



ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA EÓLICA EN EL CENTRO Y SUR DE NEUQUÉN

*Samuel D. Troncoso Schenker^{*1}*
Lidia Ferreyra¹
Claudia Palese¹

(Manuscrito recibido el 12 de octubre de 2018, en versión final 18 de diciembre de 2018)

Para citar este documento

Troncoso Schenker, S. D., Ferreyra, L. & Palese, C. (2018). Actualización de la cartografía eólica en el centro y sur de Neuquén. *Boletín geográfico*, 40 (2), 13-26.

Resumen

En los últimos años, el aprovechamiento del recurso eólico fue incrementándose no sólo con el objetivo de diversificar la matriz de generación eléctrica de los países, sino también para abastecer de energía a pequeñas poblaciones que se encuentran aisladas de las redes eléctricas. Este trabajo tuvo como objetivo la actualización del Mapa del Potencial Eólico de la Provincia del Neuquén, con la finalidad de disponer de cartografía eólica actualizada que proporcione la base para estudios de factibilidad de proyectos de generación de energía eléctrica a partir del recurso eólico. Se aprovecharon nuevos datos de viento de excelente calidad existentes en la zona. En este estudio se utilizó un modelo tipo diagnóstico que satisface la ecuación de conservación de la masa que permite manejar múltiples bases de datos. Se utilizaron datos de sensores remotos para caracterizar el relieve y la rugosidad superficial. Las características de la capa límite atmosférica local se obtuvieron de salidas de modelos atmosféricos. Se obtuvo el mapa de la distribución del viento a 50 metros de altura y las características eólicas en puntos de malla en forma direccional del centro y sur de la Provincia del Neuquén. Se evaluó la calidad del ajuste entre los datos obtenidos con el modelo y los medidos en las torres anemométricas. Se logró cartografía eólica de adecuada calidad ($\varepsilon_r = 0,069$ y $r > 0,93$) especialmente en el sector oeste ($\varepsilon_r < 0,04$ y $r > 0,98$) que son las direcciones predominantes y de mayor intensidad en la región. Se obtuvieron ubicaciones dentro del dominio analizado de excelente calidad de

* Becario en la Agencia de Desarrollo de Inversiones del Neuquén S. E. P.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400, C.P. 8300, Neuquén, Argentina. Tel. 0299 - 4490322. E-mail: samueltroncoso24@gmail.com

viento como, entre otras, la Meseta Barda Negra y la Meseta de la Vaca Muerta, en las que la velocidad del viento media anual a 50 metros de altura superó 9,0 m/s y en las direcciones con componente oeste fue mayor a 14,0 m/s. Este hecho indica la posibilidad de instalación de parques eólicos.

Palabras clave: Cartografía eólica, Recurso eólico, Distribución del viento

UPDATE OF WIND CARTOGRAPHY IN CENTRAL AND SOUTHERN NEUQUÉN

Abstract

In recent years the use of the wind resource was increased not only for diversifying the electricity generation matrix of the countries but also to supply energy for small settlements that are isolated from electricity grids. The objective of this work was to update the Wind Resource Map of the Province of Neuquén, in order to have updated wind cartography that provides the basis for feasibility studies of wind power generation projects. New wind data of excellent quality existing in the area was used. In this study, a diagnostic mass consistent model that allows managing databases was used. The relief and surface roughness were elaborated with remote sensors data. The parameters of the local atmospheric boundary layer were obtained from an atmospheric model outputs. The wind map at 50 meters height and the directional wind characteristics in points of mesh of the centre and southern of the Province of Neuquén was obtained. The quality of fit between the model results and the measurements was evaluated. Wind cartography of adequate quality ($\epsilon_r = 0.069$ and $r > 0.93$) was achieved, especially in the west sector ($\epsilon_r < 0.04$ and $r > 0.98$), which are the predominant and most intense wind directions in the region. Excellent wind quality location, near good routes and power lines, as, among others, the Barda Negra Plateau and the Vaca Muerta Plateau, in which the annual average wind speed at 50 meters height exceeded 9.0 m/s and at west directions 14.0 m/s. This fact indicates the possibility of installing wind farms.

Keywords: Wind cartography, Wind resource, Surface wind distribution

Introducción

La energía eólica es una fuente renovable de energía que se obtiene por la conversión de la energía cinética de aire en movimiento (viento) en electricidad mediante el uso de aerogeneradores. La misma constituye un recurso energético inagotable y es abundante en algunos lugares. Aprovechando este recurso se pueden satisfacer desde pequeñas hasta grandes demandas de electricidad, lo cual disminuye

el consumo de combustibles fósiles y contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero.

