



Caracterización climática de los vientos en Argentina a partir de datos observados y satelitales

Tesis de grado presentada para optar al título de

Licenciado en Ciencias Ambientales

Carrera de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Plan 2017

Tomás Lúgaro

Directora: Fernández Long, María Elena

Codirectora: Peretti, Mercedes

Consultora: Barnatán, Irene

Facultad de Agronomía

Universidad de Buenos Aires

Fecha de entrega: 31/08/2022

ÍNDICE

Índice.....	2
Resumen.....	3
Introducción	4
<i>Objetivos</i>	6
Materiales y Métodos	6
<i>Base de datos del SMN</i>	7
<i>Base de datos NASA POWER</i>	9
<i>Análisis de datos</i>	9
<i>Diseño de la página web</i>	12
<i>Software utilizado</i>	12
Resultados y Discusión	13
CAPÍTULO 1: Caracterización de la intensidad del viento.....	13
<i>1.1 Variabilidad espacial</i>	13
<i>1.2 Variabilidad temporal</i>	16
1.2.1 Región Noroeste.....	19
1.2.2 Región Centro-Noreste.....	20
1.2.3 Sur de Buenos Aires.....	22
1.2.4 Región Centro – Oeste	24
1.2.5 Región de la Patagonia.....	26
CAPÍTULO 2: Caracterización de la dirección del viento	29
<i>2.1 Rosas de los vientos por región</i>	29
CAPÍTULO 3: Distribución de frecuencias de la intensidad del viento horario	32
<i>3.1 Distribución de Weibull</i>	32
CAPÍTULO 4: Distribución de frecuencias de calmas	35
<i>4.1 Frecuencia de calmas a escala anual</i>	35
<i>4.2 Frecuencia de calmas a escala diaria</i>	36
CAPÍTULO 5: Aplicación web.....	38
Conclusiones	40
Bibliografía	40

RESUMEN

El viento es una variable meteorológica de gran importancia en el sistema climático ya que es el encargado de compensar las diferencias de presión en la atmósfera provocadas por el calentamiento desigual de la superficie. En Argentina, el viento presenta una gran variabilidad debido a la extensión latitudinal del país y a su relieve, y a la influencia de dos anticiclones, o células de alta presión y un ciclón comúnmente conocido como la Depresión termo-orográfica del NOA. En Argentina, existen pocos antecedentes de caracterizaciones de viento, y las encontradas representan sitios puntuales, o no se encuentran actualizadas. El objetivo de esta tesis es caracterizar la intensidad y dirección del viento en Argentina y su variación espacial y temporal con datos observados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y datos satelitales de NASA POWER. Para ello, se trabajó con 54 estaciones meteorológicas del SMN seleccionadas de una base de 118 estaciones, en función de los datos faltantes y de la consistencia de las series temporales; y, con datos satelitales de la base de datos NASA POWER. Se calculó la intensidad media anual como estacional del viento para el período 2000-2020 en todo el país, y se realizaron marchas anuales con ambas bases de datos y diarias con datos del SMN. La dirección se evaluó a partir de la construcción de rosas de los vientos anuales. Por último, se realizaron las distribuciones de Weibull con los datos horarios observados y se analizó la frecuencia de calmas. Se observó una mayor intensidad de viento en el sur del país disminuyendo hacia el norte, encontrándose mayor intensidad de viento durante la primavera y los mínimos durante el otoño en todo el país excepto en la Patagonia, donde los máximos ocurren en verano y los mínimos en invierno. Además, se obtuvo una buena correlación entre las marchas anuales de los datos observados y satelitales, con un coeficiente de Spearman mayor a 0.8 en 42 de los 54 sitios utilizados. En el noreste del país, la dirección del viento presenta una clara predominancia del noreste, en la Patagonia del oeste, y vientos variables debido al relieve en el centro y oeste del país. La distribución de probabilidad de las frecuencias relativas horarias de intensidad de viento se ajusta bien a una distribución de Weibull en casi todos los casos. Por último, se creó una página web con todos los resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El viento es una variable meteorológica de gran importancia en el sistema climático ya que es el encargado de compensar las diferencias de presión en la atmósfera provocadas por el calentamiento desigual de la superficie. Su estudio es relevante porque está asociado a la ocurrencia de sequías (Iogna, 2017), la erosión eólica (Buschiazzo *et al.*, 2009), el transporte de contaminantes (Venegas *et al.*, 2012), disturbios ecológicos (Konopka *et al.*, 2016) y a la producción de energía eólica (Otero *et al.*, 2017). También es considerado una adversidad climática, ya que puede producir vuelco de plantas en plantaciones agrícolas (Manzur *et al.*, 2020) o contribuir a la propagación de incendios (Guzmán *et al.*, 2004). En función del interés, puede ser abordado en distintas escalas espaciales y temporales. También, como se dijo anteriormente, es relevante en el estudio de la dinámica de las sequías debido a la influencia en la evapotranspiración (Iogna, 2017). Además, se conocen efectos adversos acoplados en condiciones de sequía y viento de gran intensidad sobre los bosques (Csilléry *et al.*, 2017), y los pastos (Grace *et al.*, 1977). Por las razones mencionadas es importante conocer y estudiar su dinámica espacial y temporal.

El viento en Argentina tiene una gran variabilidad espacial debido a su gran extensión latitudinal, su variedad de biomas, su relieve, y la influencia de dos anticiclones, o células de alta presión, que poseen intensidad similar e igual posicionamiento y extensión latitudinal. Uno se localiza sobre el océano Atlántico y otro sobre el océano Pacífico (Prohaska, 1976). En verano sobre el noroeste de la Argentina y el sur de Bolivia se forma una baja continental comúnmente conocido como DNOA (Depresión termoroográfica del NOA) (Lichtenstein, 1980). Esta circulación provoca el aumento de los vientos del norte al este de 63°W y al sur de 18°S y el aumento de la humedad sobre la Cuenca del Plata (Ferreira *et al.*, 2004) Además, la circulación media de los vientos asociados con ambos anticiclones subtropicales se desplaza hacia el Sur, hasta una zona de transición. En invierno vuelven a retirarse al norte (Barros y Perczyk, 2006).

Para estudiar el viento en superficie se pueden utilizar mediciones realizadas en estaciones meteorológicas o información satelital. En los últimos años, con el avance de nuevas tecnologías, ha aumentado el uso de información satelital para la medición de

distintas variables meteorológicas. Como consecuencia, hoy en día disponemos de este tipo de información en distintas bases de datos como POWER-NASA (Stackhouse *et al.*, 2019) y NOAA (NOAA, 2006). Vale la pena remarcar las ventajas y desventajas de cada fuente de información. Los datos observados tienen una mayor precisión, sin embargo, hay una menor cobertura de área. En Argentina, existe una baja cantidad de estaciones meteorológicas y su distribución es muy heterogénea ya que la mayoría se concentra en el centro del país, dejando con muy poca cobertura de observaciones las regiones del norte y sur. Esto genera un problema a la hora de realizar estudios de gran escala como el que se pretende en este trabajo, por lo que es necesario complementar esa información con datos satelitales. Las estimaciones realizadas con sensores remotos abarcan grandes áreas, lo que permite complementar las observaciones de superficie con datos de menor precisión.

En Argentina, se pueden encontrar diversos trabajos sobre caracterización del viento para la producción de energía eólica en la escala local. Por destacar algunos, se pueden mencionar estudios de la velocidad del viento para la localidad de San Julián en la provincia de Santa Cruz (Otero *et al.*, 2016), el atlas del potencial eólico de la Patagonia (Barros, 1983), la descripción de la dirección e intensidad del viento medio mensual en Trelew (Cúneo *et al.*, 2018), el análisis de la dirección del viento en dos emplazamientos eólicos en Puerto San Julián (González *et al.*, 2016), una caracterización del viento en escala diaria (Palavecino, 2021), el régimen de viento y potencia eólica de escala regional en el norte de la Patagonia (Palese *et al.*, 2001) y un estudio sobre el recurso potencial eólico y solar para la generación de energía en el valle de Lerma, provincia de Salta (Belmonte *et al.*, 2008).

En Sudamérica se han hecho trabajos similares sobre caracterización del viento, por ejemplo, en Colombia se compararon datos satelitales con datos observados en estaciones costeras y oceánicas (Ruiz-Ochoa *et al.*, 2009), y en Ecuador se analizó el potencial eólico de la región occidental del país a partir de datos observados en estaciones meteorológicas (Guillemes, 2014). Por otro lado, a escala planetaria existen numerosos trabajos que, a partir de modelos, caracterizan la circulación general de la atmósfera, por ejemplo, Espinoza *et al.* (2020) a partir de datos de reanálisis del NCEP/NCAR presentan el viento a una altura geopotencial de 925 hPa. Si bien se han encontrado trabajos,

realizados en la escala regional, global o local, no se cuenta actualmente con caracterizaciones de los vientos para la Argentina.

A partir de la presente investigación, se busca contribuir al conocimiento de los vientos en Argentina para su caracterización climática, tanto en su intensidad como en su dirección en distintas escalas temporales con datos observados en superficie y con estimaciones satelitales. Además, dada la necesidad de diversificar la matriz energética, y siendo una de las posibles soluciones incrementar la producción de energía eólica (Garrido *et al.*, 2013), también se busca contribuir al conocimiento del viento en Argentina para estimar posibles zonas de generación de esta energía.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar el viento por su intensidad y dirección en el territorio argentino. Objetivos secundarios:

- 1. Caracterizar la intensidad del viento en el territorio argentino a partir de dos bases de datos. Una de datos observados del Servicio Meteorológico Nacional y otra de datos estimados en base a observaciones satelitales de NASA POWER. Generando mapas de intensidad de viento para cada fuente de datos.*
- 2. Caracterizar al viento por su dirección en el territorio argentino a partir solo de datos observados, dado que la base de datos de NASA POWER no posee esa información.*
- 3. Crear una página web que presente toda la información generada a partir de los resultados de este trabajo para que esté disponible para fines educativos, estudiantes, investigadores y el público en general.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron datos observados de 54 estaciones meteorológicas de la red de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), distribuidas en el territorio argentino (Figura 1). Para lograr un abordaje en la escala nacional como se pretende en este trabajo, y debido a la escasa cantidad de estaciones meteorológicas operativas en el país, y a su distribución heterogénea, los datos observados del SMN se

complementaron con datos estimados a partir de observaciones satelitales de NASA POWER, la base de datos satelitales de la NASA (Stackhouse *et al.*, 2019).

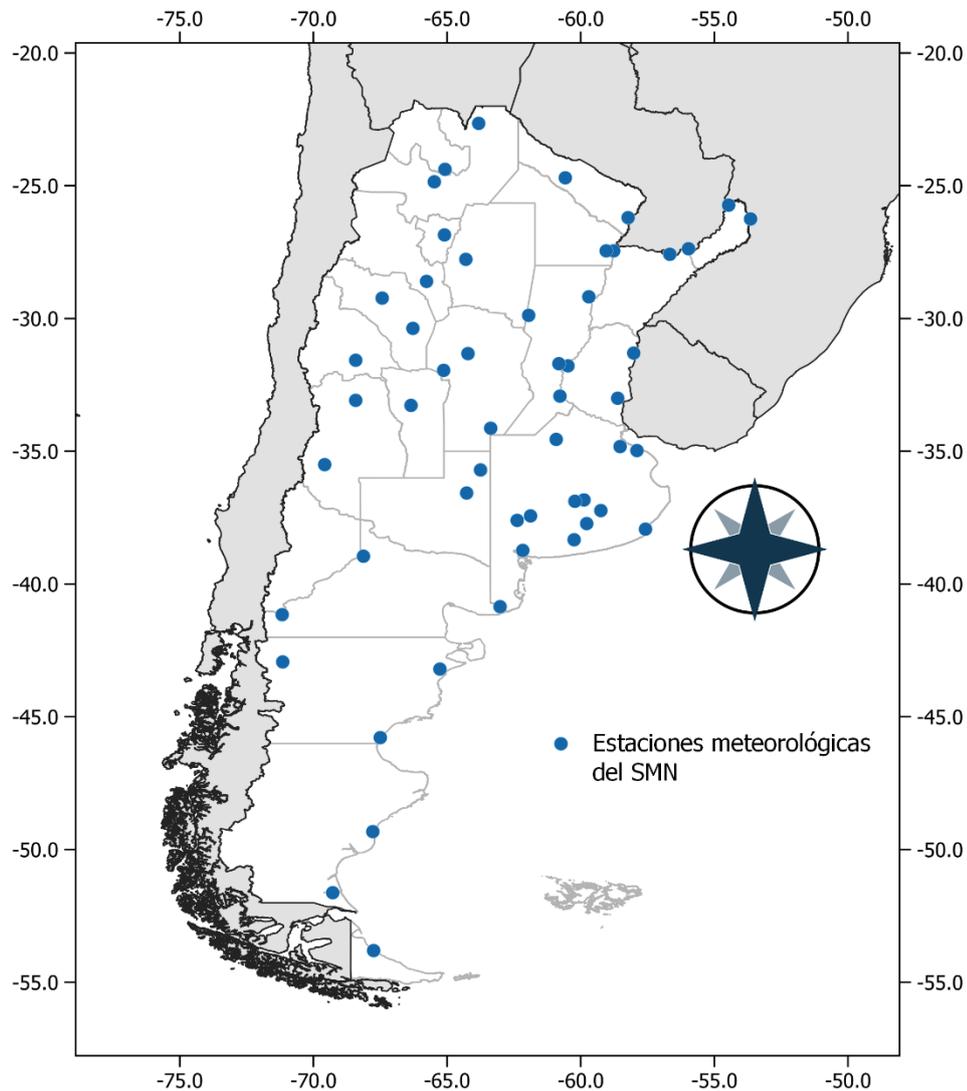


Figura 1. Sitios de observación en estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) utilizadas para el análisis de datos.

Base de datos del SMN

Para la selección de estaciones y el posterior análisis de datos, se tomaron todos los datos disponibles y se analizó su calidad con el fin de seleccionar las estaciones con series de datos más completas y homogéneas. Por comunicación personal con la responsable del Banco de Datos del SMN, Irene Barnatán, se detectó que los datos de viento pueden mostrar saltos bruscos en la media y en los desvíos, producto de cambios

temporales o permanentes de instrumental en las estaciones. Para reducir esta posibilidad, el periodo elegido es el comprendido entre los años 2000-2020 ya que en rangos de tiempos recientes es más probable encontrar menos datos faltantes y series de datos más consistentes. Posteriormente se evaluó el número de datos faltantes, para ello se analizó la base de datos y se seleccionaron las estaciones con menos de 10% de datos faltantes con respecto al total. Por último, se seleccionaron las estaciones que no presentaran cambios bruscos en las medias en el período de tiempo elegido, basándonos en el análisis de datos históricos realizado por Peretti *et al.*, (Trabajo en preparación descartándose así las estaciones con alta variabilidad en cuanto a los parámetros especificados. Efectuando el análisis de consistencia se pudo asegurar una buena calidad de la base de datos.

