

1
2 **CARACTERIZACIÓN DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO EN LA ESTACIÓN**
3 **EZEIZA**

4
5 **Mariela Ayelén Palavecino^{1,2}, Alejandro Anibal Godoy^{1,2}, María Eugenia Dillon^{1,3}**
6 **María de los Milagros Skansi¹**
7 **Autor correspondiente: Mariela Ayelén Palavecino**
8 **apalavecino@smn.gob.ar**

9
10 ¹Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina;

11 ² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La
12 Plata, Argentina;

13 ³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires,
14 Argentina.
15

16 **RESUMEN**

17
18 Los eventos de vientos intensos causan destrozos materiales y exponen en situaciones de
19 vulnerabilidad a la vida humana y a distintos ecosistemas. La intensidad y dirección del
20 viento desempeñan un rol importante en distintas disciplinas: por ejemplo, influyen en la
21 actividad aeroportuaria, determinan el aprovechamiento de energía eólica, intervienen en la
22 producción agrícola, impactan en la propagación de incendios forestales y por ende en la
23 calidad del aire. Si bien algunos estudios climáticos y de variabilidad climática del viento
24 muestran una disminución de la intensidad media diaria y anual en los últimos años tanto
25 en Argentina como en otras regiones del mundo (Baldo y Cerne, 2018; Cúneo *et al.*, 2019;
26 Vautard, *et al.*, 2010), también se observan tendencias positivas significativas en la
27 velocidad del viento tanto de superficie como de niveles superiores en el sur de Argentina
28 (Merino, 2022).

29 Por lo motivos antes mencionados, entre otros, resulta de suma importancia continuar con
30 estudios referidos a la variable viento a nivel nacional. El objetivo de este trabajo es realizar
31 una caracterización preliminar del viento a 10 m para distintas escalas temporales en la
32 estación meteorológica aeronáutica de Ezeiza (SAEZ) durante el periodo 2009-2019 y
33 comparar los resultados con el periodo climatológico 1981-2010. Los resultados
34 encontrados muestran que las menores intensidades de los vientos medios diarios y
35 máximos diarios tanto para la serie 2009-2019 como para la serie climatológica se registran

36 durante los meses de otoño e invierno y se observa, en general, que los vientos máximos
37 diarios duplican la intensidad de los vientos medios diarios. Además, los vientos medios
38 mensuales del periodo 2009-2019 muestran una clara tendencia a la disminución de la
39 intensidad y de la amplitud entre valores máximos y mínimos en comparación con los datos
40 climatológicos.

41

42 **Palabras clave:** viento medio, viento máximo, Ezeiza

43

44 **CHARACTERIZATION OF WIND INTENSITY AT THE EZEIZA STATION**

45

46

ABSTRACT

47

48 Intense wind events cause material damage and expose human life and different ecosystems
49 in situations of vulnerability. The intensity and direction of the wind play an important role
50 in different disciplines: for example, they influence airport activity, determine the use of
51 wind energy, intervene in agricultural production, impact on the spread of forest fires and
52 therefore on air quality. Although some climate studies and climate variability of wind
53 show a decrease in the average daily and annual intensity in recent years both in Argentina
54 and in other regions of the world (Baldo and Cerne, 2018; Cuneo et al., 2019; Vautard, et
55 al., 2010), significant positive trends in both surface and upper wind speeds are also
56 observed in southern Argentina (Merino, 2022).

57 For the reasons mentioned above, among others, it is very important to continue with
58 studies referring to the wind variable at the national level. The objective of this work is to
59 carry out a preliminary characterization of the wind at 10 m for different time scales in the
60 aeronautical meteorological station of Ezeiza (SAEZ) during the period 2009-2019 and
61 compare the results with the climatological period 1981-2010. The results found show that
62 the lower intensities of the average daily winds and daily maximums for both the 2009-
63 2019 series and the climatological series are recorded during the autumn and winter months
64 and it is observed, in general, that the maximum daily winds double the intensity of the
65 daily average winds. In addition, the monthly average winds of the period 2009-2019 show
66 a clear tendency to decrease the intensity and amplitude between maximum and minimum
67 values compared to the climatological data.

68 **Key Words:** mean wind, maximum wind, Ezeiza

69

70 **1) INTRODUCCIÓN**

71

72 La intensidad y dirección del viento desempeñan un rol importante en distintas disciplinas,
73 resultando necesario avanzar con los estudios referidos a estas variables. En Argentina
74 algunos trabajos recientes son: los de Waimann (2016) y Otero *et al.* (2017), relacionados
75 con la energía eólica; el de Rondan (2019) que indaga en el impacto en la
76 agrometeorología; el de García Ferreyra (2017) enfocado en la calidad del aire por la
77 propagación de incendios forestales; por mencionar algunos.

78 Respecto a la actividad aeronáutica, los vientos de superficie juegan un rol importante en el
79 despegue y aterrizaje de aviones (Leung *et al.*, 2020). Por ejemplo, Gultepe *et al.* (2019)
80 afirman que en Estados Unidos el 20% de los accidentes de aviación ocurridos durante el
81 periodo 2003-2007 estuvieron fuertemente ligados a las condiciones meteorológicas, siendo
82 el viento una de las variables que más contribuye. Entre los fenómenos meteorológicos más
83 perjudiciales para la aviación se encuentran las nieblas, cuya formación depende, entre
84 otros factores, del viento. Por ejemplo, Gultepe *et al.* (2007) sostienen que la formación de
85 niebla no siempre ocurre en condiciones de viento calmo, y en estas situaciones la
86 formación de las mismas está asociada a viento turbulento. Asimismo, en 1896 Scott
87 muestra que en las Islas Británicas ocurrían nieblas con vientos fuertes y de larga duración.
88 Mientras que en Argentina, particularmente en la estación meteorológica aeronáutica de
89 Ezeiza (SAEZ) Quinteros de Menzies y Obertello (1972) encuentran que las nieblas son
90 casi en su totalidad de tipo radiativo y que, en consecuencia, los factores de mayor
91 influencia en su formación son las calmas o los vientos leves con dirección comprendida
92 entre E y NE.

93 Cabe destacar que la estación SAEZ se encuentra dentro del Aeropuerto Internacional
94 Ministro Pistarini, que es la terminal aérea más grande y moderna de Argentina, y por lo
95 tanto la entrada directa de vuelos internacionales de larga distancia al país. La importancia
96 y confiabilidad de sus datos meteorológicos tanto a nivel nacional como internacional,
97 sumadas a la relevancia de la ubicación, motivan la elección de SAEZ para caracterizar el
98 viento de superficie en este trabajo.

99 Por ejemplo, algunos estudios climáticos y de variabilidad climática del viento muestran
100 una disminución de la intensidad media diaria y anual en los últimos años tanto en algunas
101 zonas de Argentina como en otras regiones del mundo (Baldo y Cerne, 2018; Cúneo *et al.*,
102 2019; Vautard *et al.*, 2010), pero también se observan tendencias positivas significativas en
103 la velocidad del viento tanto de superficie como de niveles superiores en el sur de
104 Argentina entre los años 1990-2020 (Merino, 2022). De esta manera, surge la necesidad de
105 estudiar el comportamiento local del viento y su tendencia en la estación Ezeiza y conocer
106 si el mismo está mostrando cambios o no.