En los últimos años el aprovechamiento del recurso eólico fue incrementándose no sólo con el objetivo de diversificar las matrices de generación eléctrica de los países, atendiendo una problemática de gran escala, sino también para abastecer de energía a pequeñas poblaciones que se encuentran aisladas de las redes eléctricas.

Una de las maneras, en que nuestro país busca enfrentar los problemas energéticos, es mediante un incentivo en fuentes de energías renovables. La base de esto se centra en la Ley Nacional N° 27.191 de Régimen de Fomento de Fuentes Renovables para la Generación Eléctrica, y en las licitaciones para la instalación de nuevos parques eólicos que se están llevando a cabo a través del Programa RenovAr en sus rondas 1, 1.5 y 2. Por lo tanto, hay posibilidades para que en un corto plazo se instalen en el país varios parques eólicos para la generación eléctrica.

En este contexto, se realizaron en distintas provincias argentinas lo que se denomina el Mapa del Potencial Eólico. Este es un tipo de cartografía que proporciona una base para una estratégica toma de decisiones relacionadas a la distribución del recurso eólico y su eficaz aprovechamiento. La cuantificación del recurso posibilita avanzar en los estudios de factibilidad de proyectos para aplicaciones que incluyen la generación de energía eléctrica a escala comercial en sistemas conectados a la red y de menor escala en sistemas aislados.

Ejemplo de mapas del potencial eólico son: de Argentina <https://sigeolico.minem.gob.ar/>, del Neuquén (Pedro, Mattio, Palese, Warchomicka & Lassig, 2006; Palese, Mattio, Pedro, Warchomicka & Lassig, 2011), de Mendoza (Hualpa & Milani, 2007), de Misiones (Aires, De Bortoli, Frigerio & Roko, 2012) y de Río Negro (Guozden, Bianchi, Solarte & Mulleady, 2018).

La Provincia del Neuquén tiene características ventosas en gran parte del año y el recurso eólico es considerable, por lo que, el objetivo de este trabajo es mejorar la información eólica disponible mediante la producción del mapa del potencial eólico provincial a 50 m de altura sobre el suelo en forma actualizada. Ese permitirá:

- contar con una herramienta básica para la elaboración de planes de desarrollo del recurso eólico;
- facilitar el análisis técnico y económico de las distintas alternativas de abastecimiento energético, constituyéndose en un soporte para la toma de decisiones;
- identificar áreas potencialmente aptas para el desarrollo de proyectos y el diseño de estudios o programas de evaluación del recurso en sitios específicos.

Metodología

Zona de estudio.

La zona de interés que se muestra en el Figura 3 (en color verde) tiene 419.118 habitantes que corresponden al 76,0 % del total de la población provincial (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC], 2012).

Dicha zona comprende 42.390 km² y cuenta con líneas de transporte de energía

eléctrica de media y alta tensión correspondientes al Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

Características del modelo.

La valoración del recurso eólico se realizó con un modelo numérico de simulación atmosférica que incorpora un sistema de información geográfica (Potts, Pierson, Maticen, Harnel & Babau, 2001). El modelo satisface la ecuación de conservación de la masa y calcula el campo de velocidad del viento (V^*) que se desvía la mínima cantidad posible de un campo de viento inicial derivado de datos observados (V). El ajuste necesario para lograr divergencia cero (Ec. (2)) se determina mediante la resolución iterativa de un conjunto de ecuaciones. Para ello se estableció una malla de elementos finitos a lo largo de la región de interés.

Si se denominan $u(x,y,z)$, $v(x,y,z)$, $w(x,y,z)$ a las componentes de velocidad de oeste a este, de sur a norte y hacia arriba en la vertical, el modelo propone un $V^* = (u^*(x, y, z); v^*(x, y, z); w^*(x, y, z))$ que minimiza el *funcional J* definido como:

$$J = \iiint_V [\alpha_1 (u^* - u)^2 + \alpha_2 (v^* - v)^2 + \alpha_3 (w^* - w)^2] dx dy dz \quad (1)$$

Restringido a:

$$\text{div } V^* = \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial v^*}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

En el cual $V = (u(x, y, z); v(x, y, z); w(x, y, z))$ es el campo de viento medido; α_i son módulos de precisión. Para tener en cuenta la estratificación atmosférica y la desviación respecto a las condiciones de estabilidad neutra se afecta la ecuación de trabajo con coeficientes de corrección (Rohatgi & Vaughn, 1994).

