

CONEM2024-0347 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO OFFSHORE EN URUGUAY UTILIZANDO DATOS DE REANÁLISIS ERA5

Josefina Andrade, josefina.andrade@estudiantes.utec.edu.uy¹

Everton de Almeida, everton.dealmeida@utec.edu.uy²

Ramiro Gutiérrez, ramiro.gutierrez@estudiantes.utec.edu.uy³

Franciele Weschenfelder, franciele.weschenfelder@utec.edu.uy⁴

¹²³⁴Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), Francisco Antonio Maciel s/n esq. Luis Morquio CP 97000

Resumen: Recientemente, Uruguay ha avanzado significativamente en su proceso de descarbonización, logrando una notable transformación en su matriz energética con un destacado papel para las energías renovables, que representan aproximadamente el 97% de la misma (Uruguay XXI, 2022). En la actualidad, el país se encuentra en una segunda fase de descarbonización, enfocada en el sector energético y en materias primas, a través de la implementación de hidrógeno verde en diversos sectores (ANCAP, 2023). Han surgido iniciativas como la Ruta del Hidrógeno Verde para Uruguay (H2U) para descarbonizar el sector del transporte mediante la producción e implementación de combustibles basados en hidrógeno verde. Para abordar esta necesidad crucial, la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) ha propuesto un proyecto piloto pionero que aprovecha la energía eólica marina para generar aproximadamente 200 ktonH₂/año, utilizando una capacidad energética de 3 GW (ANCAP, 2023).

En el marco de este estudio titulado "Caracterización del recurso eólico offshore en Uruguay utilizando datos de reanálisis ERA5", se realiza un análisis exhaustivo para evaluar la viabilidad de la energía eólica marina en las regiones costeras de Uruguay. El estudio se centra principalmente en utilizar los datos de reanálisis ERA5 para evaluar metódicamente los patrones de viento, las velocidades y las tendencias direccionales en las zonas marinas. Este análisis detallado, utilizando las estimaciones horarias y la cobertura global de ERA5, tiene como objetivo proporcionar una comprensión más profunda del potencial de recursos eólicos en los territorios marítimos de Uruguay. Al aprovechar los datos de reanálisis ERA5, el estudio se enfoca en ofrecer información precisa sobre la variabilidad y características a largo plazo de los recursos eólicos marinos.

Además, el estudio caracteriza los modelos climáticos utilizando datos de viento de reanálisis de la zona marítima propuesta por ANCAP para evaluar el recurso eólico y la viabilidad de producir energía eólica offshore en Uruguay. Se profundiza en el papel de los parques eólicos marinos en los futuros sistemas energéticos, particularmente en la zona este del mar territorial uruguayo. Además, se implementa un enfoque basado en el estudio "Accurate long-term power generation model for offshore wind farms in Europe using ERA5 reanalysis", teniendo en cuenta la topografía específica de Uruguay. Este enfoque tiene como objetivo obtener pronósticos más precisos adaptados a las condiciones específicas del área de estudio.

En resumen, este estudio representa un paso significativo hacia la comprensión del potencial eólico marino de Uruguay. Al aprovechar el reanálisis de ERA5, tiene como objetivo informar el desarrollo estratégico de parques eólicos offshore, contribuyendo a los objetivos de energía sostenible de Uruguay.

Palabras claves: Modelos climáticos, recurso eólico offshore, ERA5, reanálisis, potencial eólico.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Uruguay ha realizado importantes avances en su proceso de descarbonización, logrando una notable transformación en su matriz energética con un papel destacado de las energías renovables, que representaron aproximadamente el 97% de la misma (Uruguay XXI, 2022). Actualmente, el país se encuentra en una segunda etapa de descarbonización, enfocada en el sector energético y las materias primas, a través de la implementación del hidrógeno verde en diversos sectores (ANCAP, 2023).

Con el propósito de abordar esta necesidad, se ha creado y aprobado la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde en Uru-

guay. Esta iniciativa, lanzada por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), tiene como objetivo promover el desarrollo del hidrógeno verde en el país, dando lugar a la implementación del Programa H2U (Hidrógeno Uruguay) debido a que Uruguay cuenta con un excelente potencial eólico en su zona costera y una extensa plataforma continental con aguas poco profundas, lo que lo hace muy atractivo para la producción de hidrógeno y sus derivados mediante la energía eólica costera. Asimismo, el objetivo principal de este proyecto es alcanzar una producción estimada de $200 \text{ kton H}_2/\text{año}$, utilizando una capacidad energética de 3 GW (ANCAP, 2023).

ANCAP está liderando el capítulo H2U Offshore de la Hoja de Ruta mediante un sistema de licitaciones internacionales (rondas) que permitirá la producción de hidrógeno y sus derivados a partir de energía marina, bajo la responsabilidad y riesgos asumidos por empresas privadas. Por lo tanto, para la fase inicial, se ha propuesto ofrecer las cuatro áreas delineadas en la Figura 1, las cuales fueron seleccionadas considerando criterios prioritarios de conservación, aspectos ecológicos relevantes, para así minimizar la interferencia con actividades humanas (tránsito y operaciones marítimas, pesca, cables submarinos) así como input de la industria y especialistas. Estas áreas abarcan una superficie promedio de aproximadamente 700 km^2 y se sitúan a más de 43 km de la costa, en profundidades de agua que oscilan entre los 20 y 40 m aproximadamente.

