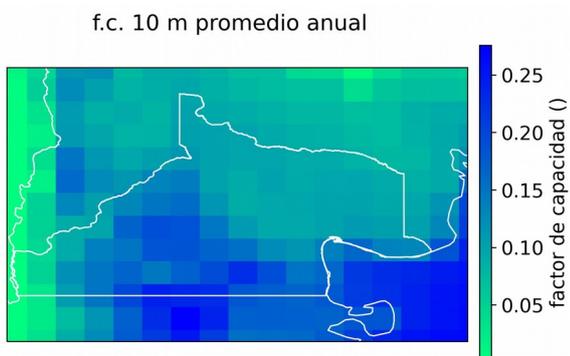


Figura 10: Factores de capacidad eólicos a 10 metros de altura período 2000-2020

factor de capacidad 100 m.

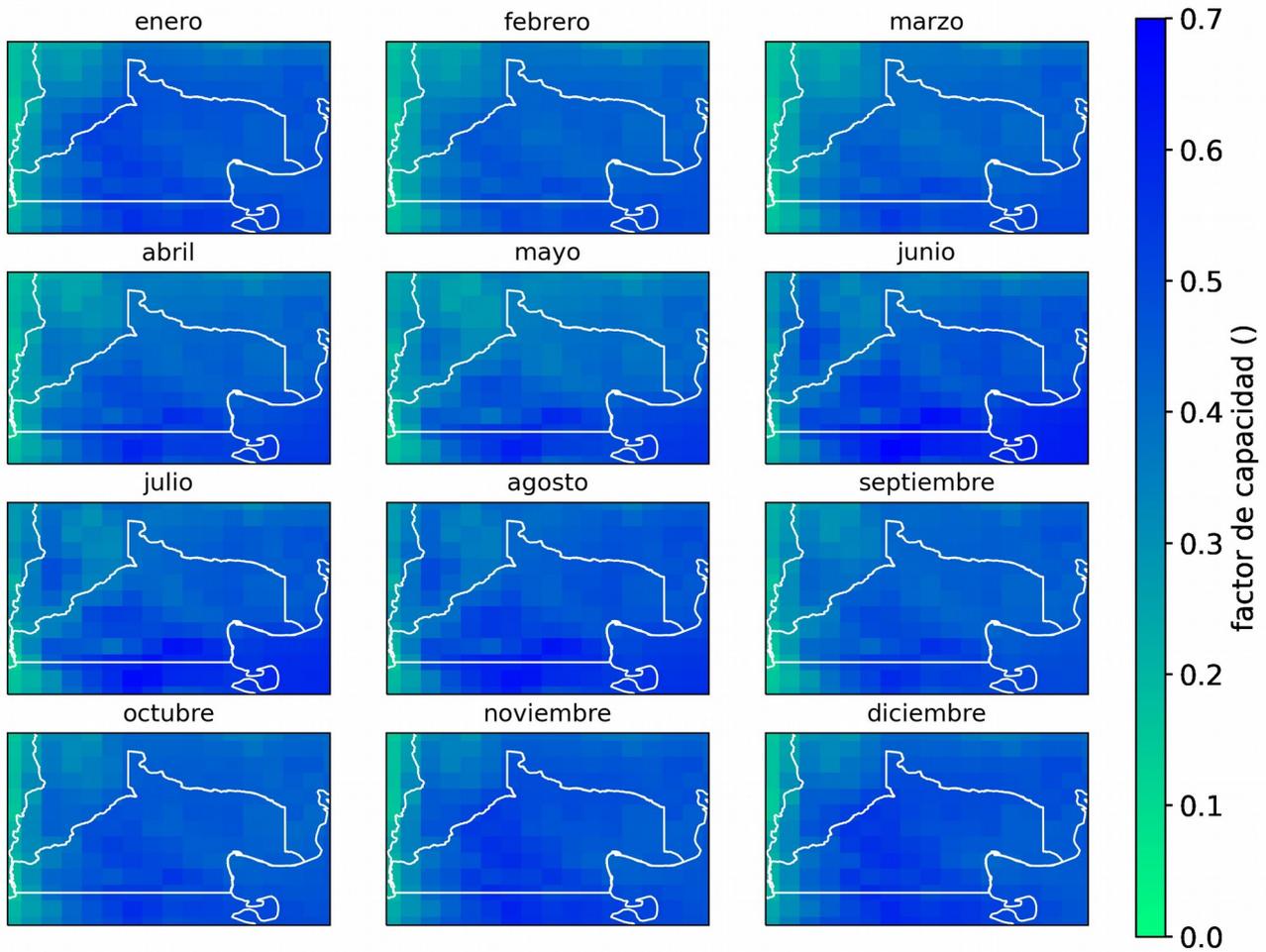


Figura 11: Mapas de factores de capacidad eólicos mensuales 100 metros de altura período 2000-2020

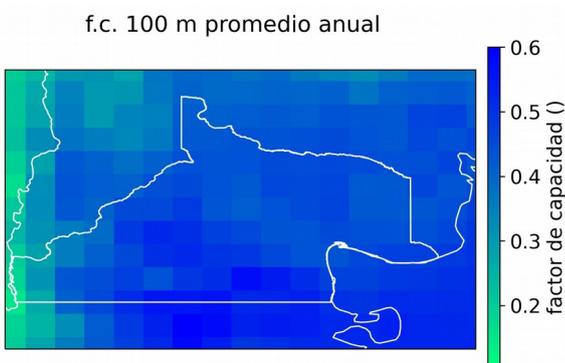


Figura 12: Promedio anual de factores de capacidad eólicos a 100 m. de altura período 2000-2020