107 El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización preliminar de la intensidad del
108 viento en la estación SAEZ durante el periodo 2009-2019. Con el fin de obtener una
109 estadística del viento medio diario y de los valores extremos diarios en dicha estación, se
110 caracteriza el viento a 10 m y se compara la serie con los datos climatológicos del periodo
111 1981-2010.

112 En la sección 2 se describen las observaciones y las herramientas utilizadas para analizar
113 las mismas. En la sección 3 se presentan y discuten los resultados obtenidos, y finalmente
114 en la sección 4 se resumen las conclusiones del trabajo.

115

116 2) METODOLOGÍA

117

118 2.1 Observaciones de viento en la estación de Ezeiza

119

120 En este artículo se analiza el viento a 10 m en la estación SAEZ que pertenece a la red de
121 estaciones meteorológicas de superficie del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Sus
122 coordenadas geográficas son 34°49'20" S 58°32'09" O, y está ubicada a una altitud de 20 m
123 en el partido de Ezeiza de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

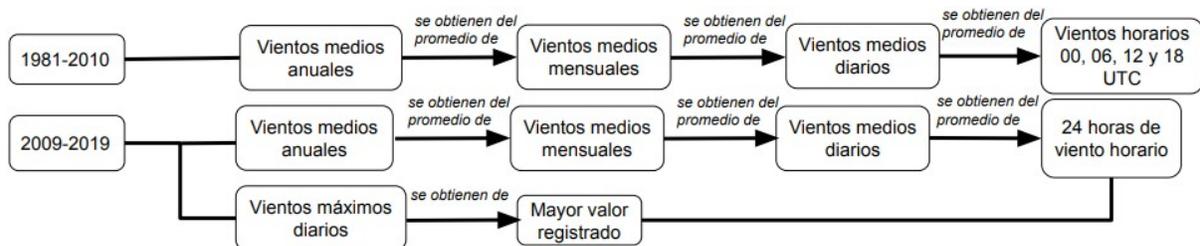
124 Se cuenta con dos set de datos:

- 125 ● El primero es de datos de vientos medios mensuales correspondientes al periodo
126 climatológico 1981-2010 (A).
- 127 ● El segundo es de datos de vientos horarios correspondientes al periodo 2009-2019
128 (B).

129 Como primera instancia, con el objetivo de conocer el viento en la estación SAEZ a nivel

130 climatológico, se realiza un análisis de los vientos medios mensuales correspondientes a la
 131 serie 1981-2010 (A) tomada de la base de datos del SMN. Dicho periodo cuenta con 30
 132 años de datos de vientos medios mensuales, donde la información del viento a 10 m está
 133 registrada en nudos y se convierte a m/s, utilizando dos decimales. Esta serie climatológica
 134 es emitida por el SMN pero no se encuentra publicada oficialmente. Los vientos medios
 135 mensuales fueron calculados a partir de los vientos medios diarios que surgen del promedio
 136 de 4 horas diarias principales (00, 06, 12 y 18 UTC) (ver Figura 1).
 137 Como segunda instancia, se analizan los datos de vientos horarios correspondientes al
 138 periodo 2009-2019 (B). Se cuenta con 11 años de datos de vientos horarios, donde también
 139 se realiza la conversión de nudos a m/s, utilizando dos decimales. Los vientos medios
 140 diarios se calculan a partir del promedio de los 24 datos de vientos horarios, mientras que
 141 los vientos medios mensuales se calculan promediando los vientos medios diarios para cada
 142 mes, y los vientos medios anuales surgen de promediar los vientos medios mensuales
 143 obtenidos (ver Figura 1). También se trabaja con los vientos máximos diarios,
 144 seleccionando el mayor valor del viento registrado durante las 24 horas del día,
 145 considerando el comienzo del mismo a las 00 Hora Oficial Argentina (HOA) (-3 UTC).
 146 Cabe aclarar que en este artículo no se trabaja con los datos correspondientes a registros de
 147 ráfagas de los mensajes Synop.

148



149

150 *Figura 1:* Cuadro sinóptico que esquematiza los cálculos realizados para la obtención de los vientos
 151 medios anuales, mensuales y diarios para las series 1981-2010 y 2009-2019; y de los vientos
 152 máximos diarios para la serie 2009-2019.

153

154 En cuanto a los controles de calidad de los datos de viento horario, estos se realizan una vez
 155 que los mismos ingresan al sistema del SMN a través de mensajes Synop. El control que se
 156 realiza es tanto de dirección (dd) como de intensidad (ff) (para más detalle consultar Anexo
 157 o Palavecino, 2021).

158 A partir de la información de anemometría se constata que en la estación SAEZ se utilizó
159 la versión WAD21 de VAISALA con número de serie 52231 en el año 2009, que luego
160 cambió a 52224 en el año 2010. Pero en el año 2016 se puso en funcionamiento el nuevo
161 Sistema Automático de Observación Meteorológica (AWOS, por sus siglas en inglés)
162 CATEGORÍA III, que implicó una actualización importante en el instrumental. Es
163 importante destacar que tanto la torre anemométrica de la empresa VAISALA como la
164 correspondiente al sistema AWOS se encuentran ubicadas en la cabecera de pista N°11,
165 donde la distancia entre ambas torres es entre 10 y 15 m aproximadamente (comunicación
166 personal con Diego Vega, jefe de la estación SAEZ). A partir del cambio de instrumental
167 que se realizó en el año 2016, los datos que se informan en la libreta meteorológica son los
168 obtenidos por el anemómetro ultrasónico del sistema AWOS. Si ante alguna eventualidad
169 este sistema se encuentra fuera de servicio, se utiliza el anemómetro VAISALA como back
170 up y se informa este dato en la libreta meteorológica. En estos casos, en la libreta no se
171 aclara que el dato fue tomado por el anemómetro VAISALA, pero sí se informa en las
172 planillas de control de calidad (Información obtenida mediante comunicación personal con
173 Anabella Barrionuevo, observadora de SAEZ).

174 Debido a que el cambio de instrumental se realizó precisamente dentro del periodo de
175 estudio, podrían detectarse heterogeneidades en la serie como así también períodos en los
176 cuales los instrumentos podrían haber presentado un funcionamiento inadecuado. Por lo
177 tanto, se decide evaluar la normalidad de la distribución teniendo en cuenta el cambio de
178 instrumental realizado en ese año. Los resultados muestran que la serie completa 2009-
179 2019 presenta un buen ajuste a la distribución de Weibull, con aproximación a la
180 distribución normal (parámetro de forma k elevado, ver sección 3).

181

182 **2.2 Herramientas utilizadas para analizar los datos**

183

184 En esta sección se mencionan y describen las diversas metodologías que se utilizan para
185 analizar los datos estadísticamente. En todos los casos se emplea el lenguaje de
186 programación Python para el procesamiento de datos, el cual es de libre distribución
187 (disponible en <https://www.python.org/>, accedido el 27/09/2022).