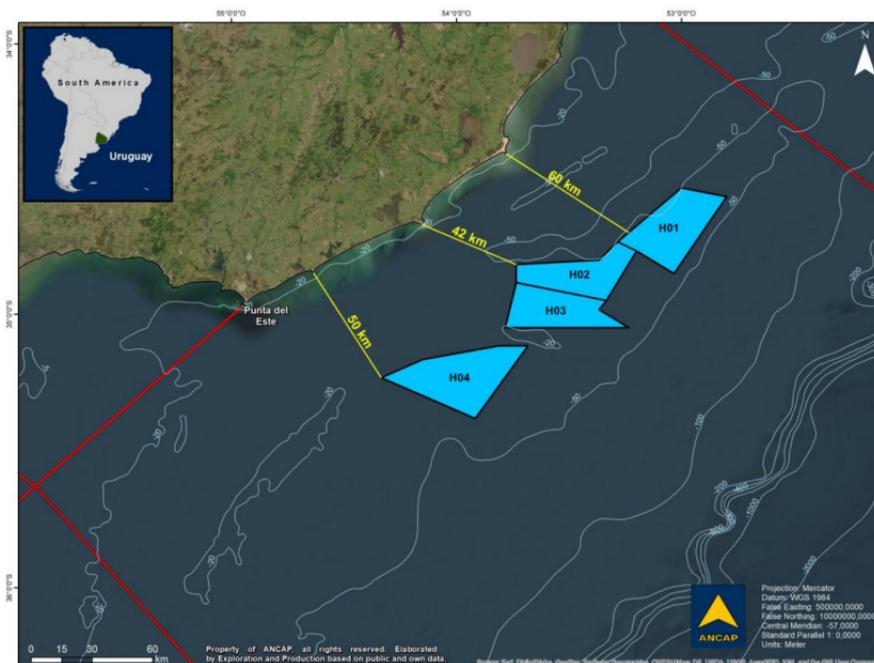


Figura 1: Propuesta de Áreas a ofrecer en la primera instancia de la Ronda H2U offshore

Actualmente, en la zona de estudio no se cuenta con datos medidos, es por ello, que para el estudio del recurso eólico in situ los datos de reanálisis atmosférico adquieren un rol preponderante. Estos constan de un modelo de pronóstico global, observaciones de entrada y un esquema de asimilación que se utilizan en combinación para producir las mejores estimaciones de estados atmosféricos pasados. Para que ello suceda, se utiliza el método de asimilación que es el proceso que vincula las mediciones recopiladas en diferentes ubicaciones del planeta, ya sea en la superficie o en altitud, con la representación en forma de grid del modelo. Este proceso consiste en convertir la información real en un archivo grid con una resolución específica, medida en kilómetros y un número definido de niveles verticales, los cuales son esenciales para comprender cómo cambian las condiciones atmosféricas a diferentes alturas.

El modelo de reanálisis utilizado en este caso de estudio es ERA5, el cual tiene un período cubierto desde 1950 hasta el presente y utiliza un esquema de asimilación 4D-VAR. Con una resolución espacial de 31 kilómetros, ERA5 puede capturar características climáticas a escalas regionales y locales con mayor precisión. Además, utiliza 137 niveles verticales, lo que le permite representar en detalle la estructura completa de la atmósfera, desde la superficie terrestre hasta la alta troposfera. Este modelo cuenta con parámetros de salida e información de incertidumbre cada tres horas y ofrece estimaciones horarias de una amplia gama de variables climáticas que abarcan la atmósfera, la tierra y el océano. Su cobertura de datos es global. Esta resolución vertical fina es crucial para comprender fenómenos atmosféricos complejos y proporciona información esencial para una variedad de aplicaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 FUENTE DE DATOS

Los datos usados en este estudio fueron obtenidos mediante el modelo ERA5 desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), para así obtener las velocidades del viento en sus respectivos módulos, utilizando un esquema de asimilación variacional de cuatro dimensiones (4D-VAR). Esto ofrece ventajas significativas sobre un esquema de asimilación variacional tridimensional (3D-VAR) de otros reanálisis ampliamente utilizados como MERRA-2 y CFSR (Jamet y Loisel, 2013) en términos de su capacidad para incorporar observaciones en el momento exacto de la medición con una resolución espacial de 0.25° latitud-longitud y una resolución temporal máxima de pasos de tiempo de 1-h, ERA5 ofrece la resolución espaciotemporal más alta de todos los reanálisis que brindan cobertura global. El hecho de que ERA5 se remonta a 1950 también es ventajoso debido a la rareza de los eventos de velocidad del viento extremadamente baja, lo que requiere un conjunto de datos extenso y para capturar la variabilidad interdecal en las velocidades del viento (Potisomporn et al., 2023). Asimismo, además de los datos del viento, que están disponibles en forma de componentes de velocidad del viento del este y del norte a elevaciones de 10m y 100m, ERA5 también proporciona otras variables meteorológicas como la temperatura a 2m, la altura de la capa límite, etc.

La serie temporal de velocidad del viento de ERA5 se obtuvo interpolando desde los puntos de la cuadrícula hasta las coordenadas del área de estudio. Por consiguiente, las variables estudiadas se encuentran representadas por las componentes u y v a 10m de altura, las cuales representan los componentes de velocidad de viento. Por un lado, u representa la componente de velocidad en la dirección este-oeste, mientras que v lo hace en la dirección norte-sur. En consecuencia, se utilizó la interpolación bilineal usando cuatro puntos de cuadrícula (x_1, y_1) , (x_1, y_2) , (x_2, y_1) , y (x_2, y_2) para así obtener la velocidad total del viento y seguidamente calcular el potencial correspondiente.

Como el estudio se centra en la región delimitada por ANCAP, el alcance del conjunto de datos ERA5 utilizado en este estudio se extiende desde 34°S a 35.5°S y desde 53°W a 56°W en forma de datos cuadrículados como se ilustra en la Figura 2.