Se trabajó con datos horarios del SMN, sin embargo, no todas las estaciones brindan información en las 24 horas. Algunas poseen registros en 3 horas (en las horas 9, 15 y 21 HOA), y otras sólo tienen datos diurnos (de 8 a 21 HOA). Las observaciones contienen para cada hora la intensidad (km/h) y la dirección en puntos cardinales de 1 a 36, usando las 16 direcciones principales como se muestra en la siguiente figura (Figura 2).

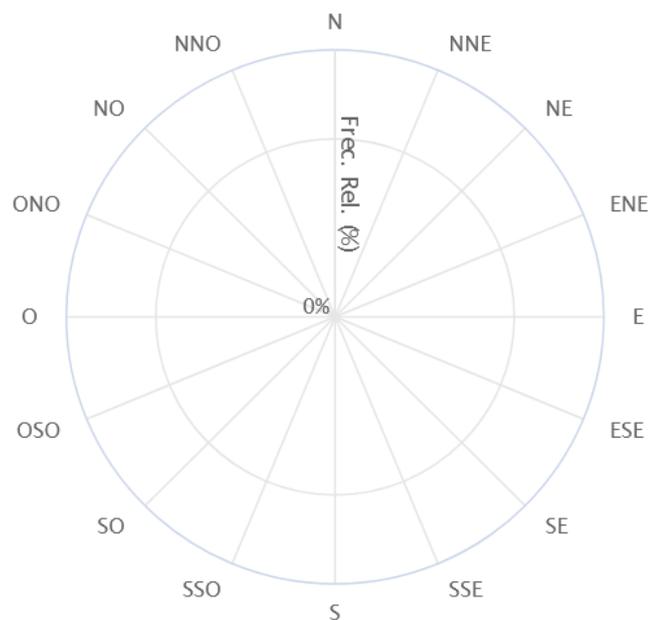


Figura 2. Esquema de rosa de los vientos típica utilizada en este trabajo, con las 16 direcciones correspondientes.

Base de datos NASA POWER

NASA POWER es una base de datos agroclimáticos desarrollada por la NASA con una resolución de píxel de 0,5° de latitud por 0,5° de longitud. Ofrece valores medios de intensidad de viento a 10 metros de altura, y máximos y mínimos diarios, en metros por segundo (m/s). Estos datos se obtienen del Proyecto POWER del Centro de Investigación Langley de la NASA (LaRC) financiado a través del Programa de Ciencias de la Tierra / Ciencias Aplicadas de la NASA, de la base de datos “Agroclimatology” (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Análisis de datos

La base de datos de viento del SMN posee datos horarios. Algunas de las estaciones realizan 24 observaciones diarias, mientras que otras solo tienen 3 horas de observación (9, 15 y 21 horas). Con el objetivo de tener un valor medio diario de viento representativo en todas las estaciones meteorológicas, se comparó, en aquellas estaciones que poseen 24 datos diarios, el valor del promedio realizado con 24 datos y con 3 datos. Se calculó la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de las diferencias y el porcentaje que representa respecto a la media entre el promedio en las 46 estaciones con 24 horas de datos, y el promedio usando sólo los valores de esas 3 horas (Tabla 1), obteniendo un valor promedio de RMSE de 0,45 km/h y un RMSE % de 2,86%. Esto indica que en promedio las medias calculadas con solo 3 datos diarios difirieron en solo un 2,86% respecto a las medias calculadas con 24 datos diarios. A partir de esta información se realizaron mapas de intensidad media de viento (isotacas) mediante una interpolación Kriging para todo el territorio nacional.

Para la caracterización de la variabilidad espacial del viento con los datos de NASA POWER, se procesaron los datos de intensidad convirtiéndolos a km/hora. Se calculó la intensidad media en cada punto de grilla y se realizaron los mapas de intensidad de la misma manera que se hizo con los datos del SMN. Por último, para comprobar la correlación entre datos de intensidad media de NASA POWER y SMN se calculó el coeficiente de Spearman para cada estación y se realizó un mapa con los resultados. Cabe aclarar que para el valor de intensidad de viento de NASA POWER se utilizaron los datos del píxel más cercano a la ubicación de cada sitio de observación del SMN.

Tabla 1. Raíz del error cuadrático medio entre intensidad media del viento con 24 datos diarios y media de intensidad de viento con 3 datos diarios (9,15, 21 HOA.) para todas las estaciones utilizadas que proveen 24 datos diarios y porcentaje que representa respecto a la media.

Código de estación	Sitio de observación	RMSE (km/h)	Porcentaje de RMSE (%)
17375	Azul AERO	0,66	3,88
10221	Bahía Blanca AERO	0,63	2,95
10323	Bariloche AERO	0,86	3,77
10044	Catamarca AERO	0,29	1,47
10081	Ceres AERO	0,41	2,80
10476	Chamical AERO	0,23	1,49
10270	Comodoro Rivadavia AERO	0,21	0,95
10477	Concordia AERO	0,09	0,57
10100	Córdoba AERO	0,54	3,93
10470	Corrientes AERO	0,74	5,66
10303	Esquel AERO	0,38	1,97
10166	Ezeiza AERO	0,70	5,43
10483	Formosa AERO	0,82	6,21
10334	General Pico AERO	0,18	1,06
10134	Gualectuaychú AERO	0,02	0,13
10353	Iguazú AERO	0,40	3,65
10500	Jujuy AERO	0,02	0,15
10453	Junín AERO	0,40	2,52
10170	La Plata AERO	0,23	1,67
10148	Laboulaye AERO	0,05	0,30
10179	Malargüe AERO	0,19	1,49
10210	Mar del Plata AERO	0,87	5,44
10227	Neuquén AERO	0,42	3,50
10113	Paraná AERO	0,26	1,84
10362	Posadas AERO	0,59	5,72
10309	Reconquista AERO	0,57	4,03
10489	Resistencia AERO	0,61	5,47
10138	Río Cuarto AERO	0,87	4,83
10293	Río Gallegos AERO	1,31	5,48
10296	Río Grande B. A.	1,22	5,04
10133	Rosario AERO	0,43	3,13
10012	Salta AERO	0,08	0,82
10495	San Juan AERO	0,10	0,67
10285	San Julián AERO	0,59	2,06
10139	San Luis AERO	0,28	1,63
10370	San Martín (Mendoza)	0,26	2,72
10192	Santa Rosa AERO	0,60	4,21
10062	Santiago del Estero AERO	0,20	1,87
10451	Sauce Viejo AERO	0,50	2,97
10311	Tandil AERO	0,67	4,33
10326	Tartagal AERO	0,10	0,82
10258	Trelew AERO	1,14	5,67
10017	Tucumán AERO	0,11	0,95
10501	Viedma AERO	0,61	3,23
10117	Villa Dolores AERO	0,06	0,51
	Promedio	0,45	2,87

Para caracterizar la variación temporal del viento se calcularon los valores medios mensuales y estacionales para cada sitio de observación. Luego se realizaron los mapas estacionales con ambas bases de datos y se graficaron las marchas anuales de la intensidad media mensual del viento de cada sitio. Para caracterizar la diaria para cada estación, se promediaron los registros de las 24 horas y se realizaron gráficos de marcha diaria media. Esto sólo se efectuó para las estaciones del SMN que contaban con 24 datos diarios. A su vez, para representar la variabilidad temporal de la intensidad media del viento en los

sitios de observación del SMN sin perder de vista el componente espacial, se dividió al país en zonas, agrupando los sitios con marchas anuales semejantes.

Para caracterizar la dirección del viento se calculó la frecuencia relativa de viento en 16 puntos cardinales, dividiendo la suma de observaciones en cada uno de ellos por el total de observaciones, descartando las observaciones de viento con dirección variable. Luego se graficaron rosas de los vientos para los 46 sitios de observación que contaban con 24 datos diarios. No se incluyeron los sitios con menos observaciones diarias para preservar la calidad del análisis comparativo.

El conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de rangos de velocidad del viento en cada sitio de estudio es uno de los elementos fundamentales a tener en cuenta para caracterizar la dinámica del viento. Como Los datos horarios de viento no se distribuyen normalmente (Wilks, 2006), para calcular la probabilidad asociada a un dato, se usa la función de densidad de probabilidad biparamétrica de Weibull (1).

Ecuación (1)

$$p(v) = (k/c)(v/c)^{k-1}e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

donde v es la velocidad media del viento, c es el parámetro de escala, asociado a la media y a la amplitud de la distribución y k es el parámetro de forma (Palese *et al.*, 2001). Se grafica la función de distribución para conocer la probabilidad asociada a cada intensidad de viento en un sitio o una región. En este trabajo, se realizaron los gráficos de distribución de probabilidad de Weibull para cada estación meteorológica del SMN que contaba con 24 horas de observación, descartando las que tienen menos mediciones diarias y los datos de NASA POWER ya que no posee datos horarios. Posteriormente se agruparon las frecuencias relativas en rangos de 5 km/h de amplitud, se graficó la curva teórica de Weibull con los factores de escala y forma calculados. Para determinar el grado de ajuste de los datos a la distribución de probabilidad y se realizó la prueba de chi cuadrado.

Para conocer frecuencia de calmas diaria, se calculó la frecuencia relativa de observaciones horarias con vientos de 0 km/h sobre el total de valores observados en cada

hora del día. Para los valores mensuales se realizó el mismo procedimiento, pero tomando las observaciones de intensidad de 0 km/h en cada mes sobre el total de valores observados en ese mes.

Diseño de la página web

Para el diseño y la programación de la página web se utilizó PostgreSQL para almacenar las bases de datos, la presentación visual de la misma fue producida con Html5, Css3, JavaScript y la biblioteca multiplataforma Bootstrap. Para realizar todos los gráficos se utilizó Highcharts, una biblioteca escrita en JavaScript, y para la presentación de los mapas se utilizó la biblioteca Leaflet de JavaScript, y JQuery para la programación del control de capas. Para la producción de las diferentes capas se usaron los softwares QGIS y SAGA GIS, el motor de base de datos PostgreSQL, y las librerías geopandas y gdal de Python.

Software utilizado

Para el desarrollo del análisis de datos del trabajo se utilizó Python, un lenguaje de programación de uso libre, que, por su facilidad, eficiencia y orientación multifuncional es óptimo para el uso en la ciencia. Para la administración y el análisis de datos se utilizó el sistema de gestión de bases de datos PostgreSQL. Para el procesamiento de datos y el cálculo de la distribución de probabilidad, valores medios, valores máximos, frecuencias de dirección, y elaboración de gráficos y mapas, se utilizaron el software QGIS, la librería Highcharts de JavaScript y las siguientes librerías de Python: Pandas (Organización de los datos), Numpy (Procesamiento matemático de los datos), y Scipy (Función de distribución de probabilidad).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 1: Caracterización de la intensidad del viento

1.1 Variabilidad espacial

La distribución espacial de la intensidad del viento (isotacas) muestra en ambas bases de datos un gradiente norte-sur, con los mínimos en el norte del país y los máximos en el sur. La Figura 3, Izquierda realizada con los datos del SMN muestra a la isotaca de menor valor (10 km/h) ubicada en el noroeste del país, con un aumento de la intensidad promedio hacia el sur, observándose la de mayor valor (22 km/h) en el extremo sur del país. Mientras que en el elaborado con la información de NASA POWER se observa una mayor variabilidad espacial y una mayor amplitud de intensidad. En este la isotaca con el valor máximo de 26 km/h se encuentra en el centro de la provincia de Santa Cruz y el mínimo de 6 km/h en la provincia de Misiones (Noreste del país). Se ve una alta variabilidad en la zona de las provincias de Córdoba, Mendoza y San Luis AERO, probablemente debido a la presencia de sierras en esa área. En general, NASA POWER presenta valores mayores de intensidad media del viento en todo el país, excepto en el Noreste, provincia de Misiones, en el centro del país, provincia de Córdoba y en la zona cordillerana de la provincia de Río Negro, en Bariloche, donde los datos observados muestran una intensidad media mayor.

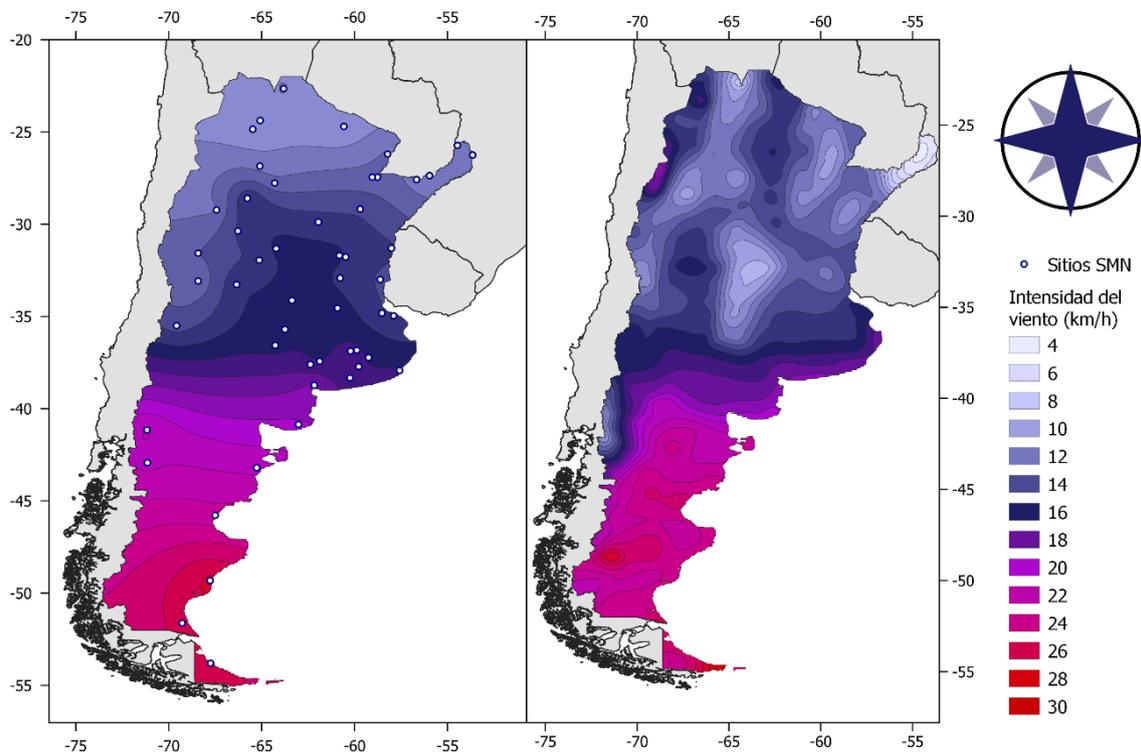


Figura 3. Mapas de intensidad media del viento en Argentina, elaborado a partir de datos del SMN (izquierda) y a partir de datos de NASA POWER (derecha).