188 Una herramienta útil para visualizar los datos es el *Boxplot* o Diagrama de caja. Es un

189 método estandarizado para representar gráficamente una serie de datos numéricos a través
190 de sus cuartiles (Tukey, 1977). El Boxplot muestra la mediana y los cuartiles de los datos,
191 pudiendo también representar los valores atípicos o “outliers”. La caja abarca el rango
192 intercuartíl (IQR), es decir, el 50% de los datos que se encuentran entre los cuartiles 25
193 (Q1) y 75 (Q3). La línea que cruza el centro de la caja marca la mediana (la observación
194 central). En este trabajo los bigotes se extienden a ambos lados de la caja y representan los
195 rangos del 25% de valores de datos de la parte inferior y el 25% de la parte superior,
196 excluyendo los valores atípicos.

197 El histograma es otra herramienta de visualización gráfica muy utilizada en estadística. El
198 mismo consta de una serie de barras cuyos anchos están definidos por los límites de clase y
199 cuyas alturas dependen del número de valores en cada intervalo de clase. Muestra también
200 los atributos de los datos, es decir, distribución, extensión y simetría. Particularmente en
201 este trabajo los anchos de los intervalos de clase son iguales y las alturas de las barras del
202 histograma representan la frecuencia relativa de cada uno.

203 Cuando se presenta un histograma, resulta útil mostrar los valores de los estadísticos más
204 utilizados, por ejemplo, la media o la mediana. Si los datos provienen de una distribución
205 normal (Gaussiana) (Wilks, 2005), entonces, siempre que el tamaño de la muestra sea lo
206 suficientemente grande, el histograma debe aproximarse a una forma simétrica tipo
207 campana.

208 Por su parte, el gráfico *Q-Q Plot* (Cuantil Cuantil) permite comparar los datos de la muestra
209 con una distribución de referencia, por ejemplo, la distribución Gaussiana. Cada par de
210 coordenadas que define la ubicación de un punto consiste en un valor de datos, y la
211 estimación correspondiente para ese valor de datos deriva a partir de la función cuantil de la
212 distribución ajustada (Wilks, 2005).

213 Para analizar la homogeneidad de la serie se emplean distintos tipos de testeos (Wilks,
214 2005) que permiten conocer si la serie puede o no ajustarse a algún tipo de distribución
215 continua. Particularmente se quiere probar si la serie de datos puede ajustarse a una
216 distribución de Weibull. La distribución de Weibull es una función comúnmente utilizada
217 para ajustarse a distribuciones de frecuencias de velocidad del viento (Justus *et al.*, 1978).
218 La distribución de Weibull de dos parámetros ha sido la más ampliamente utilizada y
219 recomendada para describir las distribuciones de frecuencia de las velocidades del viento

220 con la finalidad de evaluar sus características y contribuir al modelado estadístico del
221 mismo, en particular para su evaluación energética (Ramirez González, 2006). Esta
222 distribución está compuesta por dos parámetros: parámetro de escala de Weibull “c” y
223 parámetro o factor de distribución de forma “k”. Se utiliza el método de máxima
224 verosimilitud para la estimación de los parámetros de Weibull siguiendo a Seguro y
225 Lambert (2000) quienes postulan que es el método más preciso y robusto. La función de
226 distribución de Weibull está representada por la ecuación (1):

227

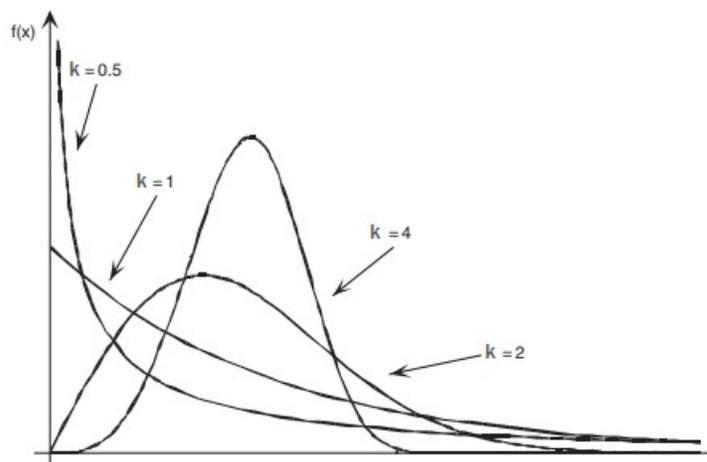
$$228 \quad f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

229

230 Donde c toma unidades iguales a las unidades de velocidad del viento; k es adimensional; y
231 v es la velocidad del viento. El parámetro de escala c define cuán dispersa se encuentra la
232 distribución. Dependiendo del valor de k, una distribución puede tomar diferente forma.
233 Para valores de $k < 1$ la distribución presenta una fuerte asimetría positiva, y cuando k
234 tiende a 1 la distribución de Weibull tiende a una distribución exponencial. El parámetro de
235 escala c actúa estirando o comprimiendo la forma básica a lo largo del eje x, para un
236 determinado valor de k. En especial, un valor de $k = 3,6$ hace que la distribución de Weibull
237 sea muy similar a la distribución Gaussiana.

238 En la Fig. 2 se muestran ejemplos de distintas distribuciones dependiendo de los valores de
239 k. Se observa especialmente que para valores de k entre 2 y 4, la distribución se aproxima a
240 la forma Gaussiana. A medida que el k aumenta, la curva presenta elevada curtosis y
241 asimetría hacia la izquierda.

242 Los testeos que se utilizan para analizar el tipo de distribución de la serie son: Test de
243 Kolmogórov-Smirnov (Lilliefors, 1967; Crutcher, 1975), Test de Levene (Levene, 1960;
244 Gastwirth *et al.*, 2009), Test U de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947; Yue y Wang,
245 2002).



246

247 *Figura 2:* Funciones de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull para cuatro valores
 248 del parámetro de forma k . (Gráfico tomado y adaptado, 4.4.5 Extreme-Value Distributions, Wilks
 249 (2005)).

250

251 **3) RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

252

253 Antes de proceder con las comparaciones entre los vientos de ambas series, resulta
 254 importante analizar el tipo de distribución a la que se ajustan los vientos medios diarios del
 255 periodo 2009-2019.

256 Se realizan particiones dentro de la serie para un análisis más detallado y se aplican
 257 distintos tipos de testeos: Test de Kolmogórov-Smirnov, Test de Levene, Test U de Mann-
 258 Whitney. Los mismos indican que la serie no puede ajustarse a la distribución normal, ya
 259 sea tanto para el periodo completo, incluyendo 2016, como para cada una de las
 260 subdivisiones de la misma a través de los periodos 1 y 2 (periodo 1: 2009-2015 y periodo 2:
 261 2017-2019). En particular, el análisis mediante las varianzas muestra que ambos periodos, 1
 262 y 2, pertenecen a distintas poblaciones (no mostrado). En este punto hay que tener en
 263 cuenta que al analizarse periodos relativamente cortos de tiempo, los mismos podrían estar
 264 influenciados por la variabilidad propia de la atmósfera, pudiendo no ser detectada por los
 265 testeos.