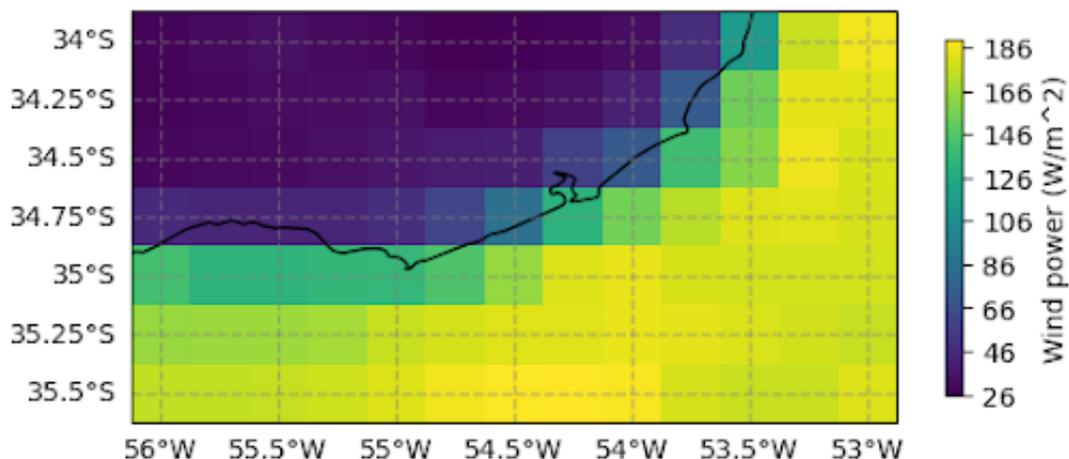


Figura 2: Coordenadas del área de estudio delimitada

2.2 PROCESAMIENTO DE DATOS Y GENERACIÓN DE MAPAS DE RECURSO DE POTENCIAL EÓLICO

Los datos de reanálisis obtenidos en ERA5 fueron sometidos a procesamiento y filtrado en la interfaz de línea de comandos (CLI) Linux, específicamente mediante el uso de CDO (Climate Data Operators). Posteriormente, estos datos fueron obtenidos y representados visualmente en Python mediante la utilización de diversas librerías, tales como xarray, matplotlib, cartopy y numpy, que permiten un análisis más detallado y preciso de los datos.

Para la generación de diferentes mapas de recurso (anual, mensual y estacional) se utiliza el parámetro del potencial eólico a una altura específica de 10m sobre el área de estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MAPA DE RECURSO ESTACIONAL

La variación estacional de las predicciones de ERA5 también tiene implicaciones importantes en la capacidad del reanálisis para simular con precisión el potencial eólico observado. Las series temporales de velocidad del viento de

todos los sitios de observación fueron calificadas en cada estación, definida por un período de tres meses. Sin embargo, estos resultados no son inesperados ya que las velocidades del viento tienden a ser mayores en verano y primavera que en invierno y otoño debido al aumento en el gradiente de temperatura y, por ende, del gradiente de presión, entre las masas de aire que se aproximan y las desplazadas (Sinden, 2007, Baker et al, 1990) lo que hace que el viento se acelere durante esas estaciones. Por lo tanto, en promedio, se esperaría que ERA5 predijera valores mayores de potencia eólica en estos meses.

En el área de estudio, las simulaciones estacionales del potencial eólico a 10m resultaron adquirir el comportamiento anteriormente mencionado, donde se obtienen potenciales eólicos que alcanzan valores estacionales que oscilan entre los 164 y los 218 W/m^2 . Siendo la primavera la estación con mayor potencial, logrando 218 W/m^2 ; seguida a esta se encuentra el verano con 205 W/m^2 . Esto, sujeto a las condiciones ambientales que se dan en dichas estaciones en el área de estudio, las cuales favorecen al aumento en las velocidades del viento in situ.

Ya entrando en las estaciones con menor recurso eólico, entra el otoño con 177 W/m^2 y, por otro lado, la estación con el potencial más crítico, debido a la menor velocidad dada en el año, atribuida al invierno con 164 W/m^2 . Comprender la variación estacional del potencial eólico es fundamental para planificar el aprovechamiento óptimo de este recurso en diferentes épocas del año. Esto se debe a que el potencial eólico no permanece constante y puede variar significativamente a lo largo de las estaciones.