El procedimiento utiliza aproximaciones matemáticas para resolver el campo de velocidades sin la necesidad de utilizar ecuaciones de transporte como las ecuaciones de Navier-Stokes. El resultado de este modelo es adecuado y requiere un menor esfuerzo computacional y se muestra a través de mapas de la distribución sobre el terreno del viento a distintos niveles de altura sobre el nivel del suelo.

Como el modelo trabaja en forma direccional se fijó un intervalo de clase de 30° para la dirección del viento, de este modo los cálculos se determinaron en 12 sectores de dirección.

En este trabajo se calculó la distribución superficial del viento a 50 metros de altura, que podrá ser comparada con el Mapa del Potencial Eólico existente (Pedro et al., 2006).

Dominio de análisis.

El dominio es rectangular y abarca el área comprendida entre 37° 55' S - 40° 36' S en la dirección norte - sur y 67° 58' O - 71° 09' O en la dirección este - oeste

(sombreado azul en la Figura 3). La malla utilizada tiene 638 nodos en el “eje x”, 700 nodos en el “eje y” y 15 niveles de altura en el eje σ (eje vertical conforme al terreno). La resolución espacial horizontal es de 423 metros. El dominio abarca y excede el área de interés de este estudio (sombreado verde en la Figura 3).

Mapa digital de elevación.

Los datos fueron descargados del sitio web del Servicio Geológico U.S. Geological Survey y tienen una resolución espacial horizontal de un segundo de arco. Por medio de una transformación fueron rectificadas a la resolución y dimensiones del dominio de análisis. En la Figura 1 se muestra el modelo digital de elevación utilizado. El sistema de referencia empleado fue Gauss-Krüger Argentina.

Mapa digital de rugosidad aerodinámica superficial media anual.

Para su obtención se usó una metodología indirecta basada en datos satelitales de los canales reflectivos del sensor ETM+/Landsat7 (Palese, 2005). A cada uso/cobertura del suelo en que fue clasificada la escena satelital se lo asoció con un valor de rugosidad aerodinámica superficial ($z0$) según Spera (1999) y Stull (1988). El resultado se observa en la Figura 2 que muestra los valores medios anuales.

Viento de altura (viento geostrófico).

La velocidad y la dirección del viento geostrófico fueron descargados del Global Data Assimilation System (GDAS/NOAA). Corresponden a datos derivados de un modelo atmosférico. Se utilizó un período de 5 años (2000 - 2004). Los datos de viento son estimaciones cada 6 horas que corresponden a la velocidad y dirección del viento a 810 m, 1.510 m y 3.090 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Estos datos son de una posición central y válida para todo el dominio.

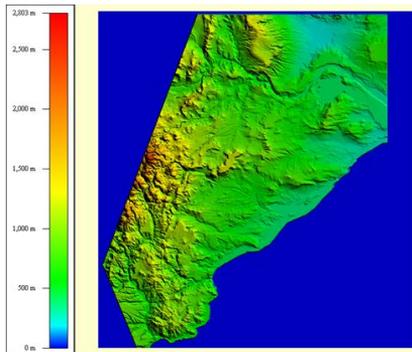


Figura 1. Mapa digital de elevaciones en metros s.n.m.m.

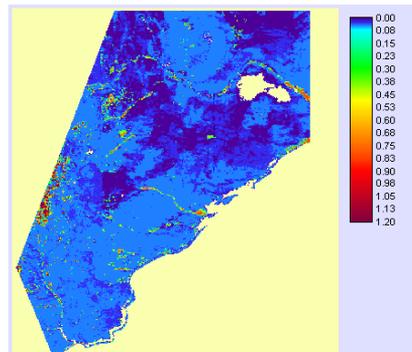


Figura 2. Mapa digital de $z0$ media anual en metros.

	810 m s.n.m.	1.510 m s.n.m.	3.090 m s.n.m.
Dirección más frecuente (frecuencia)	240 ° (25,7 %)	270 ° (25,8 %)	270 ° (31,6 %)
Velocidad media anual	5,8 m/s	9,6 m/s	12,8 m/s
Vientos más fuertes (dirección)	7,4 m/s (270°)	12,2 m/s (270°)	15,2 m/s (270°)

Tabla 1. Características de los vientos de altura en la región de estudio.

En la Tabla 1 se observa que los vientos de altura más frecuentes son del sudoeste (240°) en el nivel más bajo y rotan al oeste (270°) en los niveles superiores. El incremento vertical de la intensidad del viento fue promedio es 0,004 (m/s)/m, este dato es utilizado en las interpolaciones verticales del modelo. El análisis direccional muestra que los vientos más intensos son los Oestes cuyas velocidades varían entre 7,4 y 15,2 m/s en las tres alturas.