266 Sin embargo, el ajuste a la distribución de Weibull muestra que ambos periodos poseen una
 267 distribución similar, aproximada a la forma de “campana”, indicando el acercamiento de
 268 ambos a la distribución Gaussiana, con una leve asimetría (no mostrado). Los resultados al

269 comparar los valores de k muestran que eliminar (o no) el año 2016 de la serie completa no
270 produce alteraciones significativas en la distribución, dado que las diferencias en los
271 valores de k pueden considerarse despreciables a los fines de este estudio. Por este motivo
272 se decide incluir los datos de vientos correspondientes al año 2016.

273 En cuanto al análisis de la distribución de los vientos máximos diarios del periodo 2009-
274 2019, la serie presenta un buen ajuste a la distribución de Weibull, donde k toma también
275 valores semejantes a los de la distribución Gaussiana.

276

277 **3.1 Comparación entre la serie de vientos medios mensuales y anuales del periodo** 278 **2009-2019 y la serie climatológica 1981-2010**

279

280 En esta sección se busca obtener una caracterización del viento medio mensual
281 climatológico durante el periodo 1981-2010 y luego poder compararlo con el viento medio
282 mensual del periodo de interés 2009-2019. En la Fig. 3 se presentan para ambas series los
283 gráficos boxplot, Q-Q plot e histogramas de frecuencias con ajustes a la distribución de
284 Weibull.

285 Analizando los gráficos boxplot (panel superior izquierdo), se observa a grandes rasgos que
286 las menores velocidades corresponden a la serie 2009-2019. La serie 1981-2010 presenta
287 una mediana con valor de 3,75 m/s, donde el 50% de los registros que se encuentran dentro
288 de la caja oscilan entre 3,4 y 4 m/s. Son escasos los valores fuera de rango u outliers.
289 Comparando con la serie 2009-2019, la mediana toma un valor menor, alrededor de 3,4
290 m/s. En este caso, el 50% de los datos que se encuentran dentro de la caja oscilan entre 3,1
291 y 3,7 m/s.

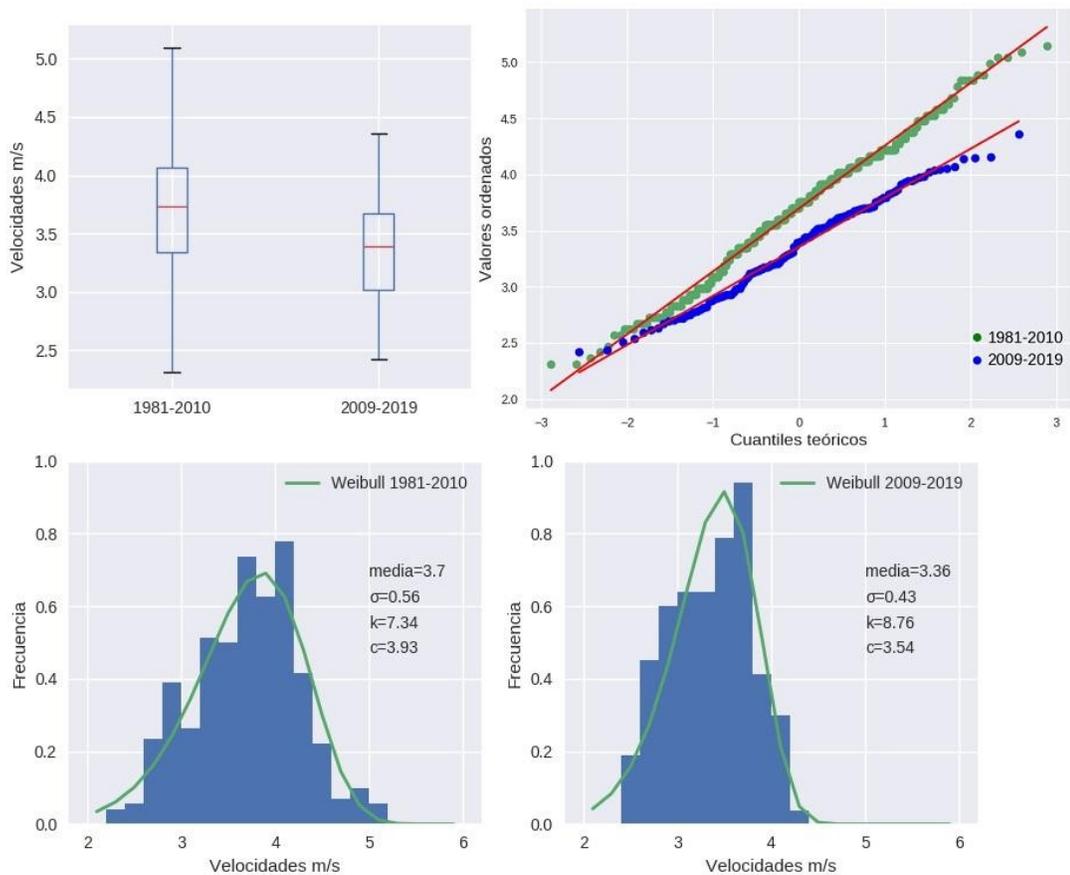
292 Mediante el gráfico Q-Q plot (panel superior derecho) se muestra el ajuste de los vientos
293 medios mensuales de ambas series a la distribución normal. Se observa en ambos casos, un
294 alto porcentaje de los datos emparejados a la función lineal representada en color rojo,
295 evidenciando un buen ajuste a la misma.

296 Para concluir el análisis se procede al estudio de los histogramas de frecuencias y de las
297 series ajustadas a la distribución de Weibull. Tanto la media como el desvío estándar son
298 mayores para el periodo climatológico alcanzando un valor de 3,7 m/s y de 0,56 m/s
299 respectivamente (panel inferior izquierdo), en comparación con la serie de interés donde la

300 media es de 3,36 m/s, mientras que el desvío estándar es de 0,43 m/s (panel inferior
301 derecho). El rango de velocidades también es mayor en la serie climatológica, variando
302 entre 2,2 y 5,2 m/s, lo cual puede deberse a la mayor cantidad de años considerados. En
303 cuanto al análisis de la distribución de Weibull, el parámetro de forma k de la serie 1981-
304 2010 toma un valor de 7,34, definiendo una curva con una moda muy pronunciada, elevada
305 curtosis y asimetría hacia la izquierda. Cabe aclarar que una curtosis grande implica una
306 mayor concentración de valores tanto muy cerca de la media (pico) como muy lejos de ella
307 (colas), disminuyendo la frecuencia de valores intermedios.

308 En cuanto al parámetro de forma k , en la serie 2009-2019 toma un valor de 8,76, y al igual
309 que para el periodo 1981-2010, define una curva con elevada curtosis y asimetría hacia la
310 izquierda. Tanto el valor de la media como el valor del parámetro de escala c son menores
311 en el periodo 2009-2019 en comparación con el periodo 1981-2010. La disminución del
312 valor de la velocidad media indica un cambio en la amplitud de la distribución, relacionado
313 con el parámetro de escala c , ya que cuanto menor sea éste, menor amplitud presentará la
314 distribución. Tal como se observa, en este caso, el rango de velocidades es menor, variando
315 entre 2,3 y 4,4 m/s.