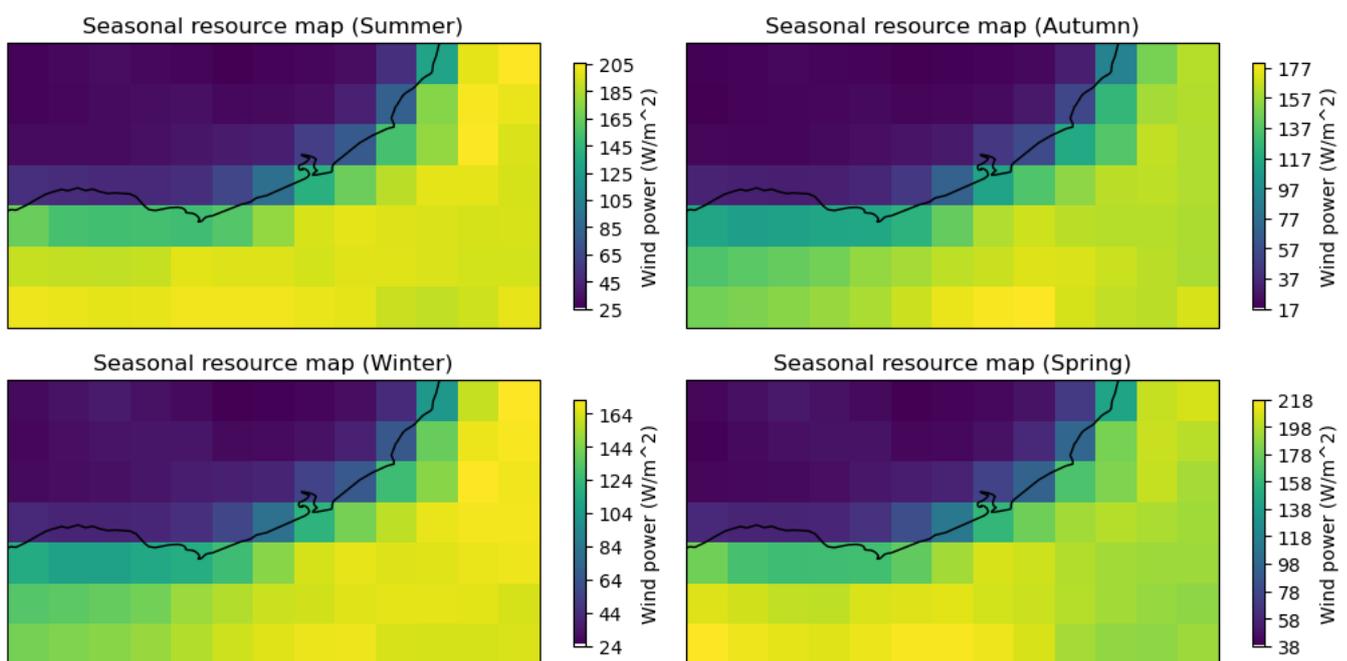


Figura 3: Mapa de recurso estacional de potencial eólico - ERA5

3.2 MAPA DE RECURSO MENSUAL

A lo largo del año, se observan fluctuaciones mensuales en los patrones de viento, directamente influenciadas por las variaciones en las temperaturas entre las masas continentales y oceánicas. Durante los meses cálidos, se registra un aumento de la temperatura sobre la superficie terrestre, lo que resulta en una diferencia térmica que favorece la formación de un área de baja presión atmosférica sobre los océanos. Esto conduce a un movimiento de masas de aire desde el océano hacia el continente. En contraste, en los meses más fríos, la temperatura del océano supera la del continente, lo que origina un área de alta presión atmosférica sobre el mar y un desplazamiento de las masas de aire desde el océano hacia el continente. Durante los meses cálidos, la intensidad de estos vientos suele ser mayor debido al incremento en la diferencia de temperatura entre el continente y el océano (Martínez et al, 2020).

En el área de estudio, se ha observado un potencial eólico a 10m de altura que alcanza sus máximos durante los meses cálidos, abarcando desde octubre hasta marzo, correspondientes a la primavera y el verano. Durante este periodo, los potenciales eólicos superan los 200 W/m^2 , siendo octubre el mes de mayor potencial con 223 W/m^2 , exceptuando diciembre, que alcanzó un máximo de 191 W/m^2 . Por otro lado, los meses de menor potencial eólico se encuentran entre abril y agosto, correspondientes al otoño y el invierno, con valores que oscilan entre los 141 W/m^2 y los 177 W/m^2 , siendo agosto el mes con el menor potencial y junio el de mayor. Es importante destacar el mes de julio, es donde se alcanza el mayor potencial eólico del año, llegando a 228 W/m^2 . Este aumento significativo está relacionado con fenómenos climáticos, que influyen en la variabilidad del recurso eólico.