Para analizar la similitud entre ambas fuentes de datos se calculó la correlación de Spearman a partir de datos medios mensuales. El coeficiente dio como resultado un valor mayor a 0,9 en 29 de los 54 sitios utilizados, mayor a 0,8 en otros 13 y menor a 0,8 en los 12 restantes (Figura 4). Los sitios ubicados sobre la costa atlántica del país en promedio tuvieron valores menores a los del resto del país, también se obtuvo un resultado similar con los sitios ubicados a más de 800 metros de altura sobre el nivel del mar. Esto puede deberse a una baja precisión en la estimación de algunas variables de NASA POWER en sitios en altura y cercanos al mar (Negm *et al.*, 2018).

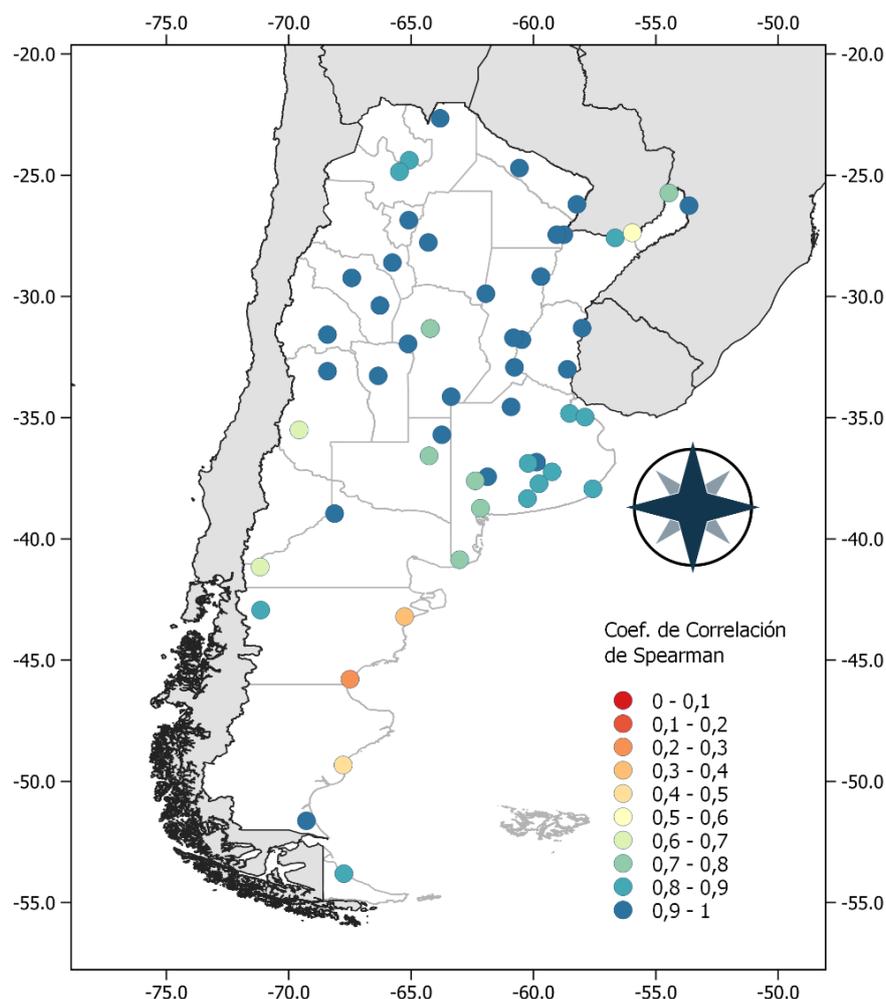


Figura 4. Resultados de la correlación de Spearman de intensidad media mensual del viento entre datos observados del SMN y los satelitales de NASA POWER.

Al comparar los resultados con los obtenidos en otros trabajos realizados, en la Patagonia, los valores medios calculados con los datos del SMN fueron similares a los encontrados en el Atlas del Potencial Eólico de la Patagonia de Barros (1983). En las localidades de Trelew (Cúneo *et al.*, 2018), Puerto San Julián (Otero *et al.*, 2016; Gonzalez *et al.*, 2016) y el norte de la Patagonia (Palese *et al.* 2001), se encontraron similitudes en los valores medios y las marchas anuales, con ligeras variaciones que pueden deberse a los distintos períodos de tiempo utilizados en los estudios. También se hallaron valores semejantes en la zona del norte de Buenos Aires, en comparación con la

caracterización de intensidad de viento en escala diaria en Ezeiza, realizada por Palavecino (2021).

1.2 Variabilidad temporal

Al norte de los 40°S de latitud los mínimos de intensidad de viento se detectaron en el otoño (Figura 5 A y E), aumentando hacia el invierno (Figura 5 B y F), mientras que los máximos ocurrieron en primavera (Figura 5 C y G), descendiendo nuevamente hacia el verano (Figura 5 D y H). Desde el extremo Sur del país hasta los 40°S de latitud se observan los mínimos de intensidad de viento en el invierno (Figura 5 B y F), con un aumento en primavera (Figura 5 C y G) y los máximos durante el verano (Figura 5 D y H), registrando en los meses de diciembre y enero los máximos absolutos, disminuyendo nuevamente en los meses de otoño (Figura 5 A y E).

Al comparar los mapas realizados con ambas bases de datos se observa el mismo patrón de comportamiento entre las estaciones del año. Las principales diferencias están dadas por la sobrestimación de los datos de NASA POWER en la Patagonia, la costa atlántica y en casi todo el resto del país, exceptuando la zona central (provincia de Córdoba), el Noreste (provincia de Misiones), y la zona cordillerana en los 40°S de latitud (Bariloche, Provincia de Río Negro). Donde se ve una subestimación en comparación con los datos observados por el SMN. En la región norte de la cordillera (oeste de Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja), se distingue un patrón diferente al del resto del país. En los mapas realizados con NASA POWER, se observa que en otoño hay un aumento de la intensidad del viento (Figura 5 E), que continúa aumentando hasta llegar a un máximo de 18 km/h en invierno (Figura 5 F), luego empieza a disminuir en primavera (Figura 5 G) hasta llegar al mínimo de 10 km/h en verano (Figura 5 H). Con los registros observados del SMN no es posible detectar esa variación ya que no hay estaciones de observación en la zona.

Para representar los resultados de las marchas anuales, se agruparon los sitios de observación según comportamientos similares. A continuación, se muestra un mapa con los sitios agrupados en las cinco regiones resultantes (Figura 6). La región del noroeste incluye la zona de las provincias, Jujuy, Salta, Tucumán y Santiago del Estero. La región del centro-noreste abarca toda la zona central, el litoral y el noreste del país, siendo la región con más sitios de observación, y a su vez, la región más homogénea en cuanto a marchas anuales de la intensidad media. La región del Sur de Buenos Aires abarca la zona

central y sur de esa provincia. La región del Centro-Oeste incluye la zona de las provincias de Mendoza, San Luis, La rioja, Catamarca y San Juan, siendo la región con mayor diferencia entre sitios posiblemente debido al relieve. Por último, la región de la Patagonia, que abarca desde Neuquén hasta el extremo sur del país.

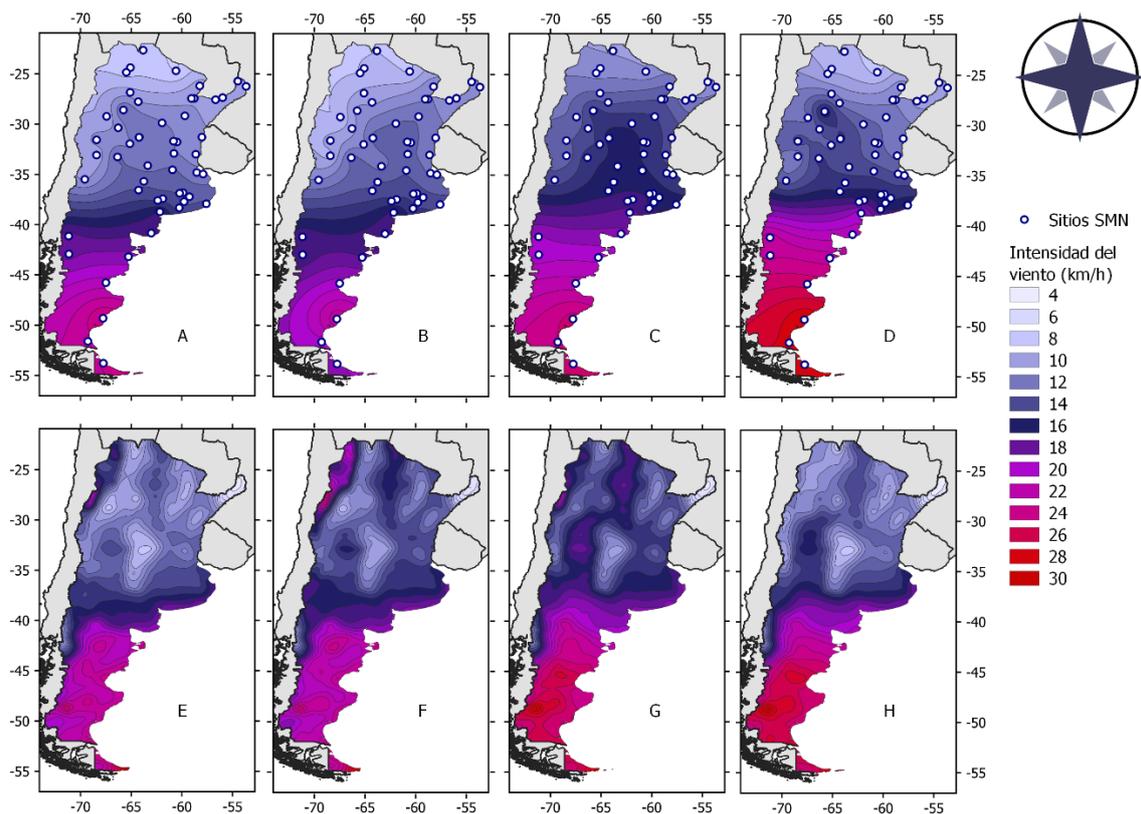


Figura 5. Mapas de intensidad de viento en km/h realizados con dos fuentes de datos (SMN arriba, NASA POWER abajo) A y E: otoño, B y F: invierno, C y G: primavera, D y H: verano.

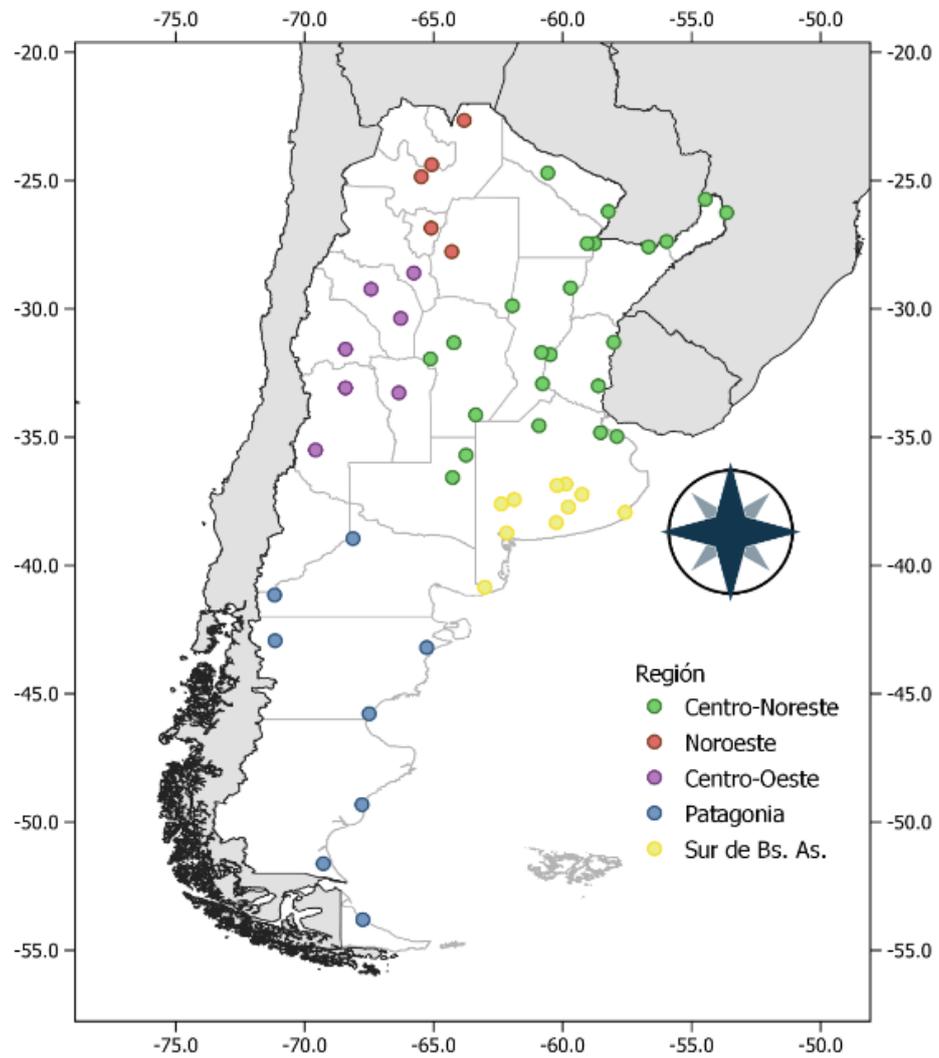


Figura 6. Mapa de sitios del SMN agrupados por regiones establecidas.

1.2.1 Región Noroeste

En la marcha anual de intensidad de viento se observa un incremento a partir de julio hasta noviembre y un descenso de diciembre a mayo debido probablemente a la influencia de la DNOA. Las localidades del noroeste (Salta, Jujuy, Las Lomitas y Tucumán) son las que menor intensidad media de viento presentaron con un promedio menor a 10 km/h. En Jujuy AERO (Figura 7), que representa a esta región, se observa que NASA POWER presenta valores de intensidad del viento mayores a los del SMN desde octubre hasta abril y menores desde mayo hasta septiembre. En cuanto a la marcha diaria en Jujuy AERO (Figura 8), se observa una marcha típica con los mínimos observados entre las 23 y las 10 horas y el máximo por la tarde, entre las 17 y las 19 horas. Al comparar la marcha diaria del otoño con la de la primavera, se puede observar que durante el otoño la intensidad del viento en promedio es menor en todas las horas del día que en la primavera.