Capa límite atmosférica.

El modelo estima los perfiles verticales del viento dependiendo del tipo de estabilidad del aire dentro de la subcapa superficial de la capa límite atmosférica. Ésta estabilidad se indica mediante la longitud de Monin-Obukhov que depende de la velocidad del viento, la rugosidad superficial y del flujo de calor (Stull, 1988).

La altura de la capa límite, la altura de la subcapa de superficie y la longitud de Monin-Obukhov se determinaron con un valor promedio anual para la posición central del dominio. Para ello se usaron los datos del sistema GDAS/NOAA.

Los cálculos efectuados, siguiendo la metodología propuesta en Palese y Lassig (2015), mostraron que la altura de la capa de mezcla estuvo a 663 metros sobre el nivel del suelo (m.s.n.s.), la altura de la subcapa de superficie estuvo a 170 m.s.n.s., el tipo de estabilidad atmosférica más frecuente fue la neutral (57% del año), mientras que 33% del año fue estable y 10% inestable.

Viento de superficie.

Para representar adecuadamente las características del flujo a través de la región es importante tener una red de estaciones de medición densa, por ello, en este trabajo no sólo se utilizaron las mediciones actualizadas de la velocidad y dirección del viento, sino también aquellas utilizadas en la elaboración del Mapa del Potencial Eólico provincial anterior (Pedro et al., 2006).

Se tuvo especial cuidado en la exactitud de los datos, para lo cual, se realizó un estricto control de calidad de las bases de datos medidos de velocidad y de dirección con el objetivo de identificar todo aquel registro incorrecto. Esta tarea incluyó el reanálisis de las bases de datos utilizadas con anterioridad y el análisis de las nuevas. Para efectuar la corrección por interferencia de la torre en las mediciones del viento se utilizó la metodología sugerida en Mattio y Tilca (2009) en las cinco estaciones incorporadas en esta actualización.



Figura 3. Dominio completo del modelo en color azul y región de interés en color verde. Se indican en color rojo las estaciones meteorológicas utilizadas en el mapa de viento anterior (Pedro et al., 2006) y en color amarillo las 5 nuevas estaciones de alta calidad. La imagen de fondo es Google Earth del 30/12/2016.

En la Figura 3 se muestra la densidad de la red de medición que totalizan 18 torres anemométricas. Dentro de este conjunto destacan las bases de datos de los Aeropuertos de Neuquén y Chapelco porque corresponden a 31 y 21 años, respectivamente. Por otra parte, las estaciones incorporadas en este estudio para la actualización del mapa eólico se distinguen por tener mediciones cada 10 minutos a varios niveles de altura (20 m, 40 m, 60 m y 80 m s.n.s.).

Estación meteorológica de referencia.

La estación de referencia define las frecuencias de ocurrencia para cada sector de dirección y por lo tanto, las medidas que el modelo utiliza para promediar el campo de viento final. Como se la utiliza para todo el dominio debe ser representativa. La Figura 4(a) muestra la rosa de los vientos de dicha estación. En ella se observa que el viento provino en forma predominante de las direcciones 270° (oeste) y 300° (oeste-noroeste), ambas suman 42 % de frecuencia anual. Los vientos de estas direcciones fueron, además, los más fuertes, del oeste (270°) a 9,6 m/s y del oeste-noroeste (300°) a 10,1 m/s, como se observa en la Figura 4(b).

Caracterización de la velocidad del viento.

Se realiza mediante la determinación de la función de densidad de probabilidad de Weibull, $f(v)$, que tiene la forma:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3)$$

donde, v es la velocidad del viento, k es el parámetro de forma y c es el parámetro de escala.

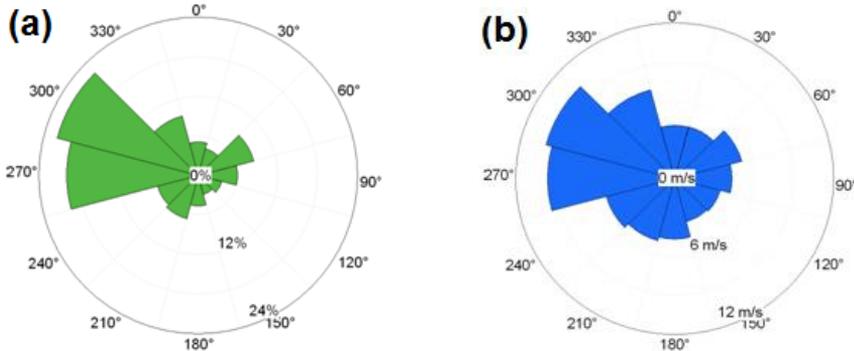


Figura 4. Distribuciones direccionales en la estación de referencia. **(a)** Distribución de frecuencias de la dirección del viento. **(b)** Distribución de velocidades medias por dirección.