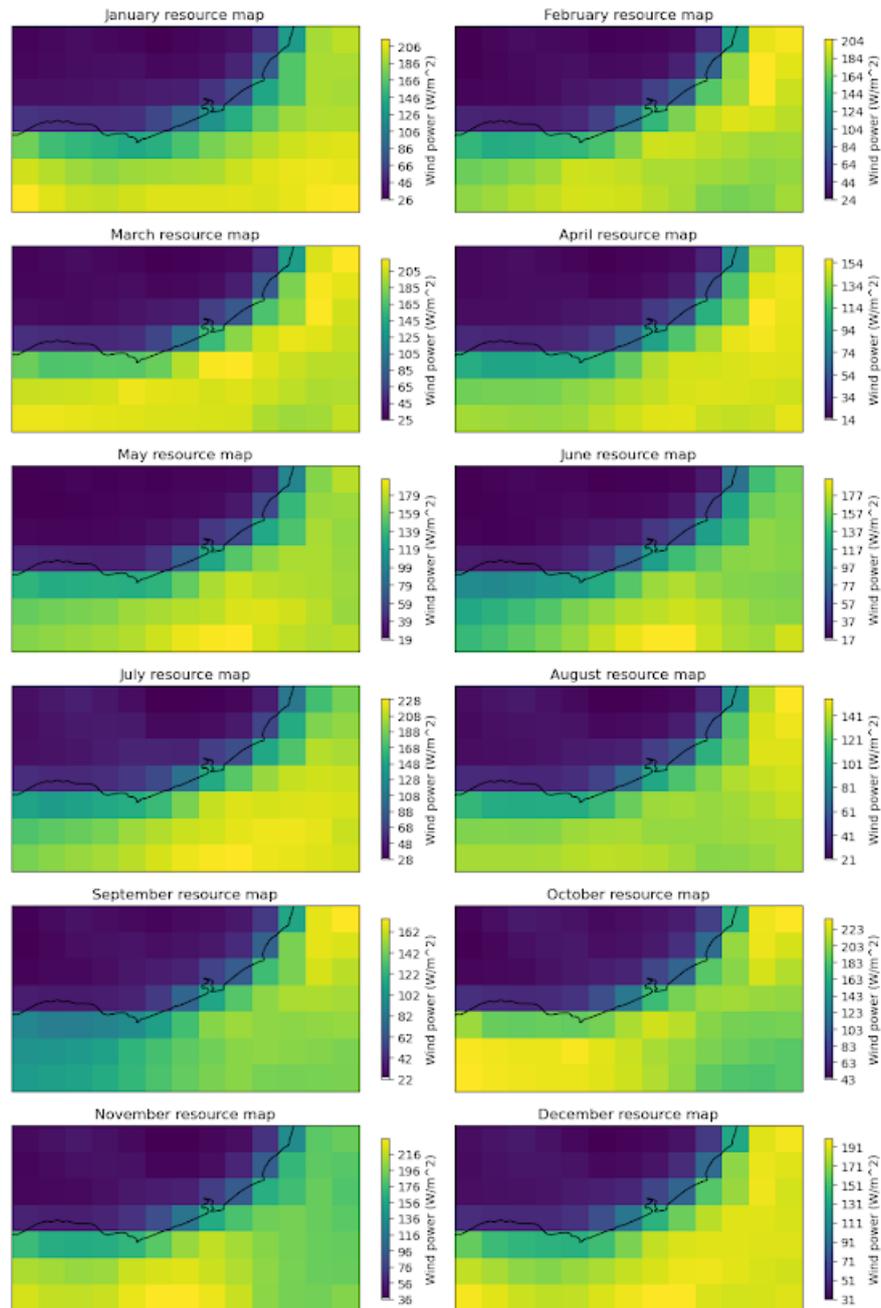


Figura 4: Mapa de recurso mensual de potencial eólico - ERA5

3.3 MAPA DE RECURSO ANUAL

La variación anual es causada por el mayor peso del aire, con presiones mayores en primavera cuando el aire está más caliente, y mínimos en invierno. Existe, entonces, una causa térmica a la cual atribuir las oscilaciones. La amplitud anual de la presión, o sea, la diferencia entre las normales del mes con presión máxima y del mes con presión mínima, disminuye con la altura sobre el nivel del mar (Martínez et al., 2020). Este fenómeno, observado a partir de datos del modelo ERA5, sugiere una mayor estabilidad en los patrones de viento en regiones marinas.

Asimismo, las variaciones irregulares y aperiódicas responden a causas como, por ejemplo el peso de una masa de aire caliente o frío que viniendo de otros lugares modifica las condiciones del tiempo del lugar que atraviesa (Garbi et al., 2020).

El mapa de recurso anual muestra la variabilidad del potencial eólico a lo largo de 12 meses. En la Figura 3 se puede observar dicho potencial a 10m sobre la superficie terrestre, el cual tiene un rango entre 126 W/m^2 y 186 W/m^2 en la zona de estudio. En la costa, la presencia de superficies terrestres y las características locales pueden generar fricciones, lo que ralentiza el viento. Sin embargo, en alta mar, esta fricción disminuye significativamente, permitiendo que el viento

alcance velocidades más altas y, por consiguiente, mayor potencial eólico.

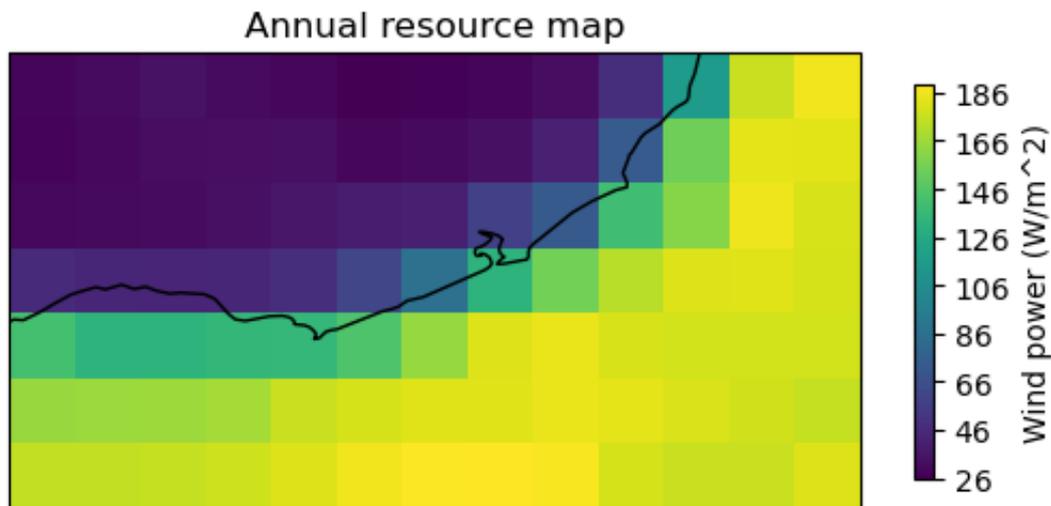


Figura 5: Mapa de recurso anual de potencial eólico - ERA5

4. RECURSO ANUAL ONSHORE VERSUS RECURSO ANUAL OFFSHORE

Aunque la energía eólica contribuye recientemente a solo alrededor del 6% de la producción mundial de electricidad (Irfan et al., 2019), la energía que se puede extraer de los recursos eólicos terrestres y marinos es más del 35% de la demanda de la población del mundo entero (Tong, 2010). Por otro lado, la generación de energía eólica terrestre podría verse comprometida por factores como el uso del suelo, el impacto visual de las instalaciones en tierra, las limitaciones de las tecnologías eléctricas, terrestres, etc (Konstantinidis y Botsaris, 2016); mientras que, independientemente de sus propias limitaciones, la energía eólica marina puede utilizarse contrarrestando las desventajas que podrían surgir en el desarrollo de la energía eólica terrestre (Desalegn et al., 2022).

La velocidad del viento es mayor y más confiable en ubicaciones costa afuera que en tierra. Más importante aún, se sabe que la energía eólica marina se caracteriza por una mayor densidad de potencia y un factor de capacidad superior en comparación con la energía eólica terrestre (Díaz-Motta et al., 2023). Mientras tanto, las instalaciones de energía marina han demostrado crecimientos prometedores en los últimos años.

4.1 RECURSO ONSHORE

En este contexto, se realizó una comparativa de las velocidades del viento a 15m sobre la superficie, comparando el mapa de velocidad del recurso anual onshore y el mapa de velocidad del recurso anual offshore. El primeramente mencionado, fue realizado por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) el cual corresponde a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Udelar); dicho mapa denota una velocidad media anual que oscila entre los 3 m/s y los 7 m/s (Figura 6).