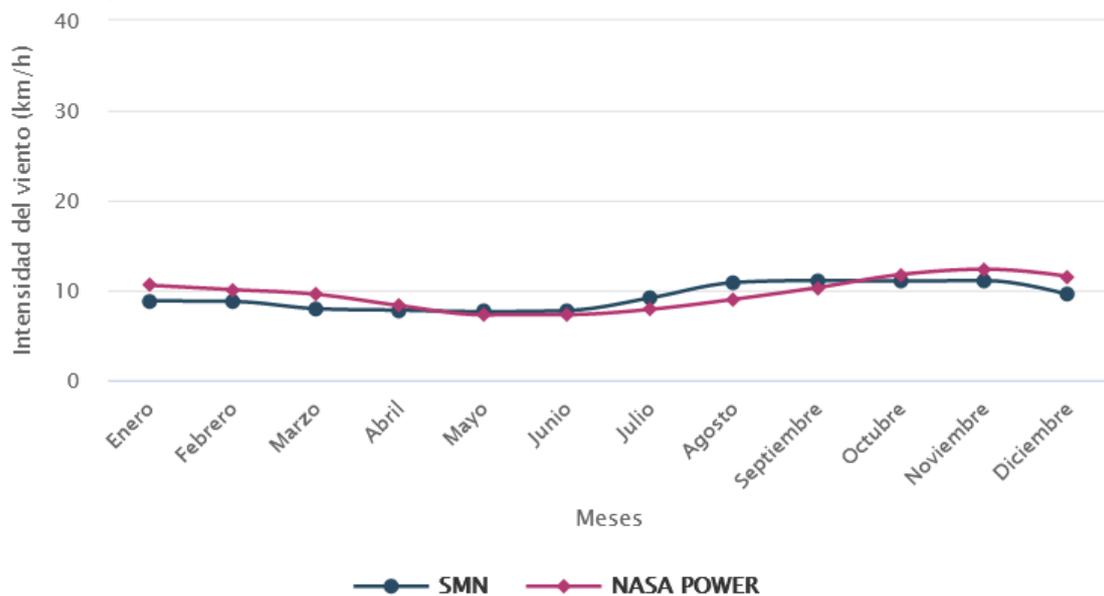


Figura 7. Marcha anual de la intensidad media del viento en la estación Jujuy AERO, comparada con datos puntuales de NASA POWER.

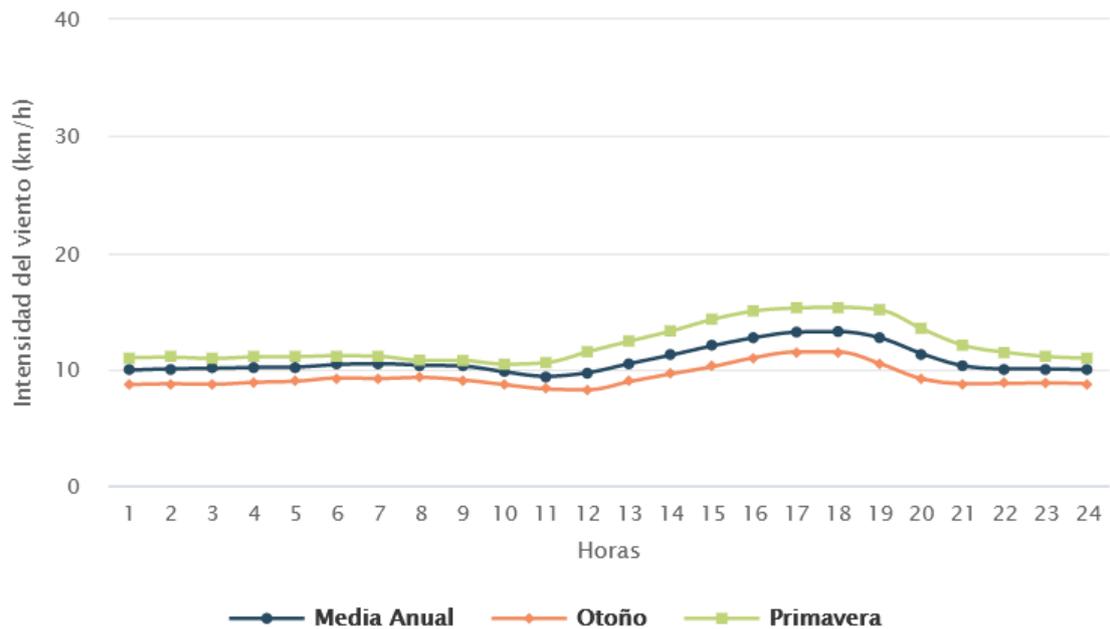


Figura 8. Marcha diaria de la intensidad media del viento en la estación Jujuy AERO.

1.2.2 Región Centro-Noreste

La segunda región es la zona ubicada en centro-noreste del país, abarcando Córdoba, el Norte de Buenos Aires y todo el Litoral, representada por las localidades de Paraná AERO y Córdoba AERO. En ella se pudo estimar una intensidad media de vientos de entre 10 y 14 km/h. La variabilidad anual sigue el mismo patrón descrito para la región anterior (Figura 9), con un aumento desde junio hasta octubre donde ocurre el máximo y una disminución hasta los mínimos del otoño en marzo. En todas las localidades se observa una sobreestimación de NASA POWER con respecto a los datos observados por el SMN, excepto en Misiones, Córdoba y Río Cuarto, donde si bien el patrón es muy parecido a las demás localidades, NASA POWER subestima la intensidad del viento durante todo el año (Figura 10). Por otro lado, la variabilidad diaria también sigue el mismo patrón típico, con los máximos de intensidad media a la tarde y los mínimos por la noche (Figura 11). Además, al igual que en la región del noroeste, la intensidad media del viento en todas las horas del día es menor durante el otoño que durante la primavera.

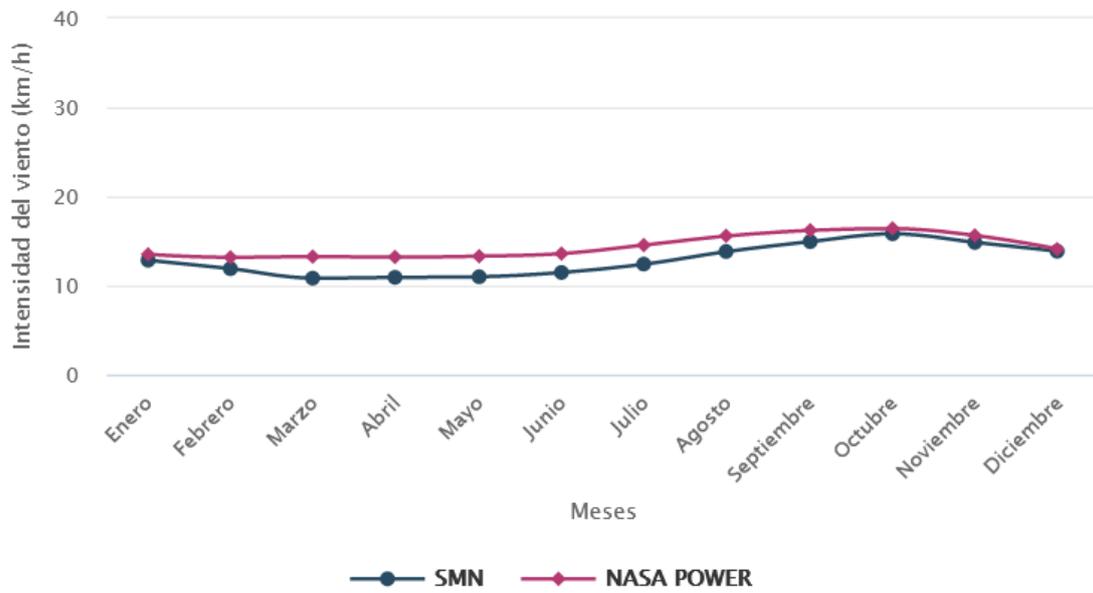


Figura 9. Marcha anual de la intensidad media del viento en Paraná AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

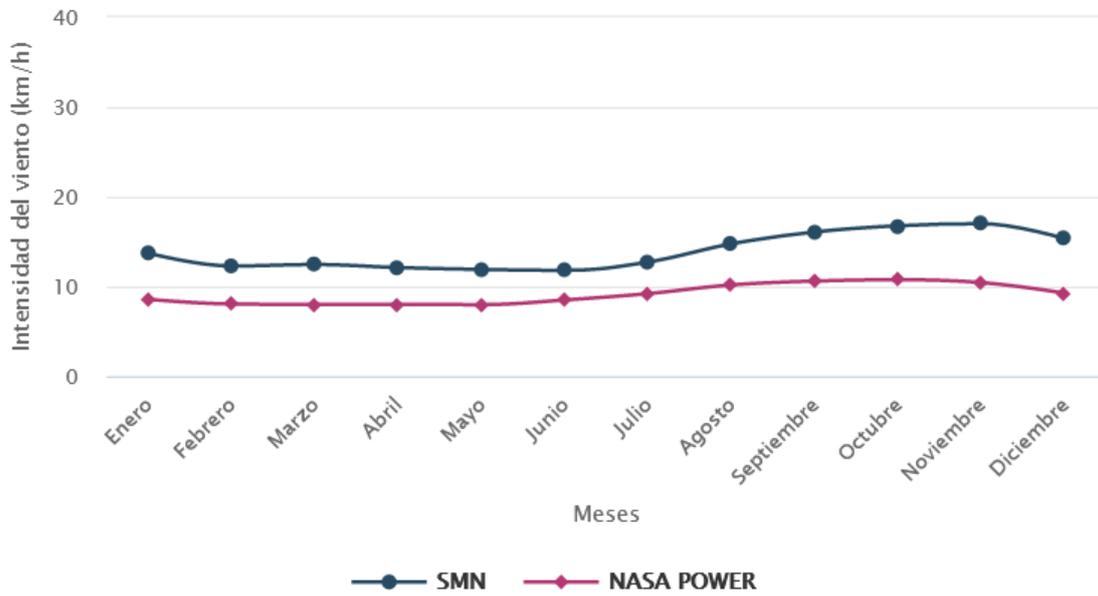


Figura 10. Marcha anual de la intensidad media del viento en Córdoba AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

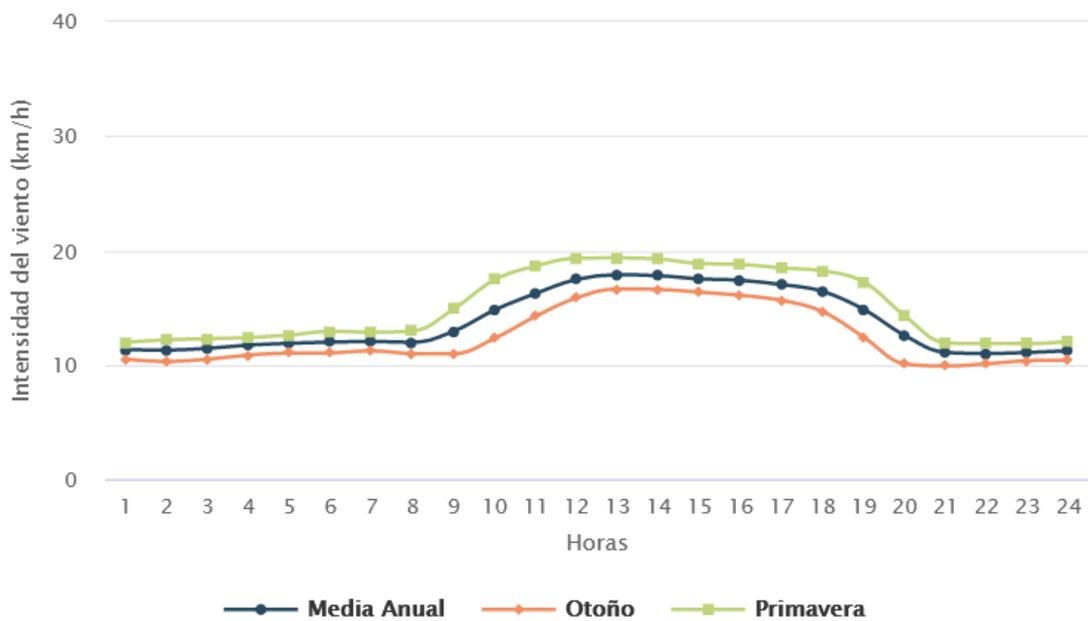


Figura 11. Marcha diaria de la intensidad media del viento en Paraná AERO.

1.2.3 Sur de Buenos Aires

La tercera región agrupa todos los sitios de observación desde la costa atlántica de Buenos Aires hasta el oeste de la provincia y desde el centro hasta sur. En esta región se encontró una gran amplitud anual, con una diferencia de más de 6 km/h entre el máximo medio y el mínimo medio en algunas localidades. A pesar de la diferencia de intensidad entre sitios, la marcha anual es muy similar entre ellos, disminuyendo desde diciembre hasta mayo, donde se observa el mínimo, y aumentando el resto del año hasta diciembre-enero, donde ocurre el máximo. En las estaciones meteorológicas del Norte de la región, ejemplificado con el sitio de observación de Mar del Plata AERO, se ve una sobreestimación de la intensidad media del viento por parte de NASA POWER (Figura 12). Sin embargo, En los sitios ubicados en el extremo Sur de la región (Bahía Blanca AERO y Viedma AERO) se ve una gran diferencia en los máximos anuales entre ambas fuentes de datos, no así en los meses del otoño y del invierno donde hay una gran similitud (Figura 13). NASA POWER tiende a subestimar la intensidad media del viento durante la primavera y el verano en esta zona de la región. Al igual que en las regiones caracterizadas anteriormente, en las marchas diarias se observan los máximos de la tarde

con mayores intensidades medias en primavera y menores en el otoño (Figura 14). Cabe destacar que en esta región la máxima intensidad se da en el verano y no en la primavera como en el resto del país. Se observa una similitud mayor en los mínimos nocturnos de la intensidad del viento entre las estaciones de primavera y otoño en todos los sitios de observación con datos disponibles.