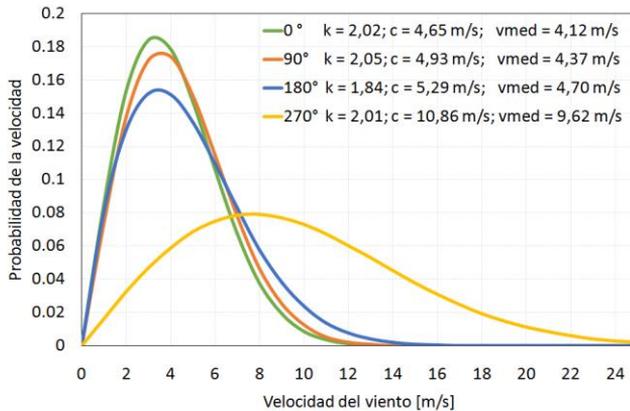


Figura 5. Distribución de probabilidad de la velocidad del viento media anual en las direcciones norte (0°), este (90°), sur (180°) y oeste (270°) en la estación de referencia.

En la Figura 5 se grafican las $f(v)$ de cuatro direcciones del viento de la estación meteorológica de referencia y se incluyen los parámetros de forma, de escala y la

velocidad media anual por dirección. Cuando los vientos provienen de las direcciones norte, este y sur tienen, en promedio, alta frecuencia de ocurrencia las velocidades mayores a 2,0 m/s y menores e iguales a 4,0 m/s; cuando provienen del oeste la mayor ocurrencia es de vientos con velocidades mayores a 7,0 m/s y menores e iguales a 8,0 m/s.

Productos de la ejecución de modelo.

Los resultados del modelo son de dos tipos: uno consiste en una matriz de datos que contiene, de la totalidad de los nodos de la malla, la velocidad media anual, v , y de cada uno de los 12 sectores del viento, la frecuencia, la velocidad media direccional y el parámetro de forma, k , de la función $f(v)$. Esta matriz de datos está incluida en un archivo de recurso RSF.

El otro resultado es la cartografía digital con la distribución de la velocidad y del coeficiente de variación de la velocidad con la altura.

Evaluación de la precisión de los resultados y validación.

Se efectuó mediante el cálculo direccional del error relativo porcentual, ε_r , y del coeficiente de determinación, r^2 , entre las velocidades medidas y las que resultaron de la simulación. Se consideraron que los resultados eran representativos si $\varepsilon_r \leq 20\%$ en la estimación de la velocidad media general y $\varepsilon_r \leq 10\%$ en las velocidades medias de las direcciones más frecuentes. Además, debía ser $r^2 \geq 0,80$.

La validación de los resultados se realizó mediante una simulación sin incorporar los datos de una estación de medición, a la que llamamos *Estación Testigo*, ni en la inicialización del modelo ni en la ejecución final. Una vez obtenidos los valores direccionales de velocidad en su posición se calcularon los coeficientes de determinación, r^2 , y de correlación, r , para medir la bondad del resultado.

Visualización de datos contenidos en el archivo de recurso RSF.

Para poder realizar un proceso de búsqueda, interpretación, contrastación y comparación de los resultados numéricos obtenidos por el modelo, contenidos en el archivo de recurso RSF, se desarrolló un software de visualización de datos. El objetivo de este desarrollo se basó en lograr un conocimiento en profundidad y detalle de la información contenida en la matriz de resultados (archivo de recurso RSF) de manera de transformarla en información clara y accesible para cualquier usuario.

Resultados y Análisis

Precisión lograda.

En la Figura 6(a) se observan más valores por arriba de la recta de identidad que por debajo indicando que la simulación sobreestimó las mediciones. La precisión alcanzada fue $r^2 = 0,88$, considerando todas las mediciones y todas las direcciones del viento. En las direcciones más frecuentes fue $r^2 > 0,97$.

El valor absoluto del error relativo porcentual fue menor a 7 %. En las direcciones más frecuentes (210° a 270°) los errores individuales por estación no

superaron 12 % (figura no mostrada) y los errores generales promedio de todas las estaciones fueron inferiores a 3,2 % (Figura 6(b)).