En la zona norte de Uruguay, donde las velocidades del viento se sitúan en el rango de 2.5 a 4 m/s, esto es dado a la proximidad al litoral atlántico y la influencia de sistemas de alta presión en el Atlántico Sur que afectan la intensidad y la regularidad del viento.

Por otro lado, en las regiones centro-este y oeste del país, donde el potencial eólico se incrementa a velocidades de viento más consistentes en el rango de 4 a 5 metros por segundo, varios factores contribuyen a esta mayor velocidad. La topografía más abierta y plana en estas áreas permite un flujo de viento menos obstruido. Además, estas velocidades son dadas debido a que el Río de la Plata se encuentra bajo influencia del anticiclón del Atlántico sur, que determina los patrones climáticos anuales. Es por ello, que los vientos son en general leves, con una intensidad media anual muy uniforme que se incrementa en la costa para alcanzar velocidades de hasta 5 m/s (Viana, 2009).

En el centro del país, las velocidades del viento oscilan entre 4 y 4.5 m/s por segundo, esta situación se debe principalmente a la topografía semi plana y a la presencia de suelos llanos, así como a la formación de penillanuras. Estas características geográficas favorecen un flujo de viento más uniforme y constante en la región al reducir la fricción del viento sobre la superficie terrestre. Sin embargo, aunque la falta de obstáculos significativos en el terreno ayuda a mantener

una circulación más estable, esto también limita la aceleración del viento a velocidades más altas.

Sin embargo, es en la región este del país donde se encuentra el mejor recurso eólico, con velocidades del viento que oscilan entre 6 y 7 m/s. Esta región está expuesta al litoral atlántico uruguayo, lo cual genera favorables gradientes térmicos y presión atmosférica debido a la topografía más abierta y menos obstruida, aunque el recurso eólico no es tan uniforme en comparación a las regiones previamente mencionadas

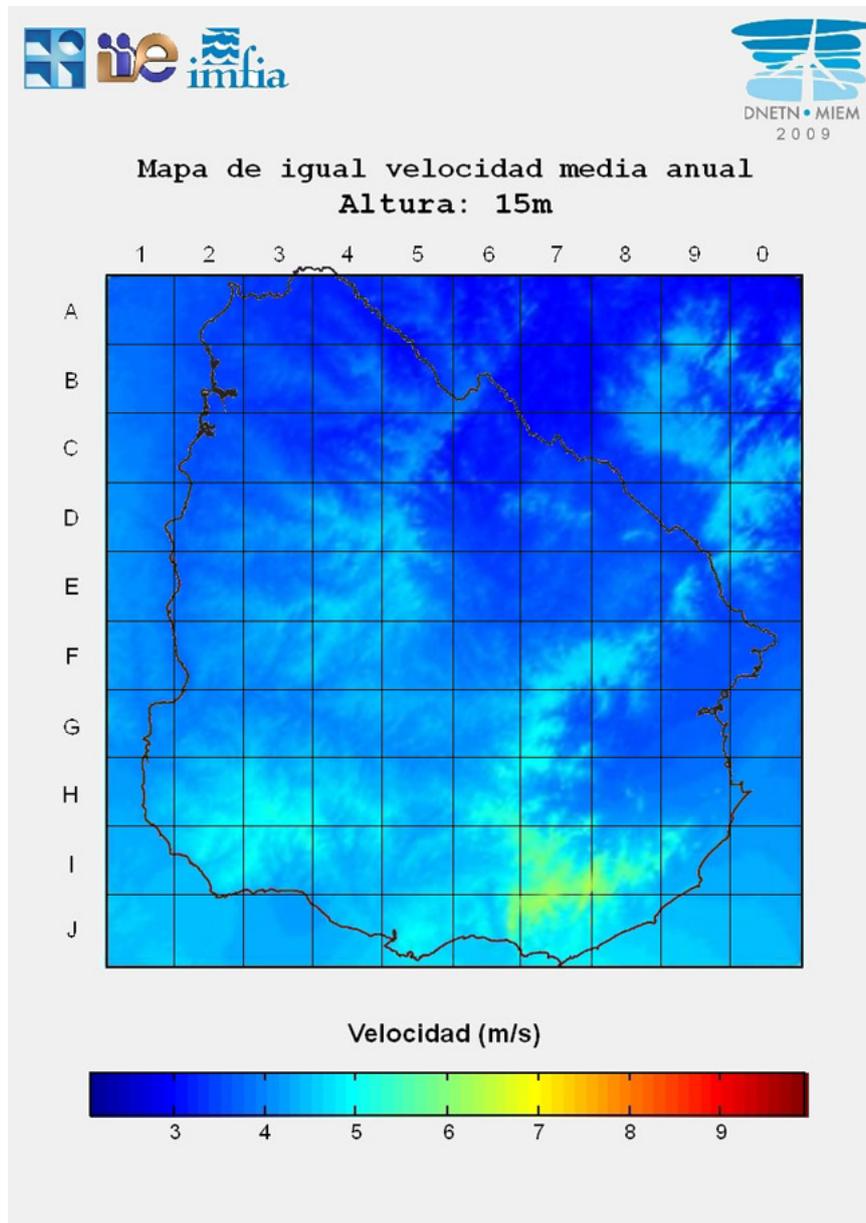


Figura 6: Mapa de recurso de velocidad media anual onshore - IMFIA

4.2 RECURSO OFFSHORE

En la zona de estudio offshore, las velocidades del viento a 15m de altura oscilan entre los 6 y 7 m/s (Figura 7). Este fenómeno se debe a la ausencia de obstáculos locales que puedan interferir con el flujo del viento sobre el océano. Además, la influencia de la topografía en el perfil del viento es mínima, lo que contribuye a un flujo más uniforme en comparación con las zonas onshore, donde la presencia de obstáculos es alta.