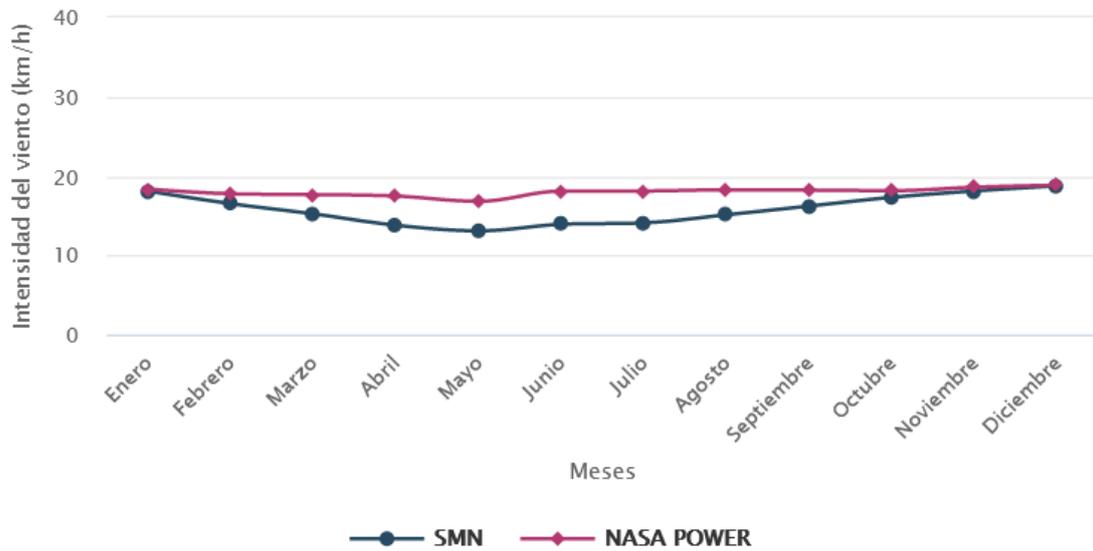


Figura 12. Marcha anual de la intensidad media del viento en Mar del Plata AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

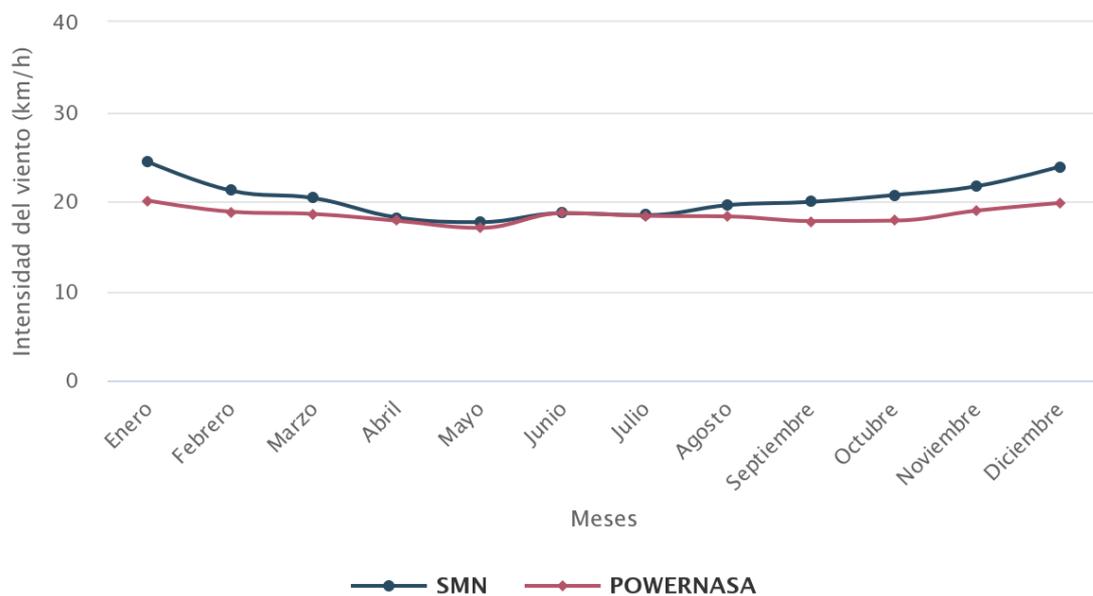


Figura 13. Marcha anual de la intensidad media del viento en Bahía Blanca AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

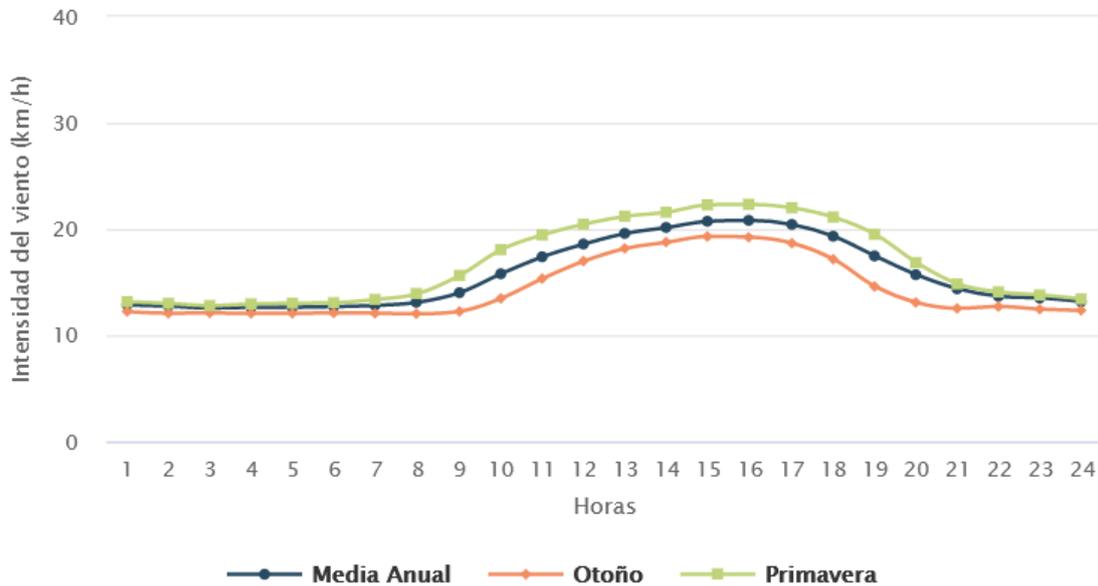


Figura 14. Marcha diaria de la intensidad media del viento en Mar del Plata AERO.

1.2.4 Región Centro – Oeste

La cuarta región se ubica en el centro-oeste de Argentina, abarcando las estaciones meteorológicas del centro-oeste del país, desde Neuquén hasta La Rioja. En esta región hay poca cantidad de sitios de observación con grandes distancias entre ellos, por lo que la variabilidad es muy grande. A pesar de ello, las marchas anuales son similares, no así las marchas diarias. En San Juan AERO encontramos un comportamiento anual típico con descensos de la intensidad media del viento desde diciembre hasta mayo donde ocurre el mínimo y con el máximo en el mes de noviembre (Figura 15). Las estimaciones de NASA POWER son muy similares a los valores observados en esta localidad. En San Martín de Mendoza y Neuquén AERO, por el contrario, NASA POWER estima valores de hasta el doble de los valores observados en todos los meses (Figura 16), diferencia ya marcada en las descripciones de los mapas de intensidad media de ambas fuentes de datos. La variabilidad en las marchas diarias en esta región es muy alta, en San Juan se puede ver un máximo al mediodía durante la primavera, que no fue visto en ninguna otra localidad (Figura 17). El máximo en las demás estaciones coincide con el máximo de otoño y de la intensidad media anual de San Juan, a las 19 horas. En todas las localidades

de la región se observó que en otoño las intensidades son menores que en primavera, aunque en las localidades de la provincia de Mendoza (Malargüe AERO, San Martín de Mendoza), las diferencias fueron menores entre estas estaciones.

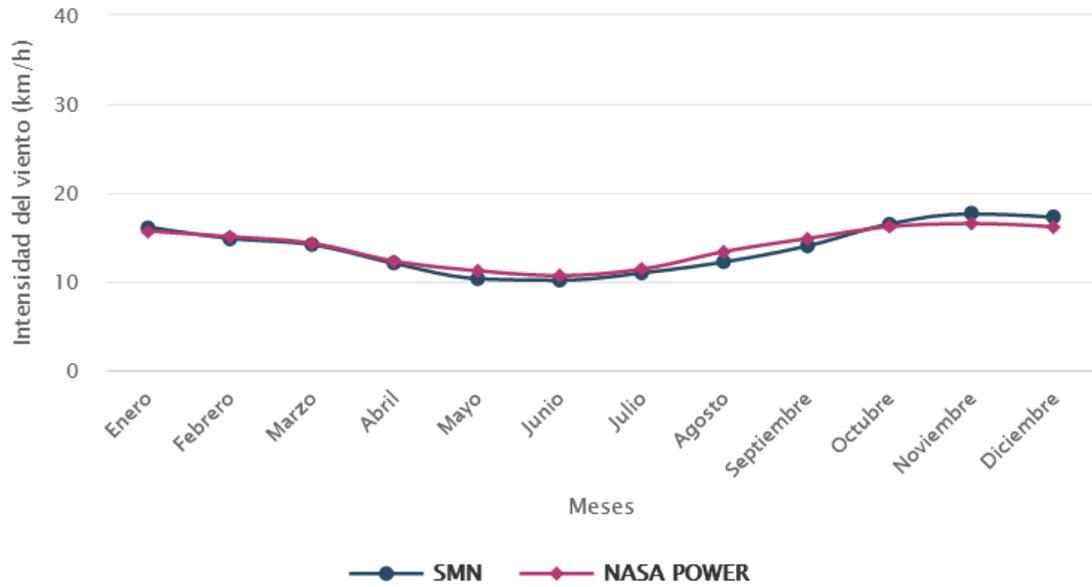


Figura 15. Marcha anual de la intensidad media del viento en San Juan AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

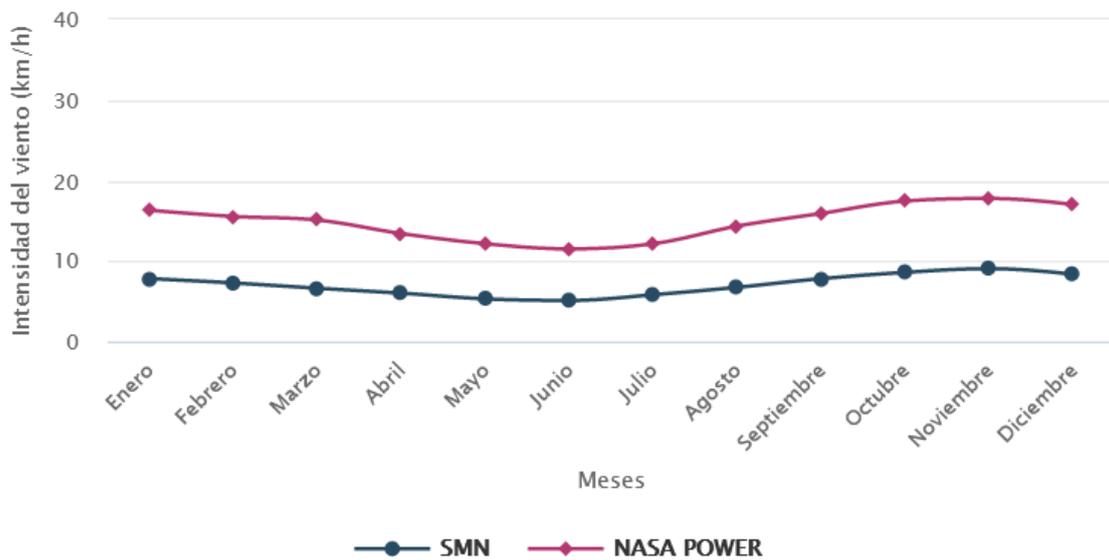


Figura 16. Marcha anual de la intensidad media del viento en San Martín de Mendoza comparada con datos puntuales de NASA POWER.

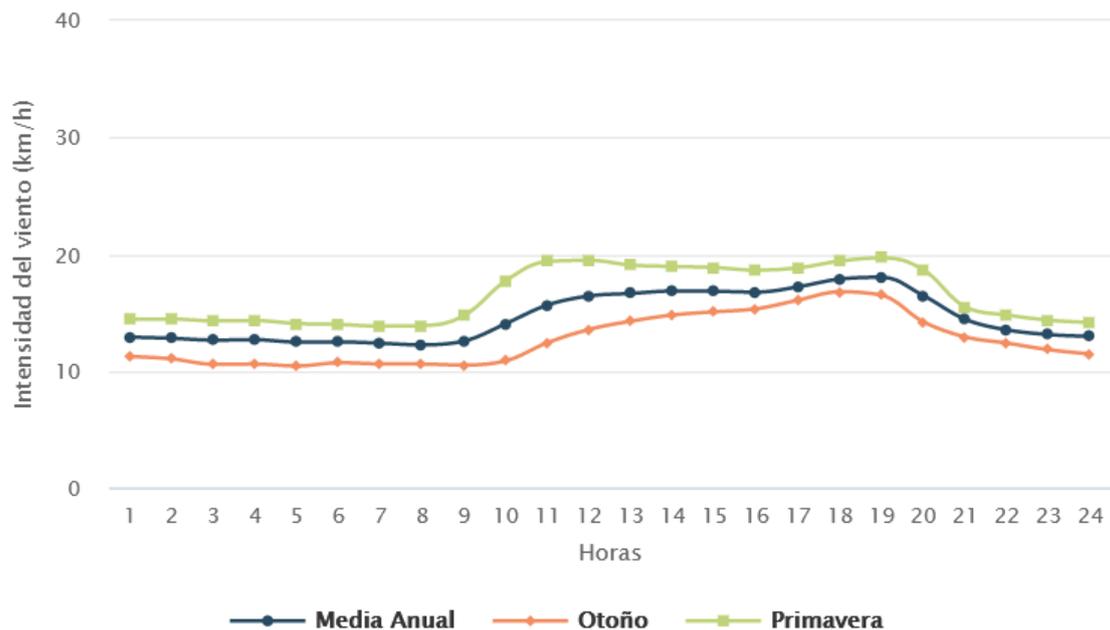


Figura 17. Marcha diaria de la intensidad media del viento en San Juan AERO.

1.2.5 Región de la Patagonia

La quinta y última región es la de la Patagonia, que abarca todo el sur del país desde Río Negro hasta Tierra del Fuego, con los máximos de intensidad de viento durante los meses de noviembre y diciembre, y los mínimos en otoño. Es la zona con mayor intensidad de vientos de Argentina, con valores levemente más bajos en la zona cordillerana y valores crecientes hacia el sur y este de la región debido al relieve. Sobre la zona cordillerana, representada por Bariloche AERO se observa una subestimación de los datos de NASA POWER sobre los datos observados del SMN durante todo el año (Figura 18). En el resto de la región, representada por el sitio de Río Gallegos AERO, se observa una sobreestimación de los datos de la intensidad media del viento durante la mayor parte del año excepto en el verano donde son levemente menores (Figura 19). En la zona cordillerana y las localidades del Norte de la región se ve un aumento de la intensidad media del viento en el mes de junio formando un pico intermedio que no se registra en los sitios de observación del sur de la región. En cuanto a la variabilidad de la intensidad del viento durante el día, se observa una distribución similar en toda la región,

con los mínimos nocturnos similares y los valores máximos de la tarde con grandes diferencias, siendo mayores en primavera y menores en otoño (Figura 20).