Validación de los resultados.

La Figura 7 muestra el ajuste alcanzado entre las velocidades simulada y medida en la posición de la *Estación Testigo* según las direcciones del viento. El coeficiente de correlación resultó $r = 93,6\%$ y el de determinación fue $r^2 = 0,875$. La simulación sobreestimó las mediciones, sin embargo, la simulación representó adecuadamente el clima eólico local (Cogliati, 2005; Lassig, Cogliati, Bastanski & Palese, 1999). Las diferencias, en promedio, entre los resultados del modelo en esa ubicación y las mediciones fueron más grandes (en 1,3 m/s) que las obtenidas cuando la estación es incluida en la simulación (0,1 m/s). El principal factor se debe a que las mediciones corresponden a una ubicación puntual mientras que la velocidad simulada por el modelo representa un área de 423 m x 423 m (178.929 m²). Además, hay incertidumbre relacionada con la localización geográfica de la *Estación Testigo* y su exacta posición en el mapa de viento hallado.

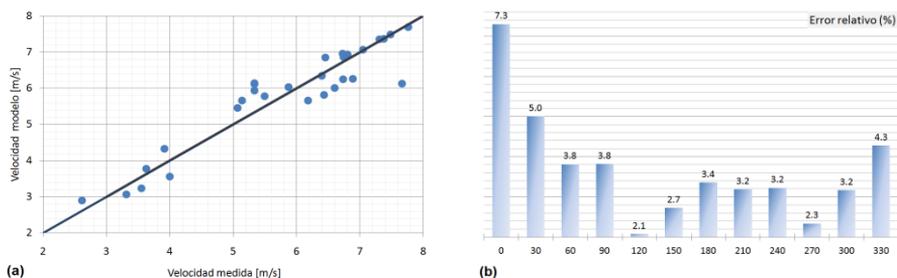


Figura 6. (a) Velocidad modelada vs medida y recta identidad. (b) Errores relativos porcentuales direccionales.

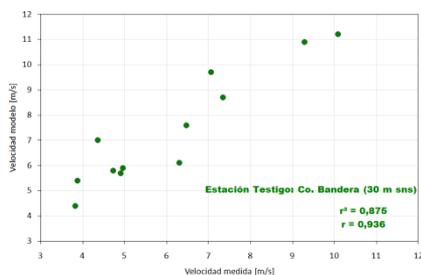


Figura 7. Velocidad medida vs velocidad modelada en la posición de la *Estación Testigo*.

Mapa de viento.

En la Figura 8 se muestra el resultado del mapa de la velocidad media anual a 50 metros de altura. La mínima velocidad es 3,4 m/s y la máxima 12,8 m/s.

La Tabla 2 detalla el porcentaje de superficie de cada rango de velocidades. Se observa que 66,4 % de la superficie tiene velocidades entre $5,0 \text{ m/s} \leq V < 7,0 \text{ m/s}$.

Rangos de velocidad (m/s)	[0 – 5)	[5 – 6)	[6 – 7)	[7 – 8)	[8 – 9)	[9 – 13)
Porcentaje de la superficie total (%)	17,4	34,3	32,1	13,1	2,6	0,5

Tabla 2. Porcentaje de superficie que ocupa cada rango de velocidades a 50 metros de altura.

Las zonas con buenos vientos que se observan en la Figura 8 son apropiadas para realizar aprovechamientos eólicos y estas zonas se encuentran en cercanías de las líneas de transmisión de energía eléctrica de media o alta tensión del SADI y además están próximas a rutas.

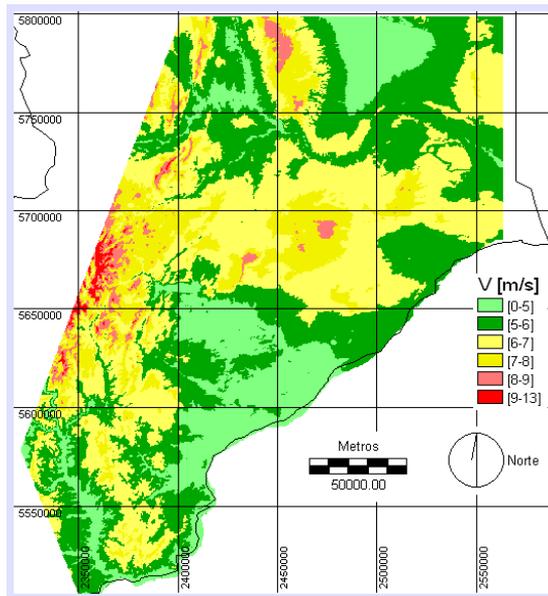


Figura 8. Mapa de la velocidad del viento media anual (m/s) a 50 metros de altura.