316



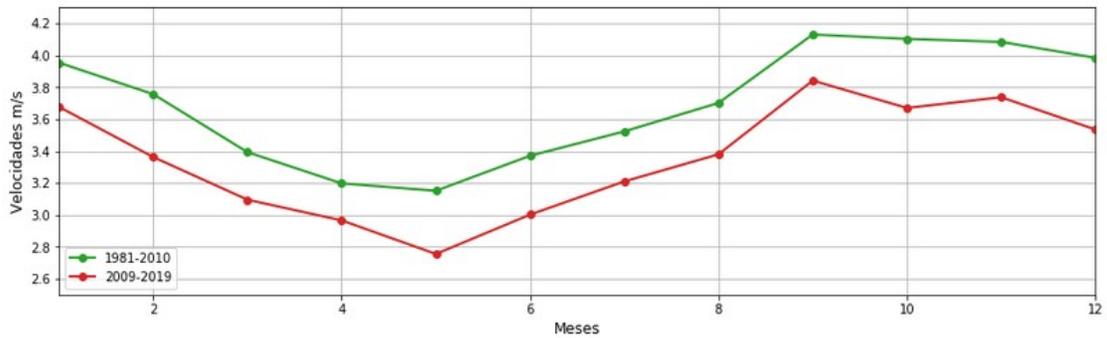
317

318 *Figura 3:* Boxplot (panel superior izquierdo), Q-Q plot (panel superior derecho) e histogramas de
 319 las series de vientos medios mensuales de los periodos 1981-2010 y 2009-2019 con ajuste a
 320 la distribución de Weibull (paneles inferiores izquierdo y derecho, respectivamente),
 321 incluyendo el valor de sus parámetros.

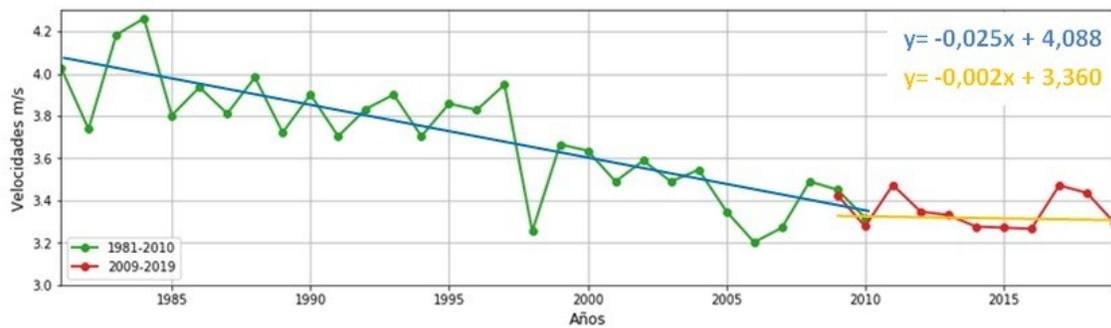
322

323 En la Fig. 4 se presentan las series del promedio de los vientos medios mensuales (panel
 324 superior) que resultan de promediar para cada año las intensidades de los vientos medios
 325 mensuales para cada periodo. Tanto en la serie 2009-2019 como en la serie 1981-2010 se
 326 observa la misma tendencia: las intensidades mínimas se registran durante las estaciones de
 327 otoño (Marzo- Abril- Mayo) e invierno (Junio- Julio- Agosto) mientras que las máximas
 328 durante la primavera (Septiembre -Octubre- Noviembre) y verano (Diciembre- Enero-
 329 Febrero). Se observa que los vientos presentan menores intensidades en el periodo 2009-
 330 2019, donde el valor mínimo para el promedio de los vientos medios mensuales es 2,7 m/s,
 331 mientras que el máximo es 3,9 m/s.

332 Respecto a los vientos medios anuales (panel inferior), en ambos periodos las líneas de
 333 tendencia evidencian una inclinación negativa, siendo más pronunciado el decrecimiento en
 334 la serie 1981-2010, donde la pendiente de la recta es de -0,025 en comparación a -0,002 del
 335 periodo 2009-2019.
 336



337



338

339 *Figura 4:* Promedio de los vientos medios mensuales para las series 1981-2010 y 2009-2019 (panel
 340 superior) y vientos medios anuales incluyendo las líneas de tendencia con sus respectivas
 341 ecuaciones (azul: 1981-2010, naranja: 2009-2019) (panel inferior).

342

343 En la Tabla 1 se muestran los valores de los estadísticos calculados para los vientos medios
 344 mensuales, vientos medios anuales y promedio de vientos medios mensuales. Respecto a
 345 las series de vientos medios anuales, el promedio de la variabilidad interanual presenta una
 346 tendencia negativa en ambas, siendo mayor en el periodo climatológico, alrededor de
 347 0,98% anual mientras que en el periodo 2009-2019 es de alrededor de -0,35% anual. En
 348 ambos periodos se observan dos extremos relativos de variabilidad interanual. En el
 349 periodo climatológico estos se registran entre los años 1984-1985 (1997-1998) donde la
 350 variabilidad interanual es de -11,8% (-20%). En cuanto al periodo 2009-2019 los máximos
 351 ocurren entre los años 2010-2011 y 2016-2017 ambos con un valor aproximado de 7,14 %.

Periodos	Vientos medios mensuales				Vientos medios anuales		Promedio vientos medios mensuales
	Media [m/s]	Mediana [m/s]	Desvío Estándar [m/s]	Amplitud [m/s]	Promedio Variabilidad interanual	Aumento/ Disminución Extremos	Rango [m/s]
1981-2010	3,75	3,7	0,56	3,1	-0,98%	* -11,8% (1984-1985) * -20% (1997-1998)	3,2-4,15
2009-2019	3,4	3,36	0,43	2	-0,35%	*7,14% (2010-2011) (2016-2017)	2,75-3,8

353

354 *Tabla 1:* Valores estadísticos calculados para los vientos medios mensuales, vientos medios anuales
355 y promedio de vientos medios mensuales

356

357 **3.2 Análisis de vientos medios y máximos diarios según los meses del año para el** 358 **período 2009-2019**