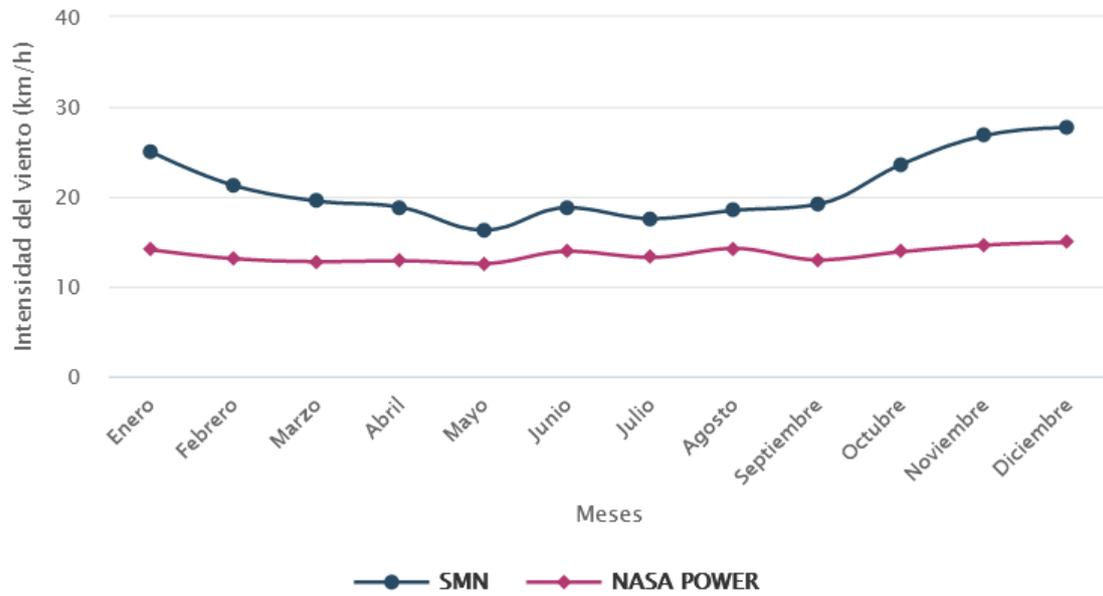


Figura 18. Marcha anual de la intensidad media del viento en Bariloche AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

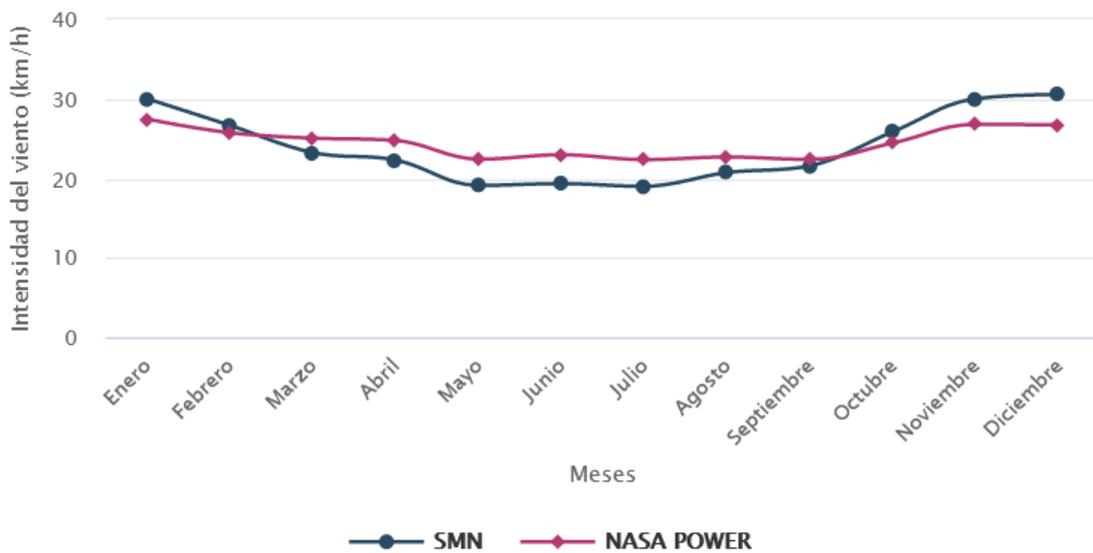


Figura 19. Marcha anual de la intensidad media del viento en Río Gallegos AERO comparada con datos puntuales de NASA POWER.

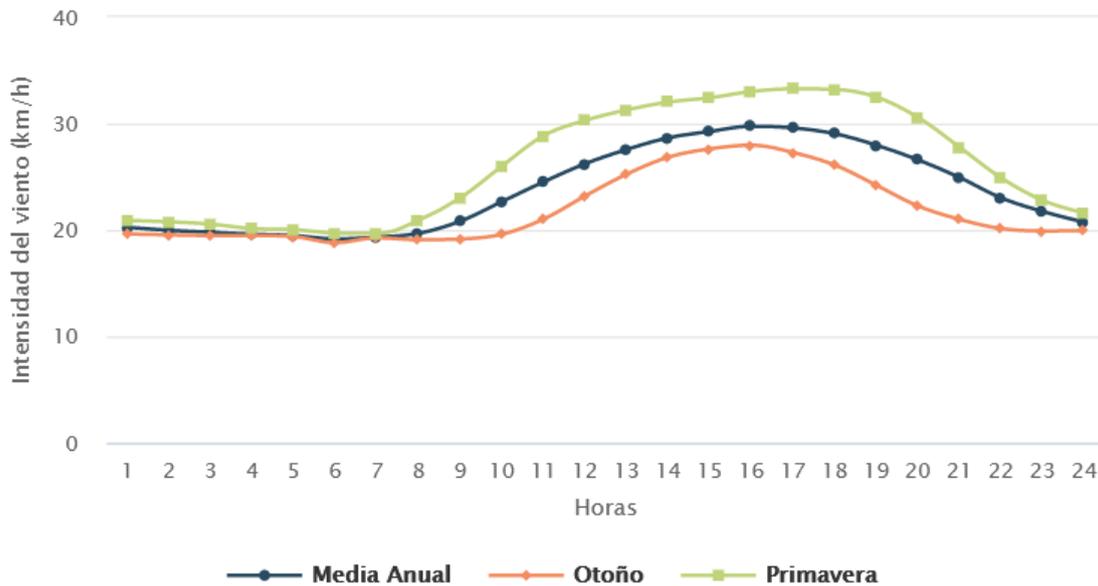


Figura 20. Marcha diaria de la intensidad media del viento en Río Gallegos AERO.

Al comparar los resultados obtenidos en esta sección con la bibliografía consultada, se ven los mismos patrones de intensidad en las marchas diarias que en los trabajos realizados para Trelew (Cúneo *et al.*, 2018), Puerto San Julián (Otero *et al.*, 2016; Gonzalez *et al.*, 2016), Ezeiza, Gualeguaychú y Junín (Billiet, 2012; Palavecino, 2021), con los mínimos durante la noche y los máximos durante horas de la tarde. En el caso de las marchas anuales, en los trabajos antes mencionados también se encontraron similitudes en los momentos de máximos y mínimos para cada ubicación, y no se encontraron grandes diferencias en ninguno de los sitios.

CAPÍTULO 2: Caracterización de la dirección del viento

2.1 Rosas de los vientos por región

Para presentar los resultados obtenidos se resumió la información en un mapa con las rosas de los vientos de los sitios más representativos realizadas para cada región. El mapa obtenido muestra algunas regiones con claras direcciones predominantes y otras con vientos muy variables (Figura 21). En las zonas donde el relieve es muy heterogéneo la dirección del viento es muy variable, como sucede en la región del centro-oeste. Esta región cuenta con la presencia de la cordillera al oeste y las sierras de Córdoba al este, lo que dificulta encontrar una dirección que predomine en todos los sitios de observación. En el centro del país, provincias de Córdoba y La Pampa, se encontraron vientos predominantes del sector Norte. En el Noroeste se encontró una supremacía leve de los vientos provenientes del Noreste, y esto puede deberse a la acción de la DNOA. El resultado en esa región es similar al descrito por Prohaska (1976) en la estación meteorológica de La Quiaca. Desde el norte de Buenos Aires hasta el extremo noreste del país se observan rosas de los vientos similares, con una predominancia de los vientos del noreste que se va debilitando hacia el sur de la región. Esto podría explicarse por la presencia del anticiclón del Atlántico, que produce un ingreso de vientos cargados de humedad desde Brasil (Prohaska, 1976). En la región del sur de Buenos Aires, representados por las estaciones de Mar del Plata y Bahía Blanca AERO, se observan vientos dominantes del sector noroeste, que pueden deberse a la acción del anticiclón del Atlántico. A partir de los 40° de latitud sur, en toda la Patagonia, los vientos predominantes son los vientos del oeste, coincidente con la circulación general de la atmósfera para esas latitudes (Ahrens, 2019) con ligeras variaciones entre el noroeste y el sudoeste por la presencia de la cordillera. Este comportamiento también se observa en trabajos locales como los de Cúneo *et al.*, (2019) y Gonzalez *et al.*, (2016), y en el trabajo con escala global (Espinoza *et al.*, 2020).

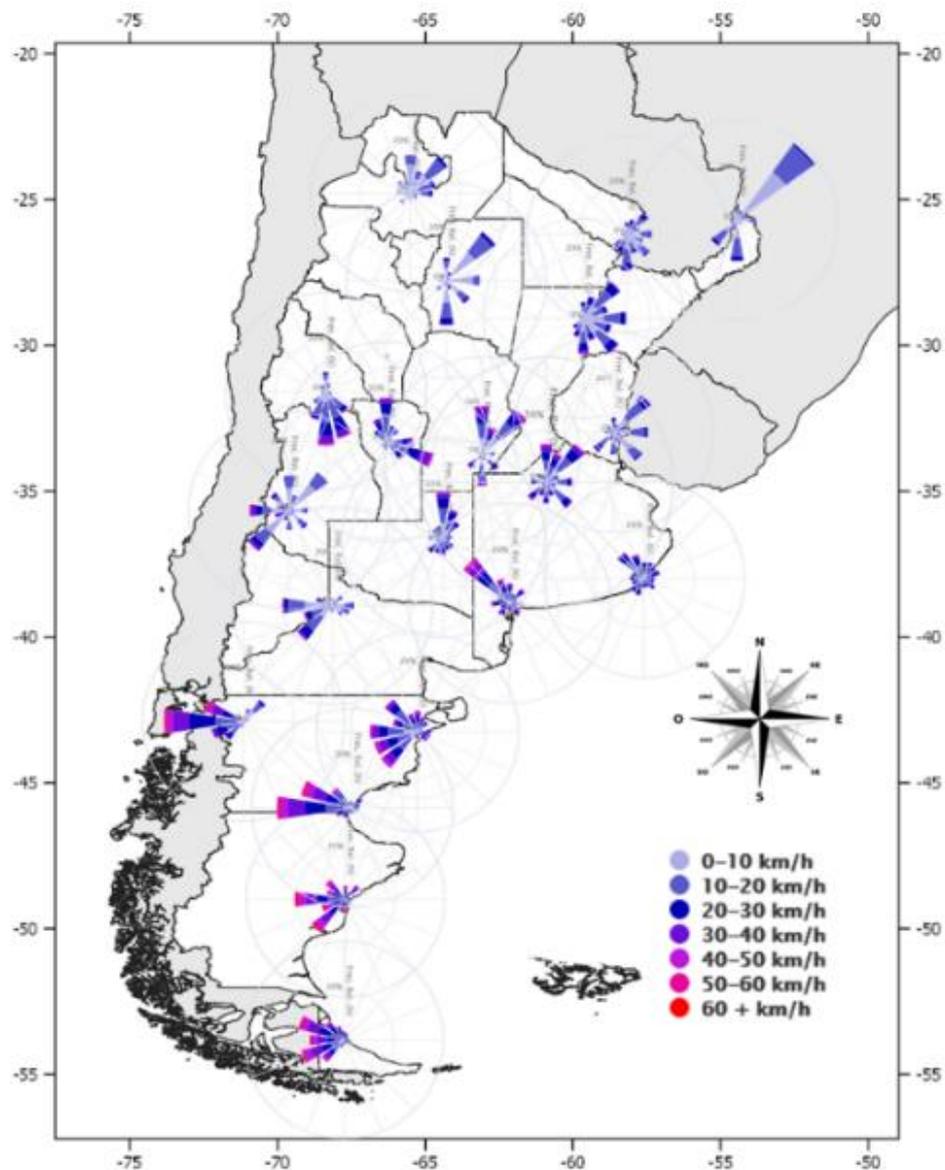


Figura 21. Mapa de rosas de los vientos en estaciones meteorológicas del SMN.

En cuanto a la variabilidad dentro de la región del noreste los vientos en la región noroeste de la Argentina están fuertemente influenciados por el relieve, lo que provoca una gran variabilidad en la dirección. Los sitios de observación de Salta y Jujuy están a pocos kilómetros de distancia, sin embargo, muestran grandes diferencias en sus rosas de los vientos. Esto puede deberse a que entre ambas localidades hay un cordón montañoso que modifica el campo de viento.

La región del centro-oeste del país tiene una extensión latitudinal muy grande y también es afectada por el relieve, por lo que la variabilidad de la dirección del viento

entre los sitios de observación también es muy grande. En el extremo norte está la localidad de Catamarca, con más del 25% de los vientos provenientes del noreste, 21% del nornoreste y 15% del norte. A su vez, también desde esas direcciones se detectan los vientos de mayor intensidad. El centro de la región, con estaciones meteorológicas en Mendoza, La Rioja y San Juan, los vientos predominantes son del sector sur, sudsudeste y sudsudoeste. En esta última localidad, los vientos provenientes del sur alcanzan una frecuencia relativa mayor al 20%.

La región del sur de Buenos Aires se puede dividir en dos zonas, el extremo sur, con Viedma y Bahía Blanca AERO y el centro-norte que abarca los demás sitios de observación, desde la costa hasta el centro de la provincia. Los vientos en el centro de Buenos Aires son muy variables, con frecuencias relativas menores al 10% en todas las direcciones. En cambio, en el extremo sur, si bien hay direcciones variables, tiene una predominancia fuerte de vientos provenientes del noroeste con una frecuencia relativa mayor al 20%.

La región del centro-noreste del país también posee una gran extensión latitudinal. Sin embargo, se ve una clara predominancia de los vientos del noreste, que disminuye hacia el sur. Cabe destacar que los vientos fuertes (mayores a 30 km/h) y las ráfagas de esta región provienen del sur y suroeste, debido al viento Pampero y al pasaje de frentes fríos (Prohaska, 1976). Por último, en toda la Patagonia los vientos provienen del sector oeste, con escasa variabilidad entre las direcciones oeste noroeste, y oeste Sudoeste.

CAPÍTULO 3: Distribución de frecuencias de la intensidad del viento horario

3.1 Distribución de Weibull

La distribución de frecuencias de intensidad de viento presenta un buen ajuste con las curvas teóricas de Weibull, caracterizadas por el factor de escala y el factor de forma calculadas a partir de la frecuencia relativa de intensidad del viento. Se calcularon las variables de escala y forma para cada distribución en todos los sitios del SMN utilizados para reconstruir las funciones de distribución teórica. Además, se graficaron las funciones de distribución empíricas (Figura 22). Se puede destacar que la mediana resultó en todos los casos levemente menor a la media (Tabla 2). Esto se debe a valores aislados de gran intensidad de viento que aumentan el promedio general.