Una zona que cumple con las condiciones del párrafo anterior se ubica en la Meseta Barda Negra (a 17 km al sudeste de Zapala) que presenta vientos de calidad excelente, la velocidad media anual es 9,2 m/s, las velocidades más probables son entre 6 y 7 m/s, las direcciones del viento más frecuentes son 270° y 300° , siendo de

ésta última dirección los vientos más fuertes de 15,6 m/s a 50 metros de altura. En la Figura 9, que es una ampliación del mapa eólico, se señala la posición y en forma de tablas y gráficos se presentan las características del viento de ese sitio.

En dicha posición el área total con vientos excelentes es de 159 km² y se encuentra a 20 km de distancia de la línea eléctrica de 132 kV y a 14 km de la RN 22.

También presenta características excelentes del recurso eólico y mejor accesibilidad la Meseta de la Vaca Muerta (a 19 km al sur de Las Lajas) que está a 2,6 km de la línea eléctrica de 132 kV y a 2,7 km de la RN 40.

Comparación con el Mapa del Potencial Eólico del año 2006.

Los resultados de este trabajo se compararon con el Mapa del año 2006 (Pedro et al., 2006). Para ello se ubicaron en ambos mapas 6 lugares (no se muestran en este manuscrito) y se calculó el coeficiente de correlación entre las velocidades. El resultado fue $r = 59 \%$ ($r^2 = 0,35$). Las diferencias encontradas pueden deberse principalmente a las distintas resoluciones espaciales que tienen los mapas, 1.200 metros el del año 2006 y 423 metros esta actualización. Por otra parte, la densidad y calidad de los datos de viento fue distinta.

Conclusiones

Los datos de viento utilizados fueron de torres de medición con sensores de calidad y en la mayoría de los casos hubo más de 80 % de disponibilidad de los mismos. Se contó con mediciones de largo plazo con registros mayores a 20 años y de nuevas estaciones meteorológicas homologadas en la industria eólica. El análisis estadístico de los datos de viento mostró que éstos representan adecuadamente las características del viento de la región.

La simulación lograda sobreestima las intensidades del viento medido, sin embargo, el error relativo general fue 6,9 % y en los vientos del oeste el error no superó 4 %. Las velocidades resultantes del modelado se ajustaron bien a las velocidades medidas, el coeficiente de correlación general fue 93 % y en los vientos del oeste se logró 98 %. La validación de los resultados efectuada comparando los valores medidos y los modelados de la *Estación Testigo* seleccionada fue apropiada.

Se logró el Mapa del Potencial Eólico actualizado a 50 metros de altura de adecuada calidad. Los valores mínimos de velocidad se ubican en las zonas más bajas y los máximos en las más expuestas y elevadas Este hecho es provocado por la fuerte influencia que tiene el relieve en la velocidad del viento dentro de la capa límite atmosférica. El mínimo se produce en una zona resguardada por una barda (escalón de la meseta) cerca del pueblo Los Molles y el máximo en el Cerro Chachil que tiene 2.831 m.s.n.m.

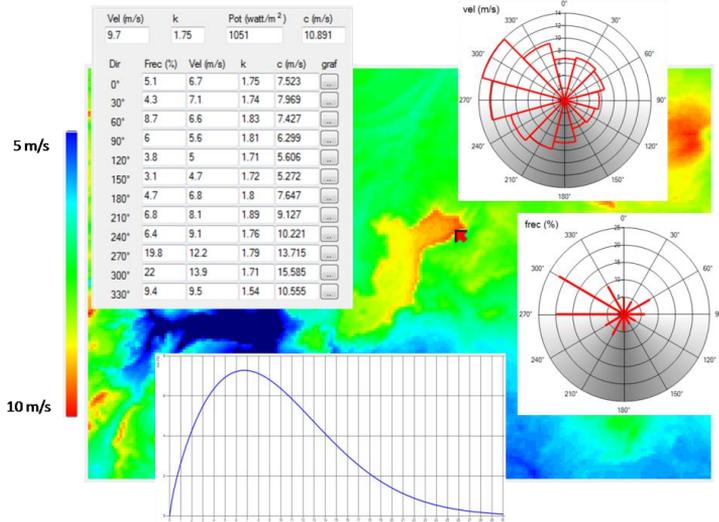


Figura 9. Mapa ampliado de la velocidad media anual (m/s) a 50 metros. Características del viento en la Meseta Barda Negra. La flecha roja ubica el lugar de interés. La tabla en el panel superior izquierdo muestra de esa posición la velocidad, la potencia eólica disponible, los parámetros c y k , en forma media anual general y por cada uno de los sectores de la dirección del viento. El gráfico inferior izquierdo presenta la $f(V)$ de Weibull. A la derecha están la rosa de intensidades en el panel superior y de frecuencias en el inferior.