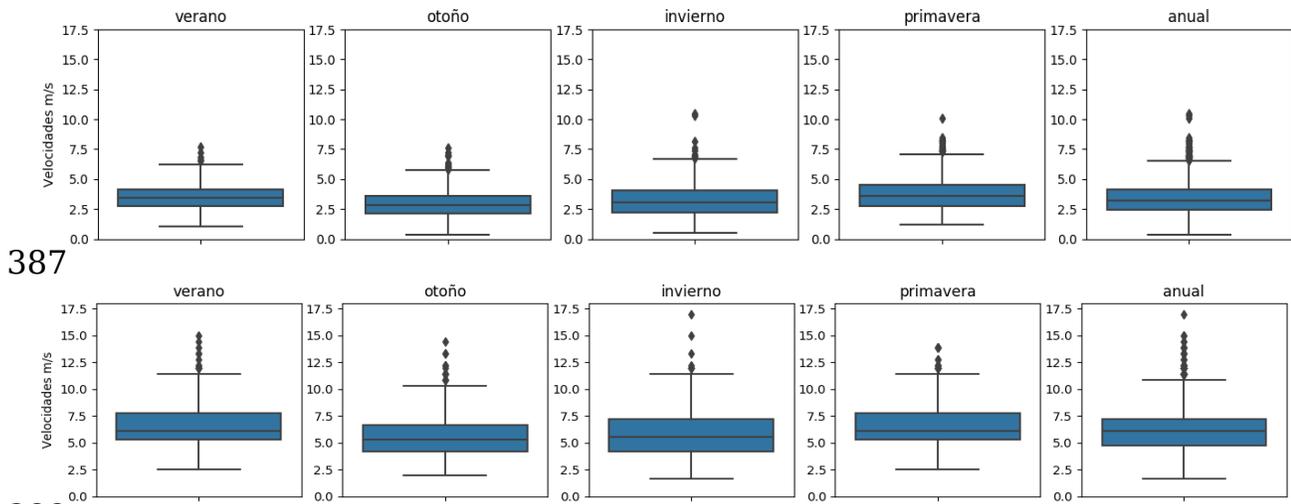
359

360 Para analizar el comportamiento del viento medio diario y del viento máximo diario de
361 acuerdo al mes del año, se muestran los gráficos boxplot para cada mes dentro del periodo
362 2009-2019 (Fig. 5). Este estudio es importante ya que permite analizar la variabilidad anual
363 y detectar los meses donde el viento presenta los mayores y menores valores de intensidad.
364 Así mismo se puede analizar cuáles son los meses en el que el viento varía en un rango más
365 amplio.

366 Se observa que si bien la diferencia de intensidades del viento medio diario y máximo
367 diario durante el año es leve, la mediana presenta los mayores valores en verano y
368 primavera, siendo alrededor de 3 m/s para los vientos medios diarios y alrededor de 6 m/s
369 para los vientos máximos diarios. Es importante destacar que la mediana anual de los
370 vientos máximos diarios alcanza un valor alrededor de 6,5 m/s, siendo el doble de
371 intensidad que para los vientos medios diarios.

372 En ambos casos, aunque más marcado para los vientos máximos diarios, se observa que la
373 amplitud de las intensidades dentro de la caja es mayor para el invierno y otoño, donde el
374 cuartil Q1 se encuentra levemente desplazado hacia intensidades menores. Si bien, como se

375 observó anteriormente, tanto los vientos medios diarios como los vientos máximos diarios
 376 alcanzan las mayores intensidades en verano y primavera, éstas varían dentro de un rango
 377 más acotado en comparación al invierno y otoño. Un aspecto a destacar es que los valores
 378 fuera de rango presentan las mayores intensidades en invierno, en ambos casos. Este
 379 comportamiento podría responder a la dinámica de situaciones sinópticas típicas que se
 380 desarrollan durante el invierno, favoreciendo la ocurrencia de vientos extremos más
 381 elevados. Un ejemplo de estas situaciones es el desarrollo de ciclones explosivos al sudeste
 382 de Sudamérica, siendo su época más frecuente en invierno entre los 30 y 45° S, sobre el
 383 continente y sobre el mar (Possia, 2004). Además de estar asociados a la rápida
 384 profundización, generalmente se registran vientos muy intensos y fuerte precipitación
 385 (Possia, 2004).
 386



387
 388 *Figura 5:* Boxplot del viento medio diario para cada estación del año y para todo el año (panel
 389 superior) y boxplot del viento máximo diario para cada estación del año y para todo el año (panel
 390 inferior), ambos correspondientes a la serie 2009-2019.
 391

392
 393 Analizando el comportamiento del viento de acuerdo al mes del año, en la Tabla 2 se
 394 observa que el viento medio diario se comporta de manera similar durante los meses de
 395 primavera y de verano respecto a la media, donde la misma oscila entre 3,36 y 3,84 m/s,
 396 alcanzando las mayores intensidades durante Septiembre, Octubre y Noviembre. Asimismo,
 397 en los meses de otoño e invierno la media alcanza los menores valores, entre 2,8 y 3,4 m/s.
 398 Respecto al desvío estándar se observa que los mayores valores corresponden al invierno y

399 a la primavera, entre 1,3 y 1,5 m/s; mientras que en verano y otoño el desvío es menor,
400 oscilando entre 1 y 1,3 m/s.

401 Continuando con el análisis de los vientos máximos diarios de acuerdo a la Tabla 2, se
402 observa que si bien las intensidades de los mismos duplican, en general, a las intensidades
403 de los vientos medios diarios, se mantiene el mismo comportamiento con respecto a las
404 estaciones del año. Las mayores intensidades se presentan durante los meses de primavera y
405 verano, oscilando entre 6,27 y 6,81 m/s; mientras que las menores durante los meses de
406 otoño e invierno con valores entre 5,21 y 6,17 m/s. Respecto al desvío estándar, la
407 variación es similar durante todo el año, siendo su oscilación entre 1,7 y 2,07 m/s.

408

Mes del año	Media [m/s]		Desvío estándar [m/s]	
	Viento medio diario	Viento máximo diario	Viento medio diario	Viento máximo diario
Enero	3,66	6,72	1,07	1,81
Febrero	3,36	6,27	1,06	1,7
Marzo	3,1	5,91	1,06	1,86
Abril	2,97	5,66	1,18	1,93
Mayo	2,76	5,21	1,14	1,76
Junio	3	5,55	1,28	1,92
Julio	3,21	5,89	1,33	1,92
Agosto	3,38	6,17	1,35	2,04
Septiembre	3,84	6,81	1,47	2,07
Octubre	3,67	6,67	1,27	1,99
Noviembre	3,74	6,71	1,27	1,89
Diciembre	3,54	6,64	0,97	1,87

409

410 *Tabla 2:* Media y desvío estándar mensual del viento medio diario y del viento máximo diario
411 correspondiente a la serie 2009-2019.

412

413 4) CONCLUSIONES

414

415 En este trabajo se caracterizó la intensidad del viento en la estación SAEZ a partir de datos
416 de vientos horarios para un periodo de 11 años, comprendidos entre 2009 y 2019. Si bien se

417 reconoce que el periodo no es lo suficientemente extenso, el mismo permitió establecer
418 ciertos patrones y tendencias en el comportamiento del viento en dicha estación, para
419 diferentes escalas temporales.

420 A partir de los datos horarios de la intensidad del viento, se calcularon los vientos medios
421 diarios, mensuales y anuales; y se seleccionaron los vientos máximos diarios. Además, se
422 realizó una comparación con la serie 1981-2010 provista por el SMN y considerada como
423 climatológica.

424 Los resultados de los test aplicados y el ajuste de Weibull mostraron que las series de
425 vientos medios mensuales 1981-2010 y 2009-2019 pueden tratarse como series
426 homogéneas a pesar de haberse realizado cambios en el instrumental de medición en la
427 estación SAEZ.