En cuanto a la diferencia entre regiones, en el noroeste, representado por Santiago del Estero AERO (Figura 22, A) se observa una frecuencia relativa mayor en valores menores a 10 km/h, con el máximo de la curva teórica en el rango de intensidad 5-10 km/h y una mediana de 12 km/h. En el centro y noreste, representado por Concordia AERO (Figura 22, B) la función de distribución se encuentra desplazada ligeramente hacia valores mayores en comparación con Santiago del Estero, con una mediana de 15 km/h. En representación de la región del oeste se eligió San Luis AERO (Figura 22, C), con una mediana igual a Concordia AERO, pero un factor de escala mayor, indicando mayor probabilidad de vientos de mayor intensidad a la mediana que en la región del Centro-Noreste. En la región del oeste se encontró una gran variabilidad debido a la distancia entre sitios de observación y al relieve. En la región del sur de Buenos Aires se eligió Bahía Blanca AERO (Figura 22, D), con una mediana de 19 km/h, un pico de observaciones en el rango de 15-20 km/h y el factor de forma más elevado de los 5 sitios previamente analizados, lo que indica una menor acumulación cerca de la mediana de la distribución en comparación con los demás sitios. Por último, en La Patagonia, representada por Comodoro Rivadavia AERO (Figura 22, E), se encontró una mediana de 20 km/h y el factor de forma más bajo de los sitios analizados, indicando una asimetría

mayor hacia valores más altos de intensidad de viento, con valores de frecuencia relativa alta en rangos de intensidad de viento mayores a la mediana.

Por último, para evaluar el grado de ajuste de los datos de intensidad de viento a la función de distribución teórica de Weibull, se realizó la prueba de chi cuadrado con un Alpha de 0.05. En 41 de los 46 sitios de observación, la prueba realizada con los valores horarios indicó un buen grado de ajuste de las frecuencias a la distribución de Weibull (Otero *et al.* 2016). Uno de los 5 sitios de observación donde se observó que las frecuencias relativas no se ajustaban a sus curvas teóricas de Weibull es Santiago del Estero AERO con un valor p obtenido de 0.92 (Figura 22, A), donde se puede ver que las frecuencias de entre 5 y 10 km/h sobrepasan ampliamente la curva teórica y en el rango de 10 a 15 km/h la curva teórica sobrepasa ampliamente a las frecuencias. En comparación con el trabajo de Palese *et al.*, (2001) se encontraron valores similares de los factores de escala y forma para la intensidad de viento horario en la región del norte de la Patagonia.

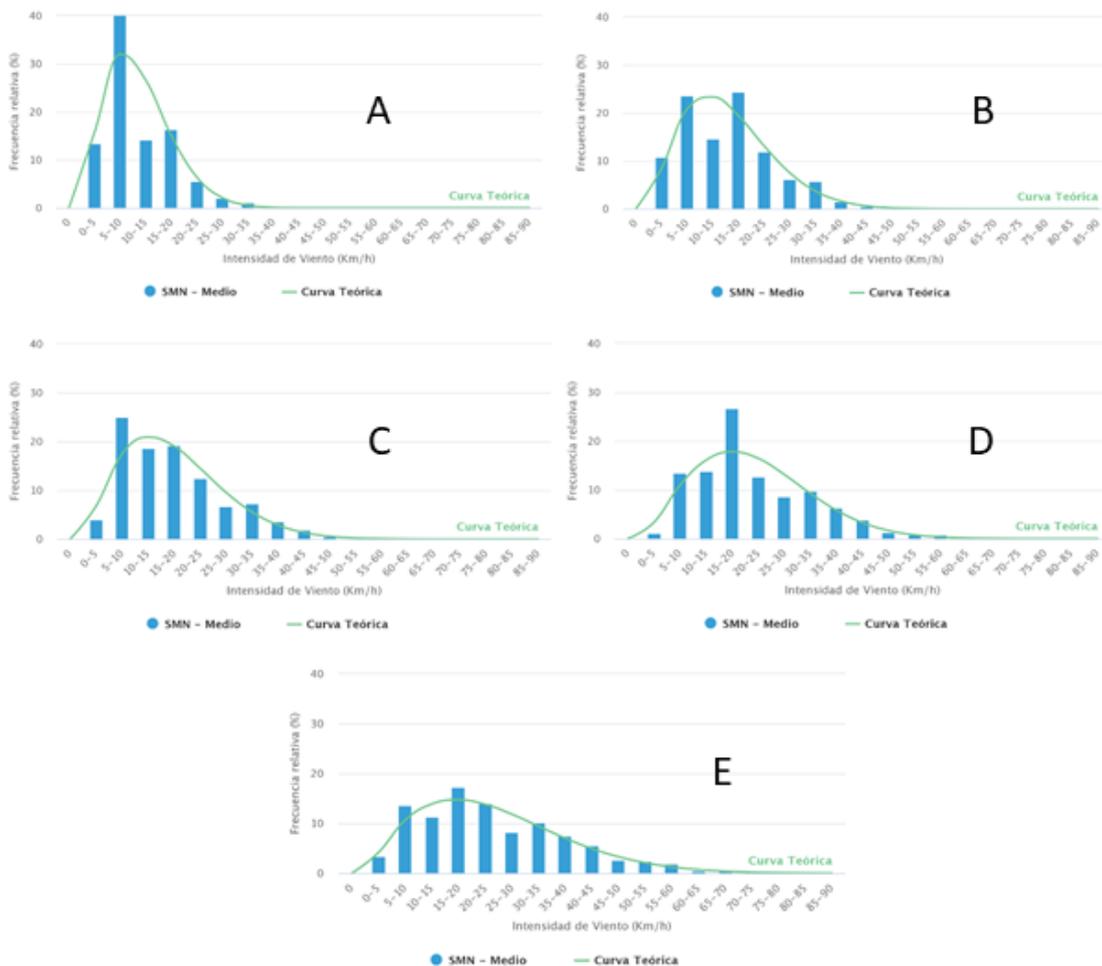


Figura 22. Distribución de probabilidad de Weibull para las estaciones meteorológicas de Santiago del Estero AERO(A), Concordia AERO (B), San Luis AERO (C), Bahía Blanca AERO (D) y Río Gallegos AERO (E).

Tabla 2. Valores de forma, escala, mediana y media para cinco sitios del SMN.

Sitio de observación	Forma	Escala (km/h)	Mediana (km/h)	Media (km/h)
Santiago del Estero AERO	1,77	12,1	9,00	10,69
Concordia AERO	1,82	17,02	15,00	15,07
San Luis AERO	1,82	19,19	15,00	16,97
Bahía Blanca AERO	2,02	24,07	19,00	21,25
Comodoro Rivadavia AERO	1,71	24,48	20,00	21,8

CAPÍTULO 4: Distribución de frecuencias de calmas

4.1 Frecuencia de calmas a escala anual

Se observó una menor frecuencia de calmas en los sitios ubicados en el sur del país, donde los vientos son más intensos. Se observa, como es de esperar, una tendencia inversa con la intensidad media mensual en todos los sitios. El mínimo de frecuencia de calmas se observa en Río Gallegos AERO (Figura 23, A), que representa a la región de la Patagonia, donde en ningún mes del año la frecuencia relativa de calmas fue mayor al 10%. En la región del noroeste, representada por Jujuy AERO (Figura 23, E), se encontraron frecuencias relativas de calmas de más del 20% en los meses de abril, mayo junio y julio, coincidiendo con los mínimos de intensidad media mensual (Figura 7). En Paraná AERO, que representa a la región del Centro-Noreste, se encontraron frecuencias de calmas de entre el 10 y el 20 % durante todo el año, siendo en promedio una de las más altas del país y coincidiendo la baja variabilidad durante el año con la baja variabilidad de la intensidad (Figura 9). Sin embargo, en esta región se encontró mucha variabilidad entre sitios, lugares con frecuencia de calmas menores, situados en el centro de la región y otros con frecuencias medias de calmas mayores, en el este de la región. En la región del oeste del país, representada por San Juan AERO (Figura 23, C), se encontraron calmas variables, con un pico en el otoño donde la intensidad es menor (Figura 15) y una disminución hasta los mínimos del verano. Por último, en la región del Sur de Buenos Aires, representada por Mar del Plata AERO (Figura 23, D) se encontró una baja frecuencia media de calmas durante casi todo el año, con el máximo durante el mínimo de intensidad en mayo (Figura 12) y los mínimos en verano. Si bien en esta región se encontró una escasa diferencia entre sitios, en los ubicados en el sur, las calmas fueron menores.

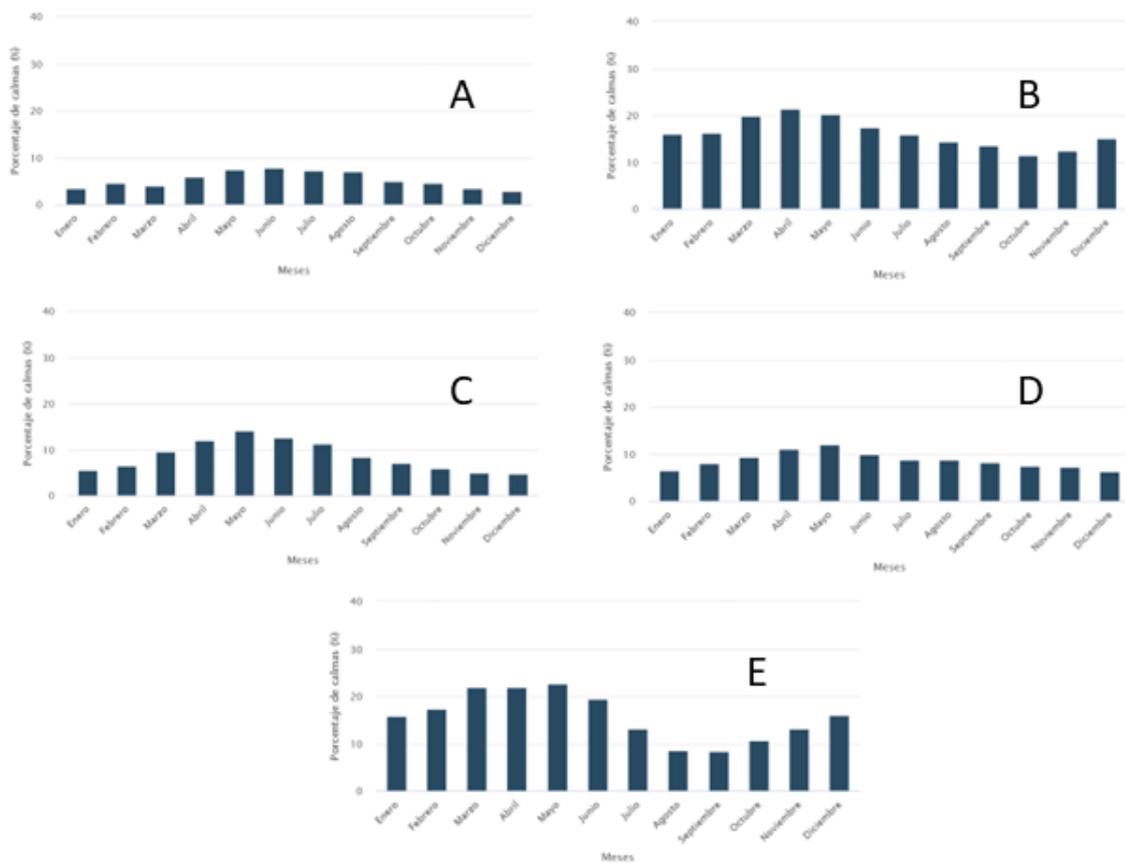


Figura 23. Frecuencia relativa de calmas por mes para las estaciones meteorológicas de Río Gallegos AERO (A), Paraná AERO (B), San Juan AERO (C), Mar del Plata AERO (D), Jujuy AERO (E).

4.2 Frecuencia de calmas a escala diaria

A escala diaria se ve un patrón similar a la escala anual, con un comportamiento inverso a la marcha diaria de intensidad del viento en todos los sitios. En La Patagonia, representada por Río Gallegos AERO (Figura 24, A), se observan las menores frecuencias relativas de calmas, con valores menores al 10% en todas las horas del día. En Paraná AERO (Figura 24, B), que representa a la región del centro y noreste del país, se ven los máximos absolutos de calmas horarias durante la noche y mínimos muy bajos a la tarde, con una diferencia de 30% entre los extremos. Al igual que en el análisis de calmas mensuales, se encontró alta variabilidad dentro de la región del centro-noreste, con menores frecuencias de calmas en los sitios ubicados en el centro, y mayores en el este de la región. Por otro lado, en Jujuy AERO (Figura 24, E) que representa a la región del noroeste, también tiene valores muy elevados de frecuencia de calmas durante todo el día,

con los mínimos de la tarde más altos que Paraná AERO. Se puede observar un pico de frecuencia de calmas a las 11 HOA, coincidente con el pico mínimo de intensidad observado en la marcha diaria de intensidad del viento de este sitio (Figura 8). En la región del sur de Buenos Aires, representada por Mar del Plata (Figura 24, D), se encontraron mínimos muy bajos en las horas de la tarde, con un aumento de más del 10% hacia la noche. Por último, en la región del oeste del país, representada por San Juan AERO (Figura 24, C), se encontró una marcha similar a la de la región del sur de Buenos Aires, pero con los mínimos en horas más avanzadas de la tarde.

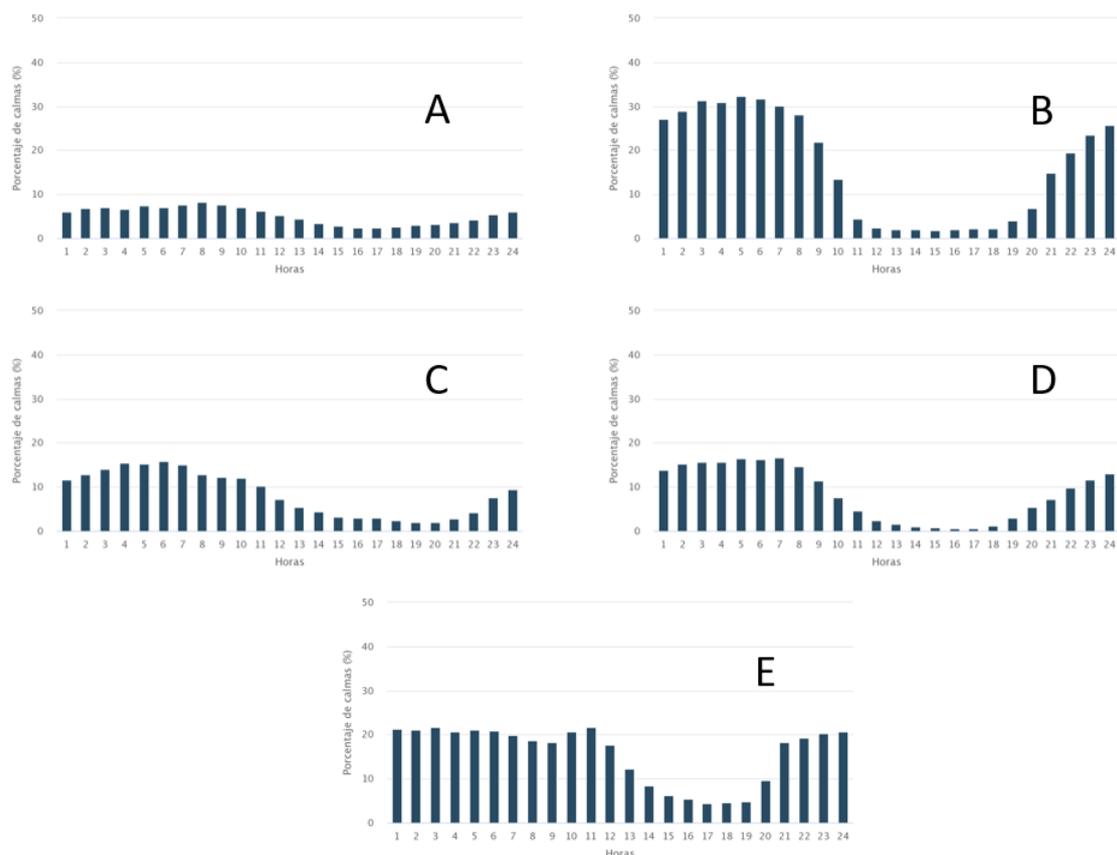


Figura 34. Frecuencia relativa de calmas por hora para las estaciones meteorológicas de Río Gallegos AERO (A), Paraná AERO (B), San Juan AERO (C), Mar del Plata AERO (D), Jujuy AERO (E).