El análisis de las velocidades del viento en la región marina no se ve afectado por la topografía local, lo que permite una representación más precisa de las condiciones atmosféricas. Además, la influencia de la rugosidad superficial del océano se tiene en cuenta en los modelos de reanálisis mediante el acoplamiento de los componentes oceánicos y atmosféricos (Hayes et al., 2021).

Por otro lado, es importante considerar los fenómenos atmosféricos estacionales, como los monzones, que también influyen en la distribución del viento en la región marina. Estos vientos estacionales son el resultado de las diferencias de temperatura entre los continentes y los océanos, lo que genera cambios en la circulación atmosférica y puede afectar las velocidades a lo largo del período anual (Martínez, 2020).

Asimismo, la superficie del mar, en contraste con la tierra, es más homogénea, lo que resulta en una rugosidad más uniforme y predecible. Esta característica influye en la formación de la capa límite atmosférica sobre el mar, donde la interacción entre la atmósfera y la superficie del mar es fundamental en lo que respecta a la distribución del viento.

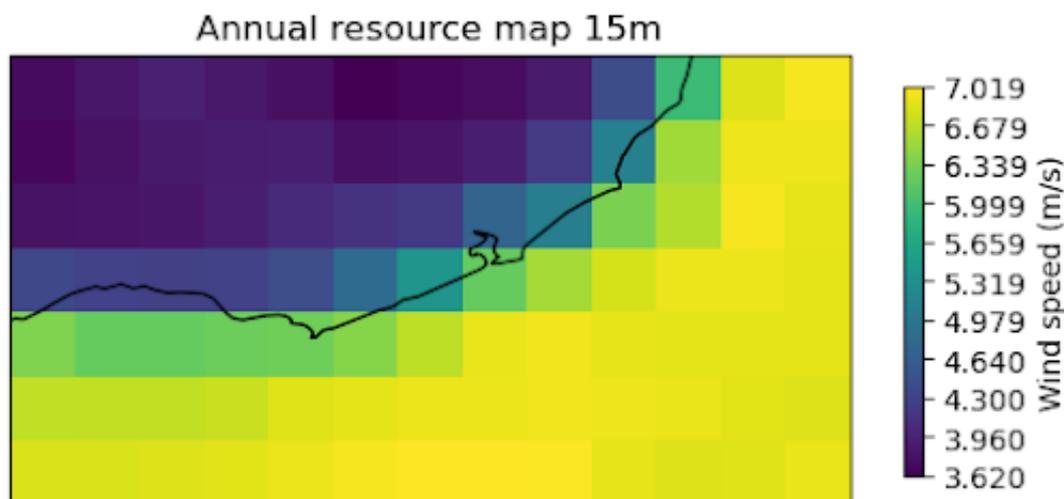


Figura 7: Mapa de recurso de velocidad media anual offshore - ERA5

5. CONCLUSIÓN

En conclusión, el análisis detallado del modelo de reanálisis ERA5 denota un considerable potencial eólico a 10m de altura en las costas marítimas de Uruguay. Con puntos alcanzando hasta 186 W/m^2 y velocidades del viento anuales de 6 a 7 m/s. Las variaciones estacionales muestran un máximo potencial durante los meses cálidos, con valores entre 205 y 218 W/m^2 en primavera y verano, respectivamente, y un destacado máximo de 228 W/m^2 en julio. Comparativamente, el recurso eólico offshore supera al onshore en Uruguay, con velocidades más altas (6-7 m/s versus 2.5-5 m/s), atribuible a la mínima influencia de la topografía y rugosidad en el entorno marítimo. Lo cual resalta la importancia del recurso eólico offshore como una fuente de energía renovable prometedora en el país.

Por un lado, la comparación a 15m de altura entre los mapas de recurso anual onshore y offshore señala que, mientras en la zona onshore las velocidades del viento varían entre 3 y 7 m/s, con regiones específicas como la región este del país alcanzando velocidades excepcionales de 6 m/s llegando en zonas muy puntuales a los 7 m/s, en cambio en el entorno marino las velocidades oscilan entre 6 y 7 m/s de manera más uniforme debido a la falta de obstáculos locales y una rugosidad superficial más homogénea. Esta diferencia subraya el potencial superior de la energía eólica offshore.

Por otro lado, el análisis de las variaciones estacionales y mensuales del recurso eólico resalta la influencia de factores climáticos como los monzones en la distribución del viento, especialmente en la región marina. Asimismo, la estabilidad de los patrones de viento en estas áreas sugiere una mayor fiabilidad y consistencia para la generación de energía eólica offshore.

Además, a futuro se pretende evaluar el potencial offshore a partir de estudios de hindcast para aumentar la resolución espacial y medir el recurso eólico en alturas coincidentes con las de buje de aerogeneradores offshore. Esto se considera crucial dada la importancia de contar con un hindcast de olas de alta resolución que abarque la zona marítima del país, hasta la costa. Este enfoque constituye una herramienta valiosa para respaldar una amplia gama de actividades, desde la ingeniería hasta la gestión costera y la planificación de actividades en el mar. La mejora en la información de las olas no solo optimiza puertos e infraestructuras costeras, sino que también contribuye a un mayor conocimiento de la dinámica costera y del medio marino en general. Además, un hindcast local de olas, además de aumentar la resolución, aumenta su calidad al incorporar información local para alimentar y calibrar los modelos de olas y validar sus resultados (Alonso, 2020).

Finalmente, el recurso eólico offshore en Uruguay presenta ventajas significativas sobre el recurso onshore, destacando

velocidades más altas y una distribución más uniforme a lo largo del año, lo que lo convierte en una opción sumamente atractiva para el desarrollo de proyectos de energía renovable en la región. Estos hallazgos respaldan la importancia de llevar a cabo evaluaciones más detalladas del potencial offshore mediante estudios de hindcast.