428 Resulta importante destacar que hasta el 2016 (año en que se reemplaza el instrumental) las
429 intensidades de los vientos fueron del mismo orden que las de la serie climatológica, y
430 luego a partir de ese año la amplitud entre los valores máximos y mínimos disminuyó
431 notablemente (no mostrado). Siguiendo esta línea, en Baldo y Cerne (2018) encontraron
432 una disminución progresiva en la intensidad de los vientos a partir del cambio de
433 instrumental, en las estaciones meteorológicas de Trelew y Bahía Blanca, durante el
434 periodo 2009-2016, resultando el año 2016 el menor registro anual en Trelew. Además, los
435 autores destacaron un cambio en las intensidades a partir del año 2013 que no fueron
436 causadas por cambios de instrumental, por lo tanto, sostuvieron que podría estar asociado,
437 entre otros factores, a cambios en la circulación de la atmósfera.

438 El análisis realizado evidenció una marcada disminución tanto en la intensidad como en el
439 rango de variación de los vientos medios mensuales en el periodo 2009-2019 respecto a la
440 serie climatológica 1981-2010. En concordancia con estos resultados encontrados, algunos
441 estudios climáticos y de variabilidad climática del viento sostuvieron también que la
442 velocidad media diaria y anual del viento está disminuyendo en los últimos años tanto en
443 Argentina (Baldo y Cerne, 2018) como en otras regiones del mundo (Pryor *et al.*, 2007;
444 Wan *et al.*, 2010). En semejanza con los resultados hallados en Baldo y Cerne (2018), otros
445 estudios realizados en el noreste patagónico destacaron una marcada reducción de vientos
446 extremos tanto en velocidades altas como en calmas entre los años 1997-2014 (Cúneo *et*
447 *al.*, 2019). Palese y Lassig (2012) documentaron también una disminución en la velocidad

448 del viento observado en la provincia de Neuquén. Asimismo, en el hemisferio norte, Pryor
449 *et al.* (2007) indicaron una tendencia negativa en la intensidad de los vientos en el centro
450 oeste de Estados Unidos entre 1973 y 2005; mientras que Wan *et al.* (2010) lo
451 documentaron en estaciones de Canadá. Algunos resultados hallados sostienen que el
452 aumento progresivo en calmas de viento en el hemisferio norte se debe directamente al
453 incremento de la rugosidad de la superficie por cambios en el uso del suelo (Vautard *et al.*,
454 2010).

455 En cuanto a los vientos medios anuales, también se apreció una tendencia negativa en la
456 intensidad de los mismos hacia finales del periodo 2009-2019.

457 Respecto a la serie de vientos medios diarios y máximos diarios del periodo 2009-2019
458 cabe destacar que si bien durante las estaciones de primavera y verano se presentaron
459 intensidades levemente más altas; ocurre que durante el invierno se registraron los valores
460 extremos más intensos. Este comportamiento podría estar asociado a la dinámica de
461 situaciones sinópticas típicas que se desarrollan durante el invierno, favoreciendo la
462 ocurrencia de vientos extremos más intensos. Se observó también que los vientos máximos
463 diarios duplicaron en intensidad a los vientos medios diarios sin discriminación de acuerdo
464 a la estación del año.

465 Los resultados encontrados mostraron una tendencia negativa en la intensidad de los
466 vientos en la estación SAEZ en sus diferentes escalas temporales y fueron consistentes a los
467 hallados en otros estudios (Baldo y Cerne, 2018; Cúneo *et al.*, 2019; Palese y Lassig, 2012;
468 Pryor *et al.*, 2007; Vautard *et al.*, 2010; Wan *et al.*, 2010), no obstante en Merino (2022)
469 encontraron que en regiones de la Patagonia los vientos evidenciaron tendencias positivas
470 considerando los últimos 30 años. Por lo tanto se destaca la necesidad de extender el
471 estudio llevado a cabo en este trabajo a otras estaciones meteorológicas del país.

472 Asimismo, al trabajar con una serie de tiempo relativamente corta, la misma podría estar
473 influenciada por la variabilidad interanual de la atmósfera, donde bajo diferentes regímenes
474 de variabilidad de baja frecuencia, la atmósfera puede comportarse de maneras distintas.
475 Por esta razón, con el fin de poder detectar posibles variabilidades climáticas, resulta de
476 interés para trabajos a futuro además de extender el análisis realizado en este trabajo a otras
477 estaciones meteorológicas, también realizarlo para un periodo de tiempo más prolongado.
478 De esta manera quedarían documentadas características de utilidad para diversos usuarios

479 de las observaciones en distintas estaciones del país.

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

ANEXO- CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS DE VIENTO HORARIO

510

511 Una vez que los datos de viento horario ingresan al sistema del SMN a través de mensajes
512 Synop se les realiza una serie de controles de calidad. El control es de dirección (dd) e
513 intensidad (ff).

514 Si en el dato se informa dirección, el dato debe estar acompañado por la intensidad y
515 viceversa. Se controla que la dirección no sea superior a 360°, y en el caso que se informe
516 “99” (direcciones variables), la intensidad debe ser menor a 6 kt. Con respecto a la
517 intensidad, la misma tiene una cota superior de 80 kt. Acerca de la consistencia con tiempo
518 presente (WW), se realizan los siguientes controles: Si WW = 09 (tempestad de polvo o
519 arena a la vista, pero no en la estación), o WW = {30 a 39} (tempestad de polvo, arena,
520 ventisca baja o elevada), entonces la intensidad del viento debe ser mayor a 10 kt; si en el
521 tiempo presente se incluyen fenómenos relacionados con vientos intensos (ventisca,
522 torbellino, etc), la intensidad del viento debe ser mayor que 10 kt.

523 No existen controles de calidad en tiempo real, sino que el chequeo se realiza por un
524 supervisor visualmente a través de gráficos, por lo cual en esta instancia es altamente
525 probable la filtración de posibles errores. El gráfico que se chequea muestra, durante las
526 últimas 48 horas, los datos de viento horario, ráfaga horaria, tiempo presente y el viento
527 máximo diario que se informa en el Synop de 12 UTC. Se controla que no haya ni saltos
528 bruscos ni vientos horarios superiores al viento máximo diario. A nivel del dato diario, se
529 chequea que no haya más de 3 días consecutivos con valores iguales.

530 Los mismos controles se repiten en tiempo diferido utilizando la misma metodología. Se
531 revisa la siguiente información: Que la intensidad del viento máximo diario no sea menor a
532 la intensidad del viento horario y/o de la ráfaga máxima horaria; y se chequea el dato de
533 viento cuya intensidad es superior a 50 kt (esto último aplica especialmente en regiones de
534 la Patagonia, donde climatológicamente se registran los vientos más intensos).

535 Respecto al instrumental de la estación SAEZ, cabe destacar que hasta el año 1992 se
536 utilizaron anemómetros de la empresa VAISALA 11 registrándose distintos cambios en el
537 número de serie (en 1984: 10364, en 1988: 33855 y en 1992: 66260 s/c), y en el año 1997
538 se realizó un nuevo cambio en el instrumental a la versión VAISALA WAD21M 62231.