radiación solar - acumulado mensual

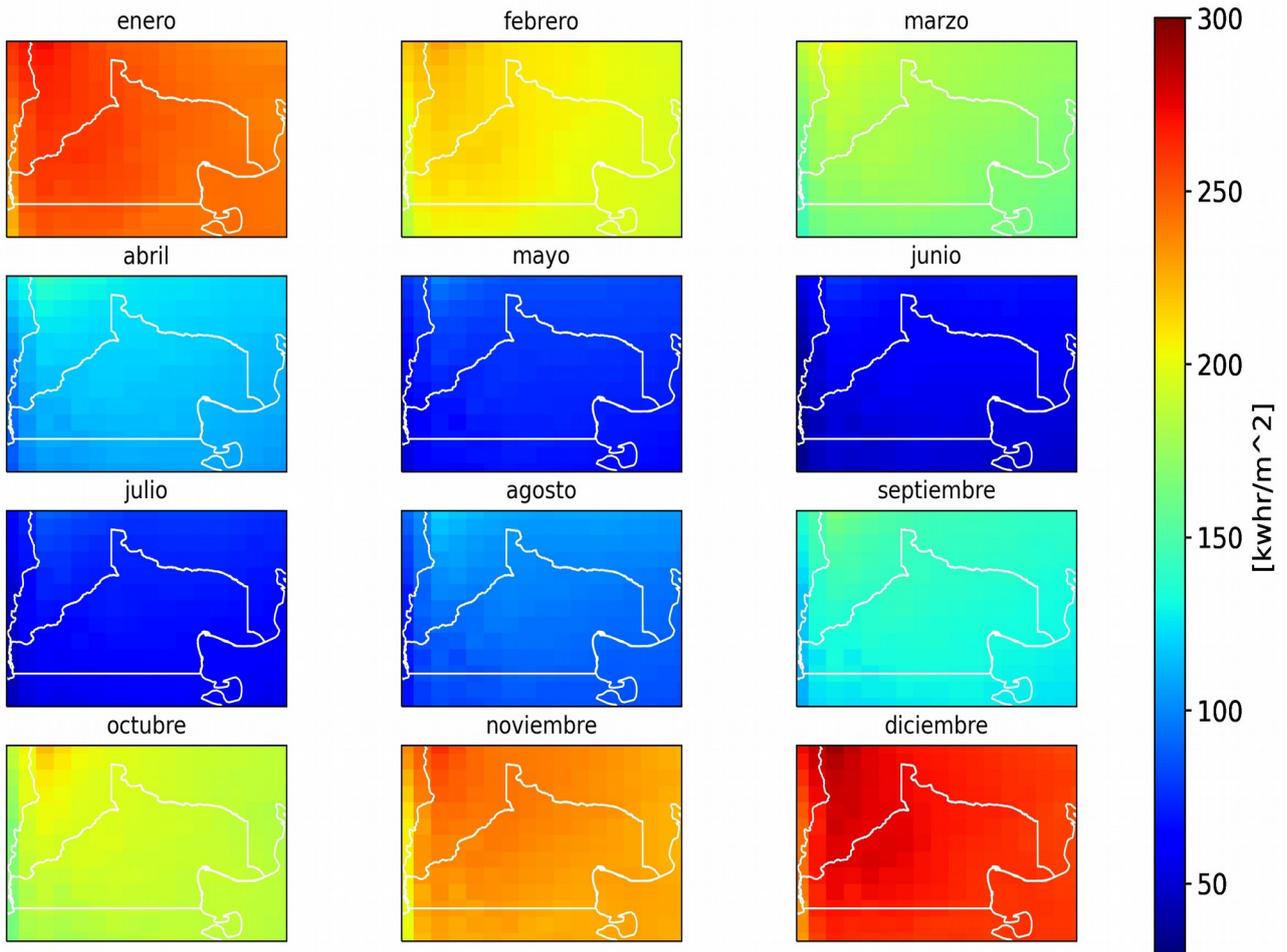


Figura 13: Mapas de promedios mensuales de radiación solar global para el período 2000-2020

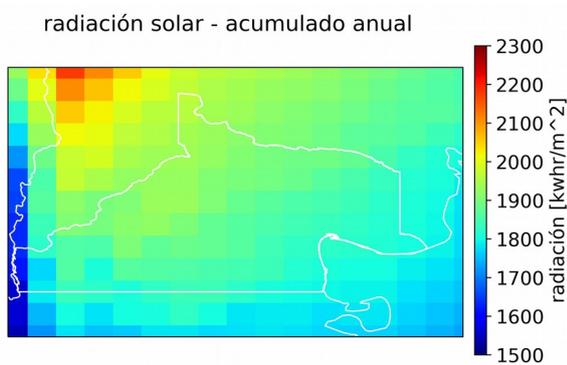


Figura 14: Promedio anual de radiación solar global para el período 2000-2020

factor de capacidad solar.