6. AGRADECIMIENTOS

Este estudio cuenta con el respaldo de la Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC) y ClusterUY, donde se obtuvieron los datos de ERA5.

7. REFERENCIAS

- Alonso Hauser, R., 2020. *Modelación y análisis de oleaje: desarrollos metodológicos y su aplicación al caso de Uruguay*. Tesis de doctorado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.
- ANCAP, 2023. “Ronda h2u offshore”. URL <https://www.ancap.com.uy/17065/5/ronda-h2u-offshore.html>.
- Baker, R. *et al.*, 1990. “Annual and seasonal variations in mean wind speed and wind turbine energy production”. *Solar Energy*, Vol. 45, No. 5, pp. 285–289. doi:10.1016/0038-092X(90)90013-3.
- Cannon, D. *et al.*, 2015. “Using reanalysis data to quantify extreme wind power generation statistics: A 33 year case study in great britain”. *Renewable Energy*, Vol. 75, No. 8, pp. 767–778. doi:10.1016/j.renene.2014.10.024.
- Cowin, E., Wang, C. and Walsh, S.D.C., 2023. “Assessing predictions of australian offshore wind energy resources from reanalysis datasets”. *Energies*, Vol. 16, No. 8, p. 3404. doi:10.3390/en16083404.
- Desalegn, B. *et al.*, 2023. “Onshore versus offshore wind power trends and recent study practices in modeling of wind turbines’ life-cycle impact assessments”. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100691>.
- Facultad de Ingeniería (FING), 2010. “Mapa eólico del uruguay”. URL <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2011/3748/mapa-eolico.pdf>.
- Ferreño, O. *et al.*, 2010. “Mejoras del modelado del recurso eólico de uruguay en la plataforma simsee”. In *8º Encuentro de especialistas en Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas, EPIM’10*. Montevideo, Uruguay.
- Hayes, L. *et al.*, 2021. “Accurate long-term power generation model for offshore wind farms in europe using era5 reanalysis”. *Energy*, Vol. 229, p. 120603. doi:10.1016/j.energy.2021.120603.
- Nefabas, K. *et al.*, 2021. “Modeling of ethiopian wind power production using era5 reanalysis data”. *Energies*, Vol. 14, No. 9, p. 2573. doi:10.3390/en14092573.
- Olauson, J., 2018. “Era5: The new champion of wind power modelling?” *Renewable Energy*, Vol. 126, pp. 322–331. doi:10.1016/j.renene.2018.03.056.
- Potisomporn, P. *et al.*, 2023. “Evaluating era5 reanalysis predictions of low wind speed events around the uk”. *Energy Reports*, Vol. 10, pp. 4781–4790. doi:10.1016/j.egy.2023.11.035.
- Viana, F., 2009. “La zona costera del uruguay: biodiversidad y gestión”. Santillana, Montevideo, Uruguay.
- Xin, 2021. “Performance of era5 reanalysis precipitation products in the guangdong-hong kong-macao greater bay area, china”. *Journal of Hydrology*, Vol. 602, p. 126791. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126791.

CONEM2024-0347 CHARACTERIZATION OF OFFSHORE WIND RESOURCES IN URUGUAY USING ERA5 REANALYSIS DATA

Josefina Andrade, josefina.andrade@estudiantes.utec.edu.uy¹

Everton de Almeida, everton.dealmeida@utec.edu.uy²

Ramiro Gutiérrez, ramiro.gutierrez@estudiantes.utec.edu.uy³

Franciele Weschenfelder, franciele.weschenfelder@utec.edu.uy⁴

¹²³⁴Technological University of Uruguay (UTEC), Francisco Antonio Maciel N/A corner Luis Morquio Postal Code 97000

Abstract: *Recently, Uruguay has made significant strides in its decarbonization process, achieving a notable transformation in its energy matrix with a prominent role for renewable energies, representing approximately 97% of the total (Uruguay XXI, 2022). Currently, the country is in a second phase of decarbonization, focusing on the energy sector and raw materials, through the implementation of green hydrogen in various sectors (ANCAP, 2023). Initiatives such as the Green Hydrogen Route for Uruguay (H2U) have emerged to decarbonize the transportation sector through the production and implementation of green hydrogen-based fuels. To address this crucial need, the National Fuels, Alcohol, and Portland Administration (ANCAP) has proposed a pioneering pilot project harnessing offshore wind energy to generate approximately 200 kton H₂/year, using a 3 GW energy capacity (ANCAP, 2023).*

Within the framework of this study titled "Characterization of offshore wind resource in Uruguay using ERA5 reanalysis data," a comprehensive analysis is conducted to assess the feasibility of offshore wind energy in the coastal regions of Uruguay. The study primarily focuses on utilizing ERA5 reanalysis data to meticulously evaluate wind patterns, speeds, and directional trends in marine areas. This detailed analysis, utilizing hourly estimates and global coverage of ERA5, aims to provide a deeper understanding of the wind resource potential in Uruguay's maritime territories. By leveraging ERA5 reanalysis data, the study aims to provide accurate information on the long-term variability and characteristics of marine wind resources.

Furthermore, the study characterizes climatic models using wind data reanalysis from the maritime zone proposed by ANCAP to assess the wind resource and the feasibility of offshore wind energy production in Uruguay. It delves into the role of offshore wind farms in future energy systems, particularly in the eastern zone of Uruguay's territorial sea. Additionally, an approach based on the study "Accurate long-term power generation model for offshore wind farms in Europe using ERA5 reanalysis" is implemented, considering Uruguay's specific topography. This approach aims to obtain more precise forecasts tailored to the specific conditions of the study area.

In summary, this study represents a significant step towards understanding Uruguay's marine wind potential. By leveraging ERA5 reanalysis, it aims to inform the strategic development of offshore wind farms, contributing to Uruguay's sustainable energy objectives.

Keywords: *Climate models, offshore wind resource, ERA5, reanalysis, wind power.*