539

540

REFERENCIAS

541

542 **Baldo, M., Cerne, B., 2018:** Sobre la variabilidad del viento medio diario en la región
543 costera Patagónica comprendida entre las latitudes 38°S y 46°S. XIII Congreso Argentino
544 de Meteorología (CONGREGMET XIII). 16-19 de Octubre, Rosario, Argentina.

545

546 **Crutcher, H.L., 1975:** A note on the possible Misuse of the Kolmogorov-Smirnov Test.
547 *Journal of Applied Meteorology*, 14(18), 1600–1603. DOI: 10.1175/1520-
548 0450(1975)014<1600:ANOTPM>2.0.CO;2.

549

550 **Cúneo, L. M., Cerne, B., Llano, M., 2019:** Descripción preliminar de la velocidad y
551 dirección del viento medio mensual en Trelew. *Meteorológica*, 44(1), 66–80.

552

553 **García Ferreyra, M. F., Curci, G., Della Ceca, L. S., Lighezzolo, R., 2017:** Dispersión
554 de la pluma de humo de los incendios forestales en la Patagonia nororiental durante el
555 verano 2016-17: una visión desde el espacio.

556

557 **Gastwirth, J. L., Gel, Y. R., Miao, W., 2009:** The Impact of Levene's Test of Equality of
558 Variances on Statistical Theory and Practice. *Statist. Sci.* 24(3), 343-360. DOI: 10.1214/09-
559 STS301.

560

561 **Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S., 2007:** Fog Research: A Review of Past
562 Achievements and Future Perspectives. *Pure appl. geophys.* 164, 1121–1159. DOI:
563 10.1007/s00024-007-0211-x.

564

565 **Gultepe, I., Sharman, R., Williams, P. D., 2019:** A Review of High Impact Weather for
566 Aviation Meteorology. *Pure Appl. Geophys.* 176, 1869–1921. DOI: 10.1007/s00024-019-
567 02168-6.

568

569 **Justus, C. G., Hargraves, W. R., Mikhail, A., Graber, D., 1978:** Methods for Estimating
570 Wind Speed Frequency Distributions, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*,
571 17(3), 350-353. DOI: 10.1175/1520-0450(1978)017<0350:MFEWSF>2.0.CO;2.

572

573 **Leung, A. C. W., Gough, W. A., Butler, K. A., 2020:** Characterizing observed surface
574 wind speed in the Hudson Bay and Labrador regions of Canada from an aviation
575 perspective. *Int J Biometeorol* 66, pp. 411–425 (2022). DOI: 10.1007/s00484-020-02021-9.

576

577 **Levene, H., 1960:** Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold
578 Hotelling. Stanford University Press, Palo Alto, 278-292.

579

580 **Lilliefors, H. W., 1967:** On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and
581 Variance Unknown, *Journal of the American Statistical Association*, 62:318, 399–402.
582 DOI: 10.1080/01621459.1967.10482916

583

584 **Mann, H. B., Whitney, D. R., 1947:** On a Test of Whether one of Two Random Variables
585 is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–
586 60.

587

588 **Merino, R. A., Gassmann, M. I., 2022:** Wind trends analysis in southern South America
589 from weather station and reanalysis data. *International Journal of Climatology*, 42(4),
590 2117– 2134. DOI:10.1002/joc.7355.

591

592 **Otero, F., Cerne, B., Campetella, C., 2017:** Estudio preliminar de la velocidad del viento
593 en San Julián en referencia a la generación de energía eólica. *Meteorológica*, 42(2), 59-79.

594

595 **Palavecino, M. A., 2021:** Caracterización de la intensidad del viento en la escala diaria y
596 verificación del pronóstico numérico en la estación Ezeiza. Tesis de Licenciatura.
597 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de
598 Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires.

599

600 **Palese, C., Lassig J., 2012:** Variabilidad del viento en Neuquén. XI Congreso Argentino
601 de Meteorología (CONGREGMET XI). 28-01 de Junio, Mendoza, Argentina.

602 **Possia, N. E., 2004:** Tesis Doctoral “Estudio de los ciclones explosivos sobre la región sur

603 de Sudamérica”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires,
604 223 págs.

605

606 **Pryor, S. C., Barthelmie, R. J., Riley, E. S., 2007:** Historical evolution of wind climates
607 in the U.S.A. Journal of Physics: Conference Series 75, 1-8. DOI: 10.1088/1742-
608 6596/75/1/012065.

609

610 **Quinteros de Menzies, C. Y., Obertello, I., 1972:** Pronóstico objetivo de niebla en Ezeiza.
611 Publicación de la Fuerza Aérea Argentina, Comando de regiones aéreas, Servicio
612 Meteorológico Nacional, Serie C, 12, 32 páginas.

613

614 **Ramírez González, M. P., 2006:** Tesis doctoral “Modelado estadístico de las
615 características del viento para su evaluación energética. Aplicación a las Islas Canarias”.
616 Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 509
617 págs. (Disponible en <http://hdl.handle.net/10553/20027>).

618

619 **Rondan, G. A., Michelin, C. I., Brizuela, A. B., Maltese, N. E., Kemerer, A. C., 2019:**
620 Características del índice de temperatura y humedad modificado por viento y radiación en
621 Entre Ríos, Argentina; Asociación Argentina de Agrometeorología; Revista Argentina de
622 Agrometeorología; 10; 10-2019; 49-57.

623

624 **Scott, R. H., 1896:** Notes on some of the difference between fogs, as related to the weather
625 systems which accompany them, submitted to the Fog Committee, Quart. J. Roy. Meteor.
626 Soc. XXII, 41–65.

627

628 **Seguro, J. V., Lambert, T. W., 2000:** Modern estimation of the parameters of the Weibull
629 wind speed distribution for wind energy analysis. Journal of Wind Engineering and
630 Industrial Aerodynamics, 85(1), 75-84. DOI: 10.1016/S0167-6105(99)00122-1.

631

632 **Tukey, J.W., 1977:** Exploratory Data Analysis. Reading, Mass., Addison-Wesley, 2,
633 131160.

634

635 **Vautard, R., Cattiaux, J., Yiou, P., 2010:** Northern Hemisphere atmospheric stilling
636 partly attributed to an increase in surface roughness. *NatureGeosci* 3, 756–761. DOI:
637 10.1038/ngeo979.

638

639 **Waimann, C., 2016:** Tesis Doctoral “Desarrollo de un sistema de pronóstico estocástico-
640 dinámico de producción de energía eólica basado en el modelo WRF/CIMA”. Universidad
641 de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de
642 la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires.

643

644 **Wan, H., Wang, X. L., y Swail, V. R., 2010:** Homogenization and Trend Analysis of
645 Canadian Near-Surface Wind Speeds. *Journal of Climate*, 23(5), 1209-1225. DOI:
646 10.1175/2009JCLI3200.1.

647

648 **Wilks, D. S., 2005:** *Statistical Methods in the Atmospheric Science*. 2.^a ed., Academic
649 Press, p. 648.

650

651 **Yue, S., Wang, C. Y., 2002:** The influence of serial correlation in the Mann-Whitney Test
652 for detecting a shift in median. *Advances in WaterResearch*, 25, 325–333. DOI:
653 10.1016/S0309-1708(01)00049-5.

654

655

656

657

658