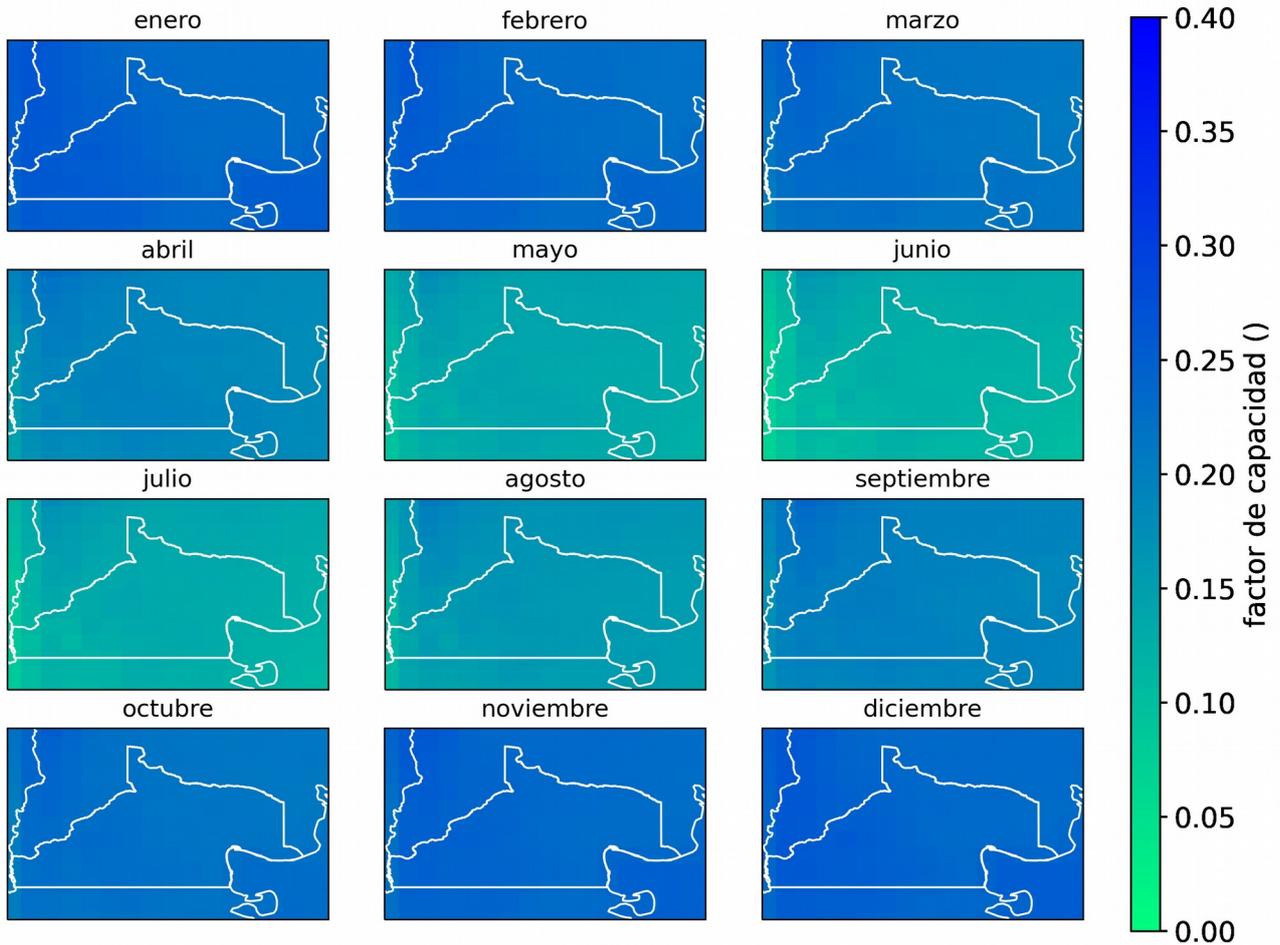


Figura 15: Mapas de factores de capacidad solares mensuales 100 metros de altura período 2000-2020 (ángulo de inclinación del panel = |latitud|).

f.c. solar promedio anual



Figura 16: Promedio anual de factores de capacidad solares período 2000-2020 (ángulo de inclinación del panel = |latitud|).

Referencias

- [1] M. Bosilovich, R. Lucchesi, M. Suarez, Merra-2: File specification.
- [2] R. Gelaro, W. McCarty, M. J. Suárez, R. Todling, A. Molod, L. Takacs, C. A. Randles, A. Darmenov, M. G. Bosilovich, R. Reichle, et al., The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (merra-2), *Journal of climate* 30 (14) (2017) 5419–5454.
- [3] I. Staffell, R. Green, How does wind farm performance decline with age?, *Renewable energy* 66 (2014) 775–786.
- [4] I. Staffell, S. Pfenninger, Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output, *Energy* 114 (2016) 1224–1239.
- [5] E. Bianchi, A. Solarte, T. Guozden, Spatiotemporal variability of the wind power resource in argentina and uruguay, *Wind Energy* 22 (8) (2019) 1086–1100.
- [6] J. V. Iribarne, W. L. Godson, *Atmospheric thermodynamics*, Vol. 6, Springer Science & Business
- [7] P. H. Madsen, D. Risø, *Introduction to the iec 61400-1 standard*, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark (2008).
- [8] S. Pfenninger, S, and I. Staffell. Long-term patterns of European pv output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. *Energy* 114, 1251–1265. doi: 10.1016/j.energy. (2016) .08.060