En San Julián (Otero *et al.*, 2016) y Trelew (Cúneo *et al.*, 2018), también se observaron similares distribuciones en las frecuencias de calmas horaria, con los mínimos durante la tarde y los máximos durante la noche. En cuanto a la frecuencia de calmas a lo largo del año, se ven ligeras variaciones debido a los distintos períodos de tiempo usados

en el análisis, pero en general coinciden en que se observan los máximos en otoño-invierno y los mínimos en primavera-verano.

CAPÍTULO 5: Aplicación web

Como resultado final de esta tesis se diseñó una página web interactiva con todos los gráficos y mapas obtenidos como resultado de este trabajo. La página web se divide por secciones, en el inicio se puede encontrar información general sobre el trabajo, el equipo y el lugar de trabajo (Figura 25). En la sección de mapas climáticos de viento se encuentra un mapa interactivo que contiene un control de capas donde se elige la capa a visualizar (Figura 26), con datos de viento de ambas bases de datos y en escala mensual, trimestral o anual media. Por otro lado, se encuentra la sección de gráficos, donde se selecciona la estación meteorológica y el gráfico a visualizar estando disponibles las rosas de los vientos (Figura 27), la marcha anual y diaria de intensidad de viento, la frecuencia de calmas diaria y mensual y la distribución de probabilidad. La página web está disponible en el siguiente enlace: <https://anemoi.net.ar>.

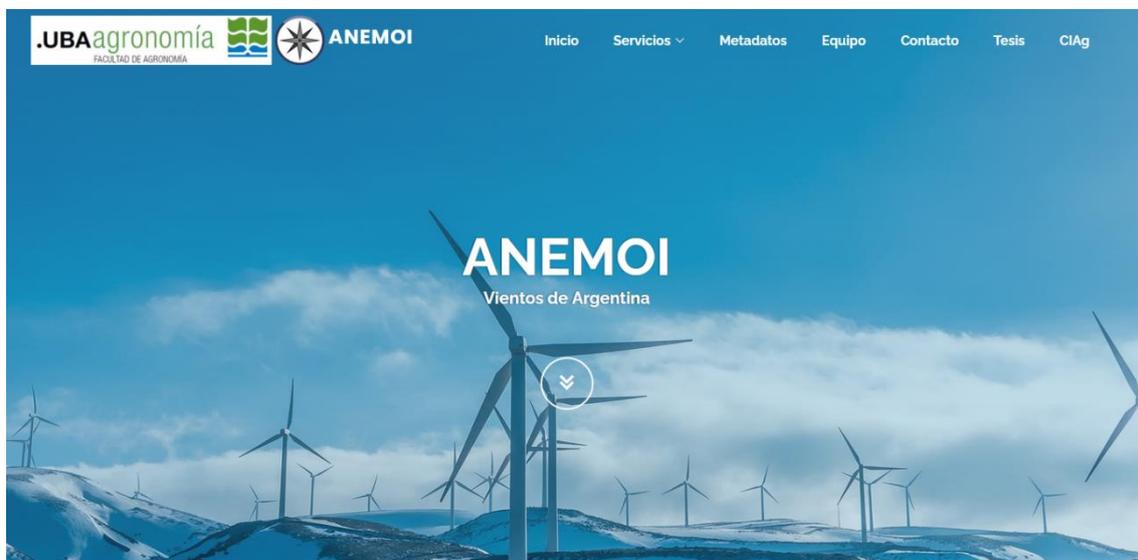


Figura 25. Página de inicio de la página web.

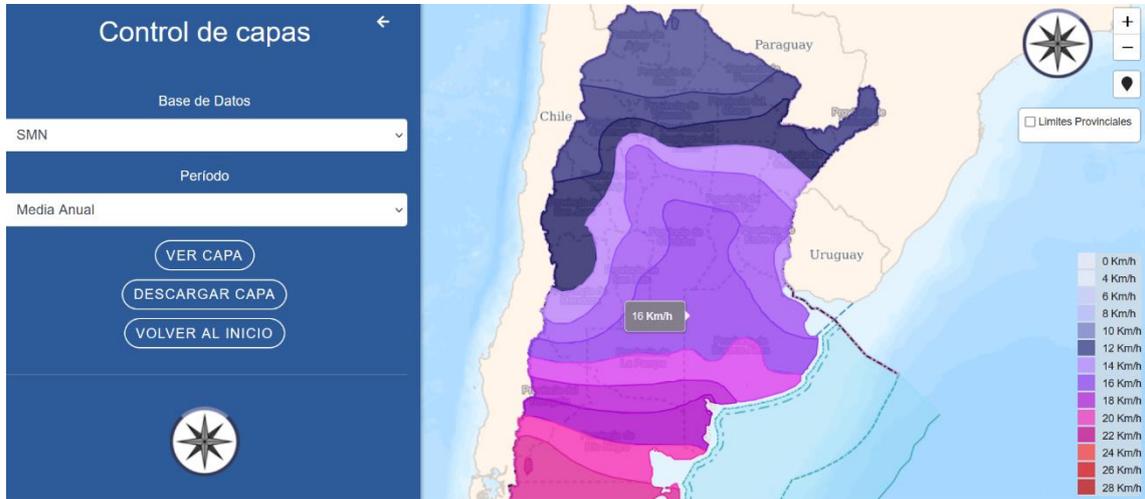


Figura 26. Mapa interactivo de intensidad media del viento con ambas fuentes de datos y para distintos períodos de tiempo.



Figura 27. Mapa de sitios de observación con rosas de los vientos interactivas para cada uno de ellos.

CONCLUSIONES

A partir de la presente investigación, se contribuyó al conocimiento de los vientos en Argentina, tanto en intensidad como en dirección en distintas escalas temporales. La ausencia de una caracterización a escala nacional dificulta estudiar mecanismos asociados a este factor como las sequías, la erosión eólica, los disturbios ecológicos, el transporte de contaminantes o la producción de energía eólica, por eso era importante llevar a cabo una caracterización de este tipo. Para continuar a futuro con esta línea de trabajo se podría incluir otras fuentes de datos satelitales de intensidad y dirección del viento.

En conclusión:

- Se observan intensidades de viento menores en el norte del país y aumentando hacia los máximos del sur.
- En todo el país los máximos valores de intensidad de viento son en primavera y los mínimos en el otoño excepto en el sur, donde los máximos se dan en el verano, y los mínimos en el invierno.
- Hay una buena correlación entre las marchas anuales de los datos observados del SMN y los registros de NASA POWER
- En cuanto a la dirección, se observa una clara predominancia de los vientos del noreste en el noreste del país, del oeste en la Patagonia, y vientos variables debido al relieve en el centro y oeste del país.
- La distribución de probabilidad de las frecuencias relativas horarias de intensidad de viento se ajusta bien a una distribución de Weibull.
- La frecuencia de calmas en escala horaria y mensual mostró menores frecuencias en el sur y mayores en el norte, siguiendo el patrón inverso a la intensidad del viento en ambas escalas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahrens, C.D. and Henson, R. (2019) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and Environment*. 12th Edition, Cengage Learning, Boston, 587 p.
- Barros, V. R. 1983. *Atlas del potencial eólico de La Patagonia*. Centro Nacional Patagónico-CONICET.

- Barros, V. R.; Perczyk, D. 2006. República Argentina: Vulnerabilidad a Cambios Climáticos e Hidrológicos, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable e Instituto Torcuato Di Tella. Buenos Aires, Argentina.
- Belmonte, S.; Núñez, V.; Viramonte, J. G.; Franco, J. (2009). Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1475-1484.
- Billiet, D.; (2012). CARACTERIZACION AGROCLIMATICA DE LAS HELADAS EN CUATRO ESTACIONES METEOROLOGICAS DE LA REGION PAMPEANA. [Tesis de grado, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires]. <http://ri.agro.uba.ar/greenstone3/library/collection/ti/document/2012billietdominique>
- Csilléry, K.; Kunstler, G.; Courbaud, B.; Allard, D.; Lassegues, P.; Haslinger, K.; Gardiner, B.; 2017. Coupled effects of wind-storms and drought on tree mortality across 115 forest stands from the Western Alps and the Jura mountains. *Global Change Biology*. 2017; 23:5092–5107.
- Cúneo, L. M.; Cerne, S. B.; Llano M. P.; 2018. Estudio preliminar de las características del viento medio mensual en Trelew. *Revista Meteorológica* Vol. 44 No1 (2019) 66 – 80.
- Espinoza, J. C.; Garraud, R.; Poveda, G.; Arias, P. A.; Molina-Carpio, J.; Masiokas, M.; Viale, M.; Scaff, L. 2020. Hydroclimate of the Andes Part I: Main Climatic Features. *Front. Earth Sci.* 8:64. doi: 10.3389/feart.2020.00064.
- Estrela Navarro, M.J.; Pastor Guzmán, F.; Valiente Pardo, J.A.; Alloza, J.A.; 2005. Integración de una cartografía de vientos en situaciones meteorológicas de riesgo de incendios forestales en la Comunidad Valenciana mediante un SIG. *GeoFocus* 2005, Vol. 5, 94–114.
- Ezpeleta, A.; (2017). Cálculo del Riesgo de Adversidades Climáticas para los Cultivos: Los Cereales de Verano en Montenegros”. Zaragoza: Universidad Zaragoza.
- Garrido, S.; Lalouf, A.; Moreira, J.; 2013. Implementación de energías renovables como estrategia para modificar la matriz energética en Argentina. De las políticas puntuales a las soluciones sistémicas. *Actas ASADES2013*, Vol. 17, pp.12.35-12.41 (2013).
- GCOS; 2009. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCC.
- Gonzalez, J. F.; Oliva, R.; Cárdenas, G.; Cortez, N. 2016. MEDICIONES DE INTENSIDAD Y DIRECCION DE VIENTO EN DOS EMPLAZAMIENTOS DE PUERTO SAN JULIAN. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 4, pp 06.127-06.138 (2016).
- Grace, J. & Russell, G.; 1977. The Effect of Wind on Grasses. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 28, No. 103, pp. 268-278, April 1977

- Guillemes, A.; 2014. Análisis de viabilidad para el aprovechamiento de los potenciales eólicos en la región occidental de Ecuador. Revista Carácter, diciembre 2014, Vol. 2, No.1 ISSN: 1390-7662.
- Guzmán, M. G., Hernando, C., Galilea, C. D., & Olmo, J. M. (2004). Modelización del comportamiento del fuego en los incendios forestales: modelos empíricos de predicción de la velocidad de propagación desarrollados en túnel de viento. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (18), 269-274
- Iogna, P. A.; 2017. Efectos del viento sobre las relaciones hídricas, arquitectura hidráulica y propiedades mecánicas de arbustos patagónicos. [Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA]. Disponible en: digital.bl.fcen.uba.ar
- Konopka, B.; Zach, P.; Kufan, J.; 2016. Wind – an important ecological factor and destructive agent in forests. Lesnický časopis – Forestry Journal. Vol. 62 (2016) 123 - 130.
- Li, J., Okin, G. S., Epstein H. E.; 2009. Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of windblown sediments. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences Vol. 114, Issue G2
- Lichtenstein, Erich R.; 1980. "La depresión del Noroeste argentino. [Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales]. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n1649_Lichtenstein
- Manzur, M. E., Hall, A. J., & Chimenti, C. A. El vuelco en el cultivo de girasol: características anatómicas y mecánicas del sistema radical.
- Negm, A.; Minacapilli, M.; Provezano, G. 2018. Downscaling of American National Aeronautics and Space Administration (NASA) daily air temperature in Sicily, Italy, and effects on crop reference evapotranspiration. Agricultural Water Management. Vol 209, (2018) 151-162.
- NOAA. 2006.; National Weather Service's Cooperative observer program. Recuperado de: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis>
- RUIZ-OCHOA, M. A., & BERNAL FRANCO, G. (2009). VARIABILIDAD ESTACIONAL E INTERANUAL DEL VIENTO EN LOS DATOS DEL REANÁLISIS NCEP/NCAR EN LA CUENCA COLOMBIA, MAR CARIBE. Avances en Recursos Hidráulicos, (20). Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/14328>
- Otero, F.; Cerne, S. B.; Campetella, C.; 2017. Estudio preliminar de la velocidad del viento en San Julián en referencia a la generación de energía eólica. Revista Meteorológica Vol. 42 No2 (2017) 59 – 79.
- Palavecino, M. A.; (2021). Caracterización de la intensidad de viento en escala diaria y verificación del pronóstico numérico en la estación Ezeiza. [Tesis de grado, Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires].

- Palese, C.; Cogliati, G. M.; Lassig, J.; 2001. Régimen de viento y de potencia eólica en la región Norpatagónica. IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos (ELPAH) (Patagonia Argentina, 2001)
- Peretti, M.; Análisis temporal y espacial del contenido de agua en el suelo en Argentina. Escuela para graduados "Ing. Agr. Alberto Soriano". Trabajo en preparación.
- Prohaska, F.; (1976). The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. In: W. Schwerdtfeger (ed.), Climates of Central and South America. World survey of climatology. Vol. 12. Elsevier Co, Amsterdam: 13-112
- Qian, W.; L. Quan y S. Shi, 2002. Variations of the dust storm in China and its climatic control. Journal of Climate, Vol. 15, 1216–1229.
- Stackhouse P.; Zhang, T.; Barnett, A.; Macpherson, B.; Mikovitz, C. 2019. Prediction Of Worldwide Energy Resource. Power docs. Recuperado de <https://power.larc.nasa.gov/docs/>
- Venegas, L., E.; Mazzeo, N., A.; 2012. La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV) (La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre de 2012)