Esta actualización mejora en 3 veces la resolución espacial horizontal (423 metros) respecto al mapa del potencial eólico provincial existente que es de 1.200 metros. Además, se mejora la calidad de $\varepsilon_r = 13,5 \%$ del mapa anterior (Palese et al, 2011) a $\varepsilon_r = 6,9 \%$ en esta valoración.

Se lograron ubicar lugares con excelentes velocidades medias anuales que disponen del acceso a líneas de transporte de energía eléctrica del SADI y a rutas.

Agradecimientos

Esta actualización de la cartografía eólica se logró gracias a los nuevos datos de velocidad y dirección del viento, de alta calidad, provistos por la Agencia de Desarrollo de Inversiones del Neuquén SEP (ADI-NQN SEP). Además, los autores agradecemos a la Cooperativa Eléctrica de Cutral Có, al Ente Provincial de Energía del Neuquén, al Servicio Meteorológico Nacional, a la Central Térmica Capex, al Aeropuerto de Cutral Có y a la Escuela Provincial de Enseñanza Técnica de Junín de los Andes por los datos de vientos provistos. Este trabajo se realizó con fondos de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Comahue PI04/I227.

Bibliografía

- Aires, M., De Bortoli, M. E., Frigerio, E., & Roko, S. R. (2012). Estimación del potencial eólico de la provincia de Misiones. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 06.09 – 06.16.
- Cogliati, M. G. (2005) Análisis climático de eventos con viento intenso en Neuquén. *Boletín Geográfico*, 26, 11 – 20.
- Guozden, T.M., Bianchi, E., Solarte, A. & Mulleady, C. (2018). Evaluación de Recursos Eólicos en la Provincia de Río Negro (Patagonia Argentina) usando Merra Reanalysis. *Meteorológica*. 43, 2, 47 - 61.
- Hualpa, F. & Milani, F. (2007). Mapa eólico de la Provincia de Mendoza. Informe Técnico Proyecto J-046, Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 60 pág.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2012). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, Censo del Bicentenario, Resultados Definitivos*, Serie B N° 2. v. 1, 378 p. Buenos Aires, Octubre de 2012
- Lassig, J. L., Cogliati, M. G., Bastanski, M. A. & Palese, C. (1999) Wind characteristics in Neuquén, North Patagonia, Argentina, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 79, 183-199.
- Mattio, H. F. & Tilca, F. (2009). Recomendaciones para mediciones de velocidad y dirección de viento con fines de generación eléctrica, y medición de potencia eléctrica generada por aerogeneradores. CREE, INENCO, Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Energía de la Nación.
- Palese, C. (2005) Longitud de rugosidad aerodinámica estimada de datos ETM+/LANDSAT7 del Departamento Confluencia (Provincia Del Neuquén). Primera aproximación, Anales IX Congreso Argentino de Meteorología, CCC-16, Buenos Aires, Argentina.
- Palese, C. & Lassig, J. L. (2015) Atmospheric boundary layer depth and stability conditions at Neuquén Province, Argentina. Actas 14th. International Conference on Wind Engineering, ICWE_ID01993. Porto Alegre, Brasil, 8 pág.
- Palese, C., Mattio, H., Pedro, G., Warchomicka, N. & Lassig, J. (2011). Mapa eólico de la Provincia del Neuquén, *Revista HIDRORED Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía*, 2, 3-11.
- Pedro, G., Mattio, H., Palese, C., Warchomicka, N. & Lassig J. (2006). Recurso eólico de la Provincia del Neuquén. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10, 6:15 – 6:21.
- Potts, J. R., Pierson S. W., Maticen P. P., Harnel J. R. & Babau V. C. (2001) Wind energy resource assessment of western and central Massachusetts. Actas de la Conferencia de American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA-2001-0060: 11pág.
- Rohatgi, J.S & Vaughn, N. (1994) *Wind characteristics. An analysis for the generation of wind power*. Alternative Energy Institute, West Texas A&M University, 239 pág.
- Spera, D. A. (1994). *Wind Turbine Technology*, 393 pág. New York: ASME Press.
- Stull, R. B. (1988). *An introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers.