

1                   **DESCRIPCIÓN PRELIMINAR DE LA VELOCIDAD Y**  
2                   **DIRECCIÓN DEL VIENTO MEDIO MENSUAL EN TRELEW**

3  
4                   **Lucila Mercedes Cúneo<sup>1,2</sup>, Silvia Bibiana Cerne<sup>1,3</sup>, María Paula Llano<sup>1,2</sup>**

5  
6                   **<sup>1</sup>Dpto. de Cs. de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA. Piso 2, Pabellón 2,**  
7                   **Cdad. Universitaria, C1428EGA, CABA, Argentina.**

8                   **<sup>2</sup>Consejo Nac. de Inv. Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ,**  
9                   **CABA, Argentina.**

10                   **<sup>3</sup>Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera CIMA – CONICET. Instituto**  
11                   **Franco-Argentino sobre Estudios de Clima y sus Impactos UMIIFAECI 3351-**  
12                   **CNRS-CONICET-UBA.FCEyN, UBA. Piso 2, Pabellón 2, Cdad. Universitaria,**  
13                   **C1428EGA, CABA, Argentina**

14  
15                   **Autor correspondiente: Lucila Cúneo: [lcuneo@at.fcen.uba.ar](mailto:lcuneo@at.fcen.uba.ar)**

16  
17                   **RESUMEN**

18                   En el presente trabajo se detallan las características de la velocidad y dirección del  
19 viento observado a 10 m en la estación meteorológica de Trelew Aero, provincia de  
20 Chubut, Argentina, durante el período 1997-2014. Para realizar este estudio se analizó  
21 profundamente y se documentó la calidad de la información, se describió la variabilidad  
22 diaria, estacional y anual de las observaciones de velocidad y dirección del viento.  
23 También se examinó el comportamiento de valores extremos (velocidades intensas y  
24 calmas).

25                   El estudio del control de calidad de los datos indicó que en la estación se realizó un  
26 cambio de instrumental en dos ocasiones y que en 2009 los instrumentos presentaron mal  
27 funcionamiento, y un estudio de homogeneidad de diferentes propiedades estadísticas  
28 indicó tres períodos de estudio. Para cada uno de ellos se calcularon los valores medios de  
29 velocidad horarios, diarios, mensuales y anuales. Se evaluaron las distribuciones de  
30 frecuencias de velocidad y su correspondiente ajuste a la función Weibull, la frecuencia

31 de ocurrencia de calmas y finalmente, las distribuciones de frecuencias de direcciones a  
32 través de una rosa de vientos.

33 Los resultados indicaron una disminución de la velocidad media anual del viento a lo  
34 largo de los períodos y en especial una marcada reducción de vientos extremos tanto  
35 velocidades altas como calmas. Además, si bien los vientos del oeste son los más  
36 frecuentes durante todo el año, no representan las velocidades medias más intensas y a  
37 nivel estacional se observó un cambio en la dirección de dichas velocidades mostrando  
38 una rotación al norte en el último período.

39

40 **Palabras clave:** *Viento, Variabilidad estacional del viento, Control de calidad de*  
41 *viento*

42

43 **PRELIMINARY DESCRIPTION OF THE SPEED AND DIRECTION OF THE**  
44 **MONTHLY MEAN WIND IN TRELEW**

45

46

**ABSTRACT**

47 In this paper we analyze and discuss the characteristics of the wind datasets made at  
48 standard 10 m height in the meteorological station of Trelew Aero in Chubut, Argentina  
49 between 1997 and 2014. Our study was focused on analyzing and documenting the  
50 quality of the data, we described the daily, seasonal and annual variability of the  
51 observational data of speed and wind direction. We also examined the behavior of  
52 extreme values (intense velocities and calms).

53 The quality control of the data indicated that the instrument was changed twice in the  
54 station and in 2009 showed malfunctioning and a homogeneity study of different  
55 statistical properties indicated three periods of data sets. For each of them, we calculated  
56 the hourly, daily, monthly and annual mean values. We evaluated the distributions of  
57 velocity frequencies and their corresponding adjustment to the Weibull function, the  
58 calms events and finally, the frequency distributions of direction through a rose of winds.

59 As a result, we found a decrease in the mean annual wind speed between periods and  
60 a reduction of extreme winds, both higher and lower values. Besides, although westerly  
61 winds are the most frequent throughout the year, they do not represent the most intense

62 wind speed. Finally, we found that the most intense winds are rotating to north in the last  
63 period.

64 **Key words:** *Wind, Seasonal wind variability, Wind quality control*

## 65 1.INTRODUCCIÓN

66 La región patagónica en Argentina se caracteriza por la presencia de vientos  
67 persistentes e intensos a lo largo del año. El viento varía tanto en el tiempo como en el  
68 espacio y dichas variaciones espaciales dependen de las condiciones geofísicas locales  
69 como, por ejemplo, la topografía y la rugosidad superficial (Palese y otros, 2012).

70 Los primeros estudios del viento con fines de conocer el potencial eólico del país para  
71 producir energía eólica datan de principios de la década del 1980 (Barros, 1983 y 1986).  
72 Con posterioridad, se realizaron estudios de variabilidad del viento, entre los que se  
73 distinguen el estudio de la variación estacional de las ráfagas, los valores extremos y la  
74 distribución de frecuencias de la velocidad en Chubut (Labraga, 1994); el análisis de la  
75 variación estacional de la distribución de frecuencias de la velocidad en Neuquén (Palese,  
76 1999); la investigación del régimen y las características del viento en la región norte de la  
77 Patagonia (Palese y otros, 2000). Más recientemente, se puede mencionar a Waimann  
78 (2016) que exploró el desarrollo de un sistema de pronóstico de producción de energía  
79 eólica, a Otero y otros (2016) quienes describieron las características de la velocidad del  
80 viento a 10 m de altura y su relación con el viento a 40, 50 y 60 m medidos en una torre  
81 cercana a la estación meteorológica San Julián, en la provincia de Santa Cruz. También  
82 hay autores que estudiaron al viento como recurso eólico en la provincia de Chubut con  
83 datos de reanálisis (Guozden y otros, 2017).

84 Analizar el comportamiento del viento es de suma importancia para hacer frente a,  
85 por ejemplo, los daños y pérdidas producto de los vientos extremos (Natalini y otros,  
86 2012) o continuar con la implementación del uso de las energías renovables en la  
87 Argentina, entre otros. En particular, autores como Palese y otros (2000) hacen hincapié  
88 en la sustentabilidad de proyectos eólicos en Argentina, donde es evidente la crisis  
89 energética y donde la demanda de energía está en pleno crecimiento. Por lo tanto,  
90 comprender las variaciones temporales y espaciales del viento es esencial para investigar,  
91 entre otras cosas, las condiciones óptimas para la explotación del recurso eólico. Sin  
92 embargo, el viento como recurso energético limpio y renovable, también posee

93 desventajas, por ejemplo, es una variable intermitente, difícil de pronosticar y con errores  
94 en su medición.

95 Natalini y Natalini (2013), en su estudio sobre velocidades extremas del viento en  
96 Argentina, hacen referencia a la incertidumbre en el proceso de medición del viento y  
97 Otero y otros (2016) muestran los errores debidos al cambio de instrumental en la  
98 información medida en la estación meteorológica de San Julián (provincia de Santa  
99 Cruz), perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

100 Por ende, el estudio del comportamiento del viento pasado y futuro (pronóstico a  
101 corto plazo y proyecciones climáticas) es fundamental para reducir las incertidumbres en  
102 cuanto a la producción de este tipo de energía, sobre todo porque estudios recientes  
103 muestran que el viento en latitudes medias está disminuyendo a razón de  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  por  
104 década (Wan y otros, 2010; Pryor y otros, 2007, entre muchos otros autores) en especial  
105 sobre tierra. Hay indicios que esto también está ocurriendo en Argentina (Bichet y otros,  
106 2012; Watson, 2014, Cúneo, 2016), pero para establecer si dichas tendencias existen, se  
107 requiere de un estudio previo que describa el comportamiento del viento para lo cual es  
108 necesario previamente explorar la calidad de la información.

109 Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es documentar la calidad de la  
110 información y describir la variabilidad anual, estacional y mensual de las observaciones  
111 de la velocidad y dirección del viento en la estación meteorológica Trelew Aero del SMN  
112 en primera aproximación. Además, se propone examinar el comportamiento de valores  
113 extremos.

114

## 115 **2.DATOS Y MÉTODOS**

### 116 **2.1 Datos utilizados**

117 Se trabajó con registros de velocidad y dirección del viento horario medidos a 10 m  
118 provenientes de la estación meteorológica Trelew Aero ( $43^{\circ}14'S$  y  $65^{\circ}19'O$ , 11 msnm)  
119 perteneciente a la red de estaciones del SMN en la provincia de Chubut. Las  
120 observaciones horarias datan del 1° de enero de 1997 hasta el 31 de agosto de 2014  
121 contabilizando en total 18 años de datos. Según los registros de Anemometría de la  
122 estación (Procedimientos y Sistemas de Medición de la Dirección y Velocidad del Viento,  
123 según el Glosario de Meteorología de Organización Meteorológica Mundial) disponible

124 para dicho período, la estación realizó dos cambios del instrumental para registrar dicha  
125 variable. Entre enero de 1997 y diciembre de 2003 se realizaron mediciones con un  
126 modelo de anemógrafo marca BENDIX, a partir de enero de 2004 y hasta diciembre de  
127 2009 se utilizó un anemómetro con un display VAISALA DIGITAL WIND 20. Desde  
128 enero de 1997 hasta enero de 2009 la dirección del viento se observó con veleta pendular.  
129 Se destaca que entre enero y agosto del año 2009 se utilizó la escala Beaufort para  
130 estimar la velocidad del viento. Finalmente, desde enero de 2010 hasta agosto de 2014 se  
131 utilizó un anemómetro VAISALA WAA 151, una veleta WAV 151 y un display VAISALA  
132 DIGITAL WIND 30. El registro de anemometría no proporcionó información sobre las  
133 características técnicas de los instrumentos ni sobre cambios en la ubicación, en la altura  
134 del anemómetro ni en el entorno de estación.

135

## 136 **2.2 Metodología**

137 Se realizó un control de calidad sobre la información de la velocidad y dirección del  
138 viento siguiendo las técnicas utilizadas por Otero y otros (2016) en su estudio sobre la  
139 calidad de la información del viento en la estación de San Julián del SMN. En primer  
140 lugar, se localizaron registros con fechas inexistentes y registros con códigos de falta de  
141 dato ( $\pm 99$ ,  $\pm 999$ ). En segunda instancia, se detectaron errores indiscutibles donde  
142 clasifican aquellos datos que indican valores negativos de velocidad, valores por debajo  
143 de  $0^\circ$  y por encima de  $360^\circ$  en la dirección y aquellos donde existen valores de dirección  
144 acompañados por un dato faltante de velocidad y viceversa. Se buscaron valores fuera de  
145 rango, es decir aquellos valores de velocidad del viento que supere un valor límite, en este  
146 caso se asume  $30 \text{ ms}^{-1}$ , que surge a partir de la exploración de la información y se destaca  
147 que dicho valor está dentro del rango de valores extremos que Lassig y otros (2011)  
148 encontraron para algunas estaciones en la provincia de Neuquén (entre  $27$  y  $42 \text{ ms}^{-1}$ ) y es  
149 menor al valor de ráfaga máxima (entre  $60$  y  $62 \text{ ms}^{-1}$ ) que señala el reglamento CIRSOC  
150 102 (2001) para la región de estudio.

151 En su trabajo, Natalini y Natalini (2013) hacen referencia a la incertidumbre en el  
152 proceso de medición. El viento se mide con mucho error, pero también existen ciertos  
153 factores que alteran las series temporales además del funcionamiento del instrumental,  
154 como, por ejemplo, cambios en la ubicación y/o altura del anemómetro, cambios en el

155 paisaje, construcción de obstáculos, ausencia de datos por cambios en el plan de labor de  
156 la estación entre otros, muchos de los cuales no están adecuadamente documentados o  
157 bien la documentación no se encuentra disponible.

158 Efectivamente, la información del viento en esta estación proviene de diferentes  
159 sensores y no se realizaron mediciones simultáneas entre el instrumental a reemplazar y el  
160 nuevo que permitieran determinar un coeficiente de ajuste, dando lugar a tres períodos de  
161 registro. Más aún, durante el período de medición con el anemógrafo, el observador leyó  
162 el valor del viento a partir de instrumento registrador continuo. Por lo tanto, se realizó un  
163 estudio de homogeneidad de la serie para comprobar si existe un impacto en los datos  
164 debido a los cambios del instrumental. En primer lugar, se empleó el test de Levene  
165 (Levene, 1960; Brown y otros, 1974) para estudiar la semejanza de varianzas. Luego, se  
166 llevó a cabo el test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945) para estudiar la homogeneidad de las  
167 medianas de los tres períodos y finalmente se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov para  
168 dos muestras (Siegel, 1956) que es un test no paramétrico de bondad de ajuste donde se  
169 compara si dos muestras fueron extraídas de una misma población. Todos los test se  
170 llevaron a cabo con un 95% de confianza.

171 Con el objetivo de representar el comportamiento de la velocidad del viento se  
172 calcularon los valores medios horarios, diarios, mensuales y anuales considerando las  
173 calmas, pues no hacerlo generaría una sobreestimación de la velocidad media.

174 La distribución teórica que ajusta a la distribución de frecuencias de la velocidad del  
175 viento es la distribución de Weibull (Hennessey, 1977). La función de Weibull está  
176 caracterizada por un parámetro de escala  $c$  y un parámetro de forma  $k$ . Dichos parámetros  
177 se estimaron a partir del método de máxima verosimilitud ya que directamente utiliza los  
178 datos de la serie temporal sin necesidad de tener un formato de frecuencias y representa  
179 las observaciones de forma excelente (Waimann, 2011). La función de distribución de  
180 Weibull está dada por:

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

181 donde  $v$  es la velocidad del viento en  $\text{ms}^{-1}$ ,  $c$  es el parámetro de escala en  $\text{ms}^{-1}$  y  $k$  es el  
182 parámetro de forma adimensional.

183 Se analizó el ciclo diurno, estacional (verano: DEF, otoño: MAM, invierno: JJA y  
184 primavera: SON) y anual de la velocidad del viento y de las calmas en términos de

185 frecuencias relativas a la cantidad de información. Luego, a partir del cálculo de  
186 percentiles 25, 75 y 90, se determinó la dispersión de los valores y los valores extremos  
187 de velocidad de viento.

188 Finalmente, se estudió, a partir de una rosa de vientos de 8 direcciones, la distribución  
189 de frecuencias estacionales de la dirección del viento y el valor medio de la velocidad  
190 asociado a cada dirección

191

### 192 **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 193 **3.1 Control de calidad de la información**

194 El análisis de la información de velocidad y dirección del viento en Trelew Aero  
195 correspondiente al período 1997-2014 arroja un total de 2805 datos horarios faltantes  
196 correspondientes al 1,8% del total de datos. En particular, el 84,2% de los datos faltantes  
197 se concentra entre 2007 y 2010 (Figura 1). Respecto a la distribución horaria de los datos  
198 faltantes, el 85,9% lo hace entre las 22 y las 5 de la mañana decreciendo notablemente  
199 hacia la mañana y la tarde (Figura 2).

200 El análisis del registro de anemometría de la estación revela un cambio del  
201 instrumento en el año 2003 y 2010, mientras que desde enero hasta agosto de 2009 la  
202 velocidad del viento se estima a partir de la escala Beaufort. Por lo tanto, se decide  
203 eliminar el año 2009 del registro de datos y realizar un estudio de homogeneidad de la  
204 serie, considerando los períodos 1997-2003, 2004-2008 y 2010-2014.

205 El test de Levene establece que no hay semejanza entre las varianzas de las distintas  
206 series, con un 95% de significancia. El test de Wilcoxon se aplica para estudiar la  
207 homogeneidad de las medianas de los tres períodos mencionados, donde con un 95% de  
208 confianza se encuentra que las muestras de datos no provienen de poblaciones con una  
209 misma mediana. Por último, el test de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras determina  
210 que las muestras independientes no fueron extraídas de la misma población o de dos  
211 poblaciones con la misma distribución con un 95% de confianza.

212 Por lo tanto, los tres períodos antes mencionados son independientes y no pueden ser  
213 estudiados en forma conjunta y, consecuentemente, el posterior estudio del análisis y  
214 comportamiento de la velocidad y dirección del viento se realiza para cada período en  
215 particular. Estas inhomogeneidades en las series de velocidad del viento registradas por el

216 SMN ya fueron señaladas por Marino (2007) para la estación de Bariloche Aero y  
217 documentada por Otero y otros (2016) para la estación de San Julián en Santa Cruz.

218

### 219 **3.2 Características medias**

220 La Figura 3 muestra la velocidad media diaria del viento en Trelew, allí se observa  
221 una posible tendencia negativa acompañada por una disminución de la variabilidad del  
222 viento a lo largo de los períodos estudiados, dado que se registra una menor cantidad de  
223 casos en los cuales la velocidad del viento supera los  $10 \text{ ms}^{-1}$ .

224 Los valores medios de velocidad son  $6,32 \text{ ms}^{-1}$ ,  $5,48 \text{ ms}^{-1}$  y  $4,91 \text{ ms}^{-1}$  respectivamente  
225 y, por lo tanto, existe una disminución del valor medio en un 13,2% entre 1997-2003 y  
226 2004-2008 y una disminución del 10,4% entre 2004-2008 y 2010-2014. En cuanto al  
227 desvío estándar, se observa también una disminución en la dispersión de los datos. Entre  
228 los dos primeros períodos, hay una reducción del 16,5% en dicho valor, mientras que,  
229 entre los dos últimos, se observa una disminución en menor medida, 4,2%, lo que podría  
230 implicar una atenuación en los eventos extremos. Otero y otros (2016) encontraron  
231 también una disminución del viento medio y de la ocurrencia de valores extremos en su  
232 estudio para San Julián Aero, en el norte la provincia de Santa Cruz, para el período  
233 1998-2009.

234

### 235 **3.3 Características de las distribuciones de velocidad**

236 Un aspecto fundamental de las características del viento es el comportamiento de las  
237 distribuciones de velocidad. Los tres períodos se ajustan con un 95% de confianza a una  
238 distribución de Weibull (realizada a partir de datos diarios). En la Figura 4 a, b y c, se  
239 presentan las distribuciones de frecuencias observadas (en barras) y el ajuste teórico de  
240 Weibull (línea) para cada período correspondiente. Se nota que a partir del segundo  
241 período los valores más frecuentes de velocidad son cada vez menores. Por ejemplo, en el  
242 período 1997-2003 la velocidad más frecuente es de  $6,5 \text{ ms}^{-1}$ , mientras que, en los  
243 períodos restantes, las velocidades más frecuentes se encuentran en el rango entre 4 y 5  
244  $\text{ms}^{-1}$ . Además, se observa un cambio en las frecuencias de velocidades máximas  
245 reportadas, es decir, en el primer período se registraron velocidades de hasta 17-18  $\text{ms}^{-1}$ ,  
246 mientras que en segundo y tercer período las velocidades máximas registradas son de

247 hasta 11-12 ms<sup>-1</sup>. La disminución del valor de velocidad indica un cambio en la amplitud  
248 de la distribución, relacionado con el parámetro de escala, ya que cuanto menor sea éste,  
249 menor amplitud tendrá la distribución.

250 Earl y otros (2013) postulan que el valor del parámetro de forma podría ser una  
251 función del valor del viento y de las características locales de la ubicación de la estación.  
252 Considerando que no se documentó cambio alguno en las características geográficas de la  
253 estación, se asume en primera instancia, que éstas no cambiaron y, por lo tanto, la  
254 variación en el valor del parámetro de forma podría estar asociada con la variabilidad  
255 propia del sistema, con cambios en la circulación atmosférica, diferencias en la longitud  
256 de los registros, o bien, ser una combinación de todos efectos anteriores.

257

### 258 **3.4 Variabilidad anual, estacional y diurna.**

259 La variabilidad anual y estacional de la velocidad del viento para los tres períodos  
260 correspondientes se presentan en las Figuras 5 y 6, donde se calculan los valores medios,  
261 las medianas y los cuartiles 25 y 75. Cada boxplot muestra la mediana (círculo negro), el  
262 percentil 25 (parte inferior del boxplot), el percentil 75 (parte superior del boxplot), el  
263 percentil 90 (parte superior del whiskerplot) y el valor medio de la velocidad del viento  
264 (círculo amarillo).

265 En cuanto a la variación anual (Figura 5), se observa la ya mencionada disminución  
266 del valor medio anual entre los distintos períodos. En el primer período, los valores  
267 medios anuales superan, en general, los 6 ms<sup>-1</sup>, mientras que en los períodos restantes las  
268 velocidades medias se encuentran por debajo de ese umbral, especialmente en el último  
269 período. También es posible notar la variabilidad interanual de los valores medios, en los  
270 dos primeros períodos los valores medios no presentan una clara disminución año a año,  
271 por el contrario, en el primero hay una marcada aleatoriedad, mientras que en el segundo  
272 período los primeros años tienen una media menor a los últimos.

273 Por otra parte, en los últimos dos períodos, la longitud del boxplot muestra una  
274 disminución en la dispersión de los datos respecto del primer período. El valor del  
275 percentil 90, definido como el umbral a partir del cual los valores de velocidad de viento  
276 se consideran extremos, también disminuye a partir del segundo período y,  
277 particularmente, es posible notar que durante el tercer período el valor medio de los

278 extremos cae por debajo de los  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Claramente, se observa que entre 2010 y 2014 el  
279 valor del percentil 90 disminuye hasta alcanzar el valor del percentil 75 del primer  
280 período y el valor del percentil 75 de 2014 iguala al valor de la media del primer período.  
281 Pero el cambio del valor del percentil 25 es mucho menor entre períodos, lo que indicaría  
282 que los cambios en la dispersión de los datos se relacionarían más con las velocidades  
283 más intensas que con las más bajas. Es muy notoria la disminución progresiva de los  
284 valores del percentil 90, 75 y la media en los últimos 5 años estudiados, comportamiento  
285 no observado en los períodos anteriores donde el cambio más brusco sólo se observa con  
286 el cambio del instrumental. Esto refleja, no sólo una disminución de los valores medios  
287 anuales, sino también una disminución en los valores extremos observados que concuerda  
288 con lo analizado en la Figura 3.

289 Si bien la causa de la disminución de la velocidad media del viento podría atribuirse  
290 al cambio de instrumental, debe señalarse que, en la literatura sobre el tema, hay autores  
291 que señalan la existencia de una disminución en la velocidad del viento observado. Por  
292 ejemplo, Pryor y otros (2007) indican una tendencia negativa en el centro oeste de  
293 Estados Unidos entre 1973 y 2005; Wan y otros (2009) lo hallan en estaciones de Canadá;  
294 y a nivel local, Palese y Lassig (2012) documentan esta disminución en la provincia de  
295 Neuquén. Entonces, además del cambio del instrumental, podrían estar presentes cambios  
296 en el paisaje y/o altura del instrumento, pero también algún cambio o ciclo en los  
297 patrones de circulación atmosférica, en especial si se consideran los últimos años  
298 (medidos con instrumental más confiable). En este trabajo, no se calcula la tendencia de  
299 la velocidad del viento ni se explora la existencia de ciclos debido a la escasa cantidad de  
300 datos en cada período.

301 Para examinar si el viento en Trelew presenta un comportamiento estacional definido,  
302 en la Figura 6 se muestra el boxplot estacional para los distintos períodos. Se puede  
303 observar que la velocidad del viento es mayor para los meses cálidos. En el caso de los  
304 meses de DEF, durante el período 1997-2003, los valores medios sobrepasan los  $7 \text{ ms}^{-1}$   
305 (medido con anemógrafo), mientras que, para el tercer período, los mismos apenas  
306 superan los  $6 \text{ ms}^{-1}$ , lo que equivale a casi un 29,5% de variación entre períodos, sin  
307 embargo, la diferencia entre los últimos dos períodos es menor (medidos con  
308 anemómetro). Un comportamiento similar es observado para los meses de SON.

309 Contrariamente a lo que ocurre en los meses cálidos, durante el invierno y el otoño hay  
310 una menor variación entre períodos donde los valores medios de la velocidad entre el  
311 período 1997-2003 y 2004-2008 difieren en no más de un 16,7%.

312 En cuanto a la dispersión de los datos, es mayor durante la primavera y verano y es  
313 mínima durante el invierno. Respecto a los cambios entre períodos, el verano tiene un  
314 comportamiento distinto ya que no registra cambios en el percentil 75 ni 25 entre los  
315 últimos dos períodos, pero sí una disminución de los valores extremos (percentil 90). El  
316 invierno tampoco registra cambios del percentil 75 entre los mismos períodos, sin  
317 embargo hay una disminución del percentil 25 dando lugar a un aumento de la dispersión.  
318 En las estaciones intermedias se observa una progresiva disminución de los percentiles y  
319 en primavera no cambia la dispersión entre los tres períodos. En prácticamente todas las  
320 estaciones se registra una disminución del percentil 90 (más notoria en DEF y SON). Esto  
321 sugiere que la disminución de los eventos extremos no tuvo una época del año  
322 preferencial.

323 Otro aspecto muy importante de la variabilidad del viento es su ciclo diurno (Figura  
324 7). Todas las estaciones presentan un marcado ciclo diurno, con un mínimo de velocidad  
325 de viento en horas nocturnas y máximos en horas de la tarde, clara respuesta al  
326 calentamiento radiativo de la superficie. Es posible notar nuevamente diferencias entre  
327 los valores medios de los distintos períodos, donde las mayores variaciones se presentan  
328 en las estaciones cálidas. Particularmente, en los meses de DEF, entre el primer período y  
329 los restantes existen variaciones entre máximos de velocidad de hasta  $2,5 \text{ ms}^{-1}$  mientras  
330 que en los meses de SON la disminución es progresiva en concordancia con lo mostrado  
331 en la Figura 6. En cuanto las restantes estaciones, las variaciones entre períodos si bien  
332 son menores, son mayores para MAM y en horas diurnas que en los meses de JJA,  
333 estación que presenta un comportamiento entre períodos muy similar y debe destacarse  
334 que las variaciones en las velocidades medias en horas nocturnas son menores a  $1 \text{ ms}^{-1}$ .

335

### 336 **3.5 Evolución de los eventos de calmas**

337 Las disminuciones observadas en los valores medios de la velocidad del viento  
338 generan un interrogante acerca del comportamiento de los episodios de calma en Trelew  
339 Aero. Se considera un episodio de calma cuando el viento horario es menor que  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ .

340 La distribución estacional de calmas se presenta en la Figura 8, donde se observa una  
341 clara disminución en la proporción de estos eventos principalmente entre el primer  
342 período y los restantes. Los eventos de calma disminuyen un 6% entre el período 1997-  
343 2003 y 2004-2008, mientras que existe un aumento del 3% entre el segundo y tercer  
344 período. Dicha disminución podría deberse a que durante el primer período, la medición  
345 se realizó con anemógrafo, del cual el observador leyó la velocidad del viento y por lo  
346 tanto, pudo dar lugar a un error subjetivo de apreciación. Además, pueden existir cambios  
347 en la sensibilidad del instrumental. Cada instrumento mide la intensidad del viento a  
348 partir de un valor umbral y en consecuencia, podría modificar la frecuencia de calmas. Es  
349 posible que los instrumentos más antiguos tuvieran más inercia y por ende tendieran a  
350 sobreestimar la frecuencia de calmas respecto a sensores más modernos que tienen menos  
351 inercia. También, debe destacarse el comportamiento observado entre el período 2004-  
352 2008 y 2010-2014 donde se evidencia un claro aumento en la frecuencia de calmas. Estas  
353 características fueron reportadas por Otero y otros (2016) para la estación de San Julián.  
354 Estos resultados semejantes en dos estaciones de la costa patagónica inducen a pensar la  
355 posibilidad de que dicho aumento podría estar relacionado con un posible cambio/ciclo en  
356 la circulación atmosférica, el cual no puede ser estudiado a partir de la serie del SMN. Sin  
357 embargo, la distribución de datos faltantes dadas por las Figuras 1 y 2, revelan que la  
358 mayor proporción de datos faltantes ocurren entre 2004 y 2008 y en las horas de la  
359 madrugada, por lo que las causas del comportamiento de los eventos de calma en la  
360 estación de Trelew también podrían asociarse a la falta de observaciones registradas en el  
361 período de mayor ocurrencia de calmas. Esta problemática podría explorarse en trabajos  
362 futuros a partir del uso de técnicas de normalización, calculando en forma separada la  
363 frecuencia de calmas por horas del día y épocas del año y luego extrapolando dichos  
364 valores a una frecuencia total anual.

365

### 366 **3.6 Estudio de la dirección del viento estacional**

367 Por último, con el objetivo de explorar si los cambios descritos en la velocidad del  
368 viento en los distintos períodos ocurren en alguna dirección preferencial, se estudian tanto  
369 las frecuencias de velocidad como los valores medios de velocidad por cada dirección de  
370 la rosa de viento. A nivel anual, en general los vientos más frecuentes son del oeste. El

371 análisis interperíodos indica que entre el primer período y 2004-2008/2010-2014 se  
372 produce un aumento de aproximadamente 5% en la frecuencia de los vientos del sudoeste  
373 aparentemente a costa de una disminución en la frecuencia de los vientos del oeste.

374 La Figura 9 muestra las distribuciones estacionales de la dirección del viento para  
375 cada uno de los períodos correspondientes. En todas las estaciones se observa que,  
376 independientemente del período, la dirección más frecuente es la del oeste, seguida por la  
377 del sudoeste y del norte. Además, se encuentra que aumenta la frecuencia de los vientos  
378 del este en las estaciones cálidas, mientras que disminuye su frecuencia hasta menos del  
379 5% en MAM y JJA. Esta característica estacional podría estar relacionada con el  
380 desarrollo de la brisa de mar, pero se requiere realizar estudios en escala horaria de las  
381 frecuencias por dirección (no contemplados en este trabajo) para poder determinar  
382 fehacientemente su ocurrencia.

383 Continuando con el estudio de las distribuciones de la dirección del viento al analizar  
384 el comportamiento entre períodos, se observa que las frecuencias del sudoeste presentan  
385 una baja ocurrencia en el primer período pero aumentan en los últimos dos acompañadas  
386 por la disminución de las frecuencias de los oestes. Mientras que la frecuencia de vientos  
387 del norte y sudeste se mantiene casi constante. Estos cambios entre el primer período y  
388 los dos restantes podrían no estar asociados solamente al cambio del instrumental ya que  
389 merece la pena recordar que durante el primer y segundo período se utilizó el mismo tipo  
390 de instrumental (veleta pendular) y en el tercero se utilizó otro tipo de veleta (Vaisala,  
391 Wai 151).

392 Para obtener una visión más detallada respecto a las características del viento según  
393 su dirección se presenta, en la Figura 10, el análisis de la frecuencia de distribución  
394 estacional del valor medio de la velocidad del viento para los tres períodos estudiados.  
395 Claramente, se observa la disminución en el valor medio entre períodos, siendo más  
396 notable la diferencia entre el primer período y los restantes. Los valores medios de las  
397 velocidades son relativamente más intensos en la estación cálida debido a la respuesta al  
398 calentamiento diurno de la superficie. Por otro lado, se observa que, si bien los vientos  
399 del oeste son los más frecuentes, no son estrictamente los más intensos. En el primer  
400 período, los valores medios relativamente más intensos son los del sudeste ( $8,60 \text{ ms}^{-1}$ ),  
401 mientras que, durante el segundo y tercer período, los más intensos son los del sudoeste

402 (6,54 ms<sup>-1</sup>) y del norte (6,59 ms<sup>-1</sup>), respectivamente. Durante la estación invernal los  
403 valores medios más intensos son los del norte en los tres períodos analizados (6,81; 5,79 y  
404 5,84 ms<sup>-1</sup>, respectivamente). Para MAM, se observa un comportamiento similar, los más  
405 intensos también son del norte (7,08; 6,39 y 5,84 ms<sup>-1</sup>, respectivamente) y luego del  
406 sudoeste (7,02; 5,66 y 5,33 ms<sup>-1</sup>, respectivamente). Finalmente, en SON, durante los dos  
407 primeros períodos, los valores medios relativamente más intensos son del sudoeste (8,10  
408 y 6,62 ms<sup>-1</sup>, respectivamente), mientras que durante el tercer período pasan a ser del norte  
409 (6,39 ms<sup>-1</sup>).

410 Vale la pena mencionar que en el último período la dirección norte es la que presenta  
411 el valor medio de la velocidad del viento relativamente intenso durante todo el año  
412 mientras que, en los dos períodos anteriores esta dirección sólo lo es para los meses de  
413 JJA-SON.

414

#### 415 **4. CONCLUSIONES**

416 En el trabajo se presenta el estudio del control de calidad de la información y la  
417 descripción del comportamiento del viento medio (dirección e intensidad) y de la  
418 variabilidad del viento en Trelew en diferentes escalas, como así de sus extremos. De los  
419 resultados se desprenden las siguientes conclusiones principales:

420 +La serie de datos horarios de viento de Trelew Aero entre 1997 y 2014 presenta  
421 menos del 2% de datos faltantes. A partir del análisis de la anemometría se desprende que  
422 en el término de 17 años se realizaron dos cambios de instrumental para medir la  
423 velocidad del viento y durante algunos meses de 2009 se utilizó la escala Beaufort. Por lo  
424 tanto, la serie de datos debe estudiarse en tres períodos separados (1997-2003, 2004-2008  
425 y 2010-2014) restringiendo así la longitud de la serie lo cual imposibilita hacer estudios  
426 climatológicos, por ejemplo, de tendencia y variabilidad.

427

428 +Se encuentra una disminución del valor medio de la velocidad del viento (13,2% y  
429 10,4% entre períodos respectivamente) y en la variabilidad, tanto anual, estacional como  
430 diaria. En una primera aproximación, hay una marcada disminución de los eventos  
431 extremos. Por ejemplo, entre el primer y tercer período disminuyen los eventos donde la  
432 velocidad del viento supera los 10 ms<sup>-1</sup>.

433

434 +El análisis interanual de los percentiles característicos para la velocidad del viento  
435 horario evidencia una disminución en la dispersión de los datos respecto del primer  
436 período. El valor asociado al percentil 90 disminuye a partir del segundo período y en  
437 particular, durante el tercer período el valor medio de los extremos es menor a  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Se  
438 observa que la disminución del valor del percentil 25 entre períodos es mucho menor por  
439 lo que los cambios en la dispersión de los datos observados estarían más relacionados con  
440 las velocidades intensas que con las bajas.

441

442 +La velocidad del viento presenta un ciclo diurno bien marcado, con un mínimo de  
443 velocidad de viento en horas de la noche y máximos en horas de la tarde, siendo una  
444 respuesta al calentamiento diferencial de la superficie. Se observa también, que si bien  
445 existe una disminución en los valores medios de velocidad, esta es más marcada durante  
446 las estaciones de primavera y verano.

447

448 +La frecuencia de las calmas disminuye principalmente entre el primer período y los  
449 restantes. Sin embargo, es notorio que aumenta la frecuencia de estos eventos en el tercer  
450 período. Estas características podrían estar relacionadas con un ciclo o cambio en la  
451 circulación atmosférica, ya que las mismas fueron reportadas por Otero y otros (2016)  
452 para la estación de San Julián. Sin embargo, la distribución de datos faltantes revela que  
453 la mayor proporción de estos ocurren en el segundo período y en las horas de la  
454 madrugada, por lo que las causas del comportamiento de los eventos de calma en Trelew  
455 también podrían deberse a la falta de observaciones registradas en las horas de mayor  
456 ocurrencia de calmas.

457

458 +Los vientos del oeste son los más frecuentes a nivel anual para los tres períodos  
459 estudiados. Sin embargo, se puede destacar que la ocurrencia de los oestes disminuyó  
460 entre períodos y aumentaron las frecuencias de otras direcciones. En especial, durante la  
461 estación cálida hay una notable disminución de las frecuencias del oeste y un aumento en  
462 las direcciones este y sudoeste. La ocurrencia del viento del este disminuye en las

463 restantes estaciones donde aumenta la frecuencia del viento del oeste, mientras que la  
464 ocurrencia de nortes y sudoestes se mantiene casi constante.

465

466 +Si bien los vientos del oeste son los más frecuentes, no presentan las velocidades  
467 medias más intensas en términos anuales. Se destacan cambios entre períodos en las  
468 velocidades medias por dirección. En verano los vientos medios más fuertes pasaron de  
469 ser del sudeste al norte y en primavera rotaron del sudoeste hacia el norte. No se observan  
470 cambios en la dirección de los vientos medios más intensos en MAM y JJA siendo  
471 siempre del norte. Es importante destacar que durante el último período los vientos  
472 medios más intensos provienen del norte en las cuatro estaciones.

473

474 Los resultados obtenidos señalan claramente la problemática de estudiar el viento a 10  
475 m registrado en las estaciones meteorológicas de superficie tradicionales. Analizar  
476 variabilidades y extremos es susceptible a la longitud del registro, al tipo y calidad del  
477 instrumental, en conjunto con los cambios de ubicación y altura del mismo y a los  
478 obstáculos cercanos que podrían encubrir los efectos de un cambio o ciclos en los  
479 patrones de circulación atmosférica.

480 Para comprender mejor estos cambios y poder acercarse a una respuesta afirmativa o  
481 negativa sobre su relación con el cambio climático o una variabilidad de baja frecuencia  
482 sería necesario hacer estudios regionales de los patrones de circulación atmosférica, del  
483 gradiente de presión, del viento geostrófico a partir de observaciones, estudio que excede  
484 el objetivo del presente trabajo.

485

#### 486 **AGRADECIMIENTOS**

487 Los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por facilitar la información  
488 utilizada. El presente trabajo fue financiado por el proyecto  
489 UBACyT:20620130200013BA.

490

#### 491 **REFERENCIAS**

492

493 **Barros V., 1983:** Evaluación del potencial eólico en la Patagonia. Meteorológica XIV  
494 N°1 y 2. 473-484.

495 **Barros V., 1986:** Atlas de potencial eólico del sur argentino. CREE. Chubut,  
496 Argentina. 1-293.

497 **Bichet, A., Wild, M., Folini, D., Schär, C., 2012:** Causes for decadal variations of  
498 wind speed over land: Sensitivity studies with a global climate model. Geophysical  
499 Research Letters 39, L11701.

500

501 **Brown, M. B., Forsythe, A. B., 1974:** Robust tests for equality of variances. Journal  
502 of the American Statistical Association 69: 364-367.

503 doi:10.1080/01621459.1974.10482955. JSTOR 2285659.

504

505 **CIRSOC (Centro de Investigaciones de los Reglamentos Nacionales para Obras**  
506 **Civiles), 2005:**CIRSOC 102: Reglamento Argentino de acción del viento sobre las  
507 construcciones.

508

509 **Cúneo, L., M., 2016:** Estudio de las características del viento en la zona de Trelew en  
510 relación con la producción de energía eólica. Directora: Dra. Bibiana Cerne y Dra. María  
511 Paula Llano. Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias  
512 Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos  
513 Aires.

514

515 **Earl, N., Dorling, S., Hewston, R., y Von Glasow, R., 2013:** 1980–2010: Variability  
516 in UK surface wind climate. Journal of Climate, 26,4: 1172-1191.

517

518 **Guozden, T., M., Bianchi, E., Solarte, A. y Mulleady, C., 2017:** Wind resource  
519 assement in the Río Negro province (Patagonia Argentina) using MERRA Reanalysis.  
520 Meteorologica. Enprensa.

521

522 **Hennessey, J., 1977:** Some aspects of wind power statistics, Journal of Applied  
523 Meteorology, 16, 119-128.

524

525 **Labraga J., 1994:** Extreme winds in the Pampa del Castillo Plateau, Patagonia,  
526 Argentina, with reference to wind farm settlement. Journal of Applied Meteorology. Vol.  
527 33, N° 1, 85-95.

528 **Lassig, J. L., Palese, C., Apcarian A., 2011:**Vientos extremos en la provincia de  
529 Neuquén. Meteorológica, 36,2. 83-93.

530

531 **Levene, H., 1960:** Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of  
532 Harold Hotelling. Stanford University Press, Stanford, CA, pp. 278-292.

533

534 **Marino, M., B., 2007:** Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes  
535 escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada. Director: Dr. Héctor  
536 Horacio Ciappesoni. Tesis Doctoral para aspirar al título de Doctor de la Universidad de  
537 Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la  
538 Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires, 2007.

539

540 **Natalini, B., Lassig, J., Natalini, M., Palese, C., 2012a:** Wind-induced damage in  
541 two regions of Argentina. J Civil Eng Archit 6(2):167

542

543 **Natalini, B. y Natalini, M.B., 2013:**Revisión de velocidades de viento extremas en  
544 tres localidades del sur de Argentina. Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e  
545 Infraestructura Civil. Vol 13 (2). 232.

546 **Otero, F., Cerne, B. y Campetella, C., 2016:**Estudio preliminar del viento en San  
547 Julián en referencia a la generación de energía eólica. Meteorológica. Enviado.

548 **Palese, C., 1999:** Vientos intensos en la región norpatagónica. Avances en Energías  
549 Renovables y Medio ambiente, 3 N° 2, 177-180.

550 **Palese, C., Lassig, J. L., Cogliati, M. G. y Bastanski, M. A., 2000:** Wind Regime  
551 and Wind Power in North Patagonia, Argentina. Wind Engineering, vol. 24 no. 5, 361-  
552 377. doi: 10.1260/0309524001495738

553 **Palese, C. y Lassig J., 2012:**Variabilidad del viento en Neuquén. Congremet XI,  
554 Mendoza 15 Págs.

555 **Pryor, S. C., Barthelmie, R.J., Riley, E.S., 2007:** Historical evolution of wind  
556 climates in the U.S.A. Journal of Physics: Conference Series 75, 1-8.

557 **Siegel, S., 1956:** Nonparametric Statistics for Behavioral Sciences International  
558 Student Edition. Japón: Kogakusha Co.

559

560 **Waimann, C., 2011:** Generación de campos de viento en capas bajas a partir del  
561 modelo WRF/CIMA para su aplicación a la explotación de energía eólica. Directora: Dra.  
562 Celeste Saulo. Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias  
563 Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos  
564 Aires.

565

566 **Waimann, C., 2016:** Desarrollo de un sistema de pronóstico estocástico-dinámico de  
567 producción de energía eólica basado en el modelo WRF/CIMA. Directora: Dra. Celeste  
568 Saulo. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y  
569 Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires

570

571 **Wan, H., Wang X. L., and Swail, V. R., 2010:** Homogenization and trend analysis of  
572 Canadian near-surface wind speeds. J. Climate, 23, 1209–1225.

573 **Watson, S., J., 2014:** Quantifying the variability of wind energy. Wiley  
574 Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 3 (4), pp. 330-342.

575

576 **Wilcoxon, F., 1945:** Individual comparisons by Ranking Methods. Biometrics  
577 Bulletin, Vol 1, No. 6. Pp. 80-83.

578 Figuras:

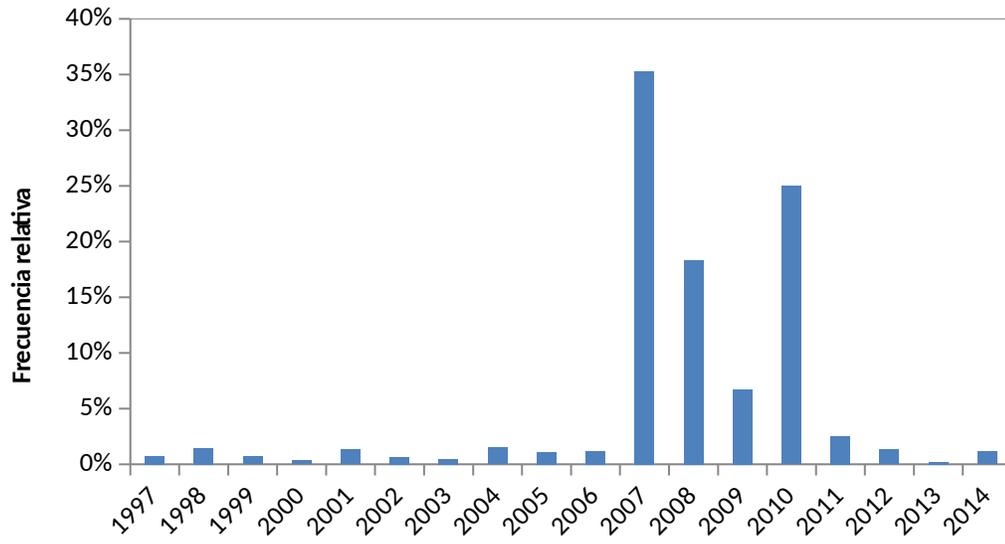


Figura 1: Frecuencia relativa de datos faltantes por año.

579

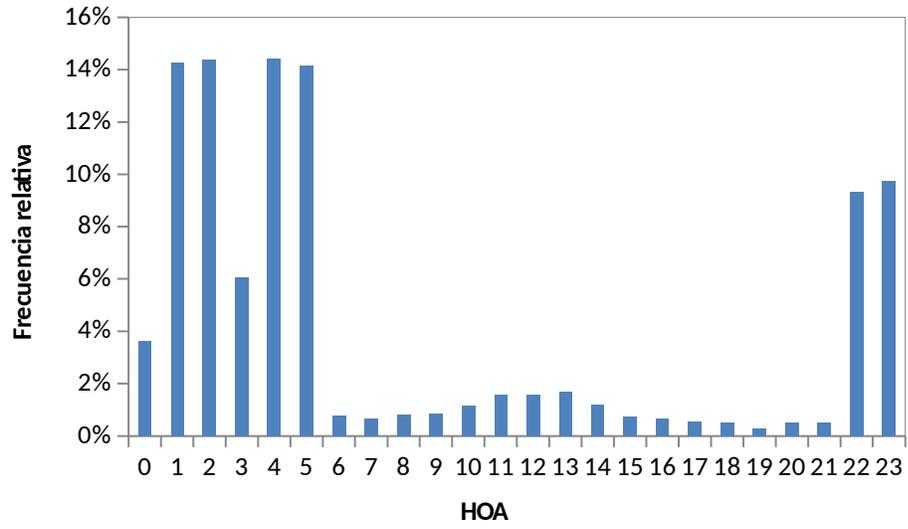


Figura 2: Frecuencia relativa de datos faltantes por hora oficial argentina (HOA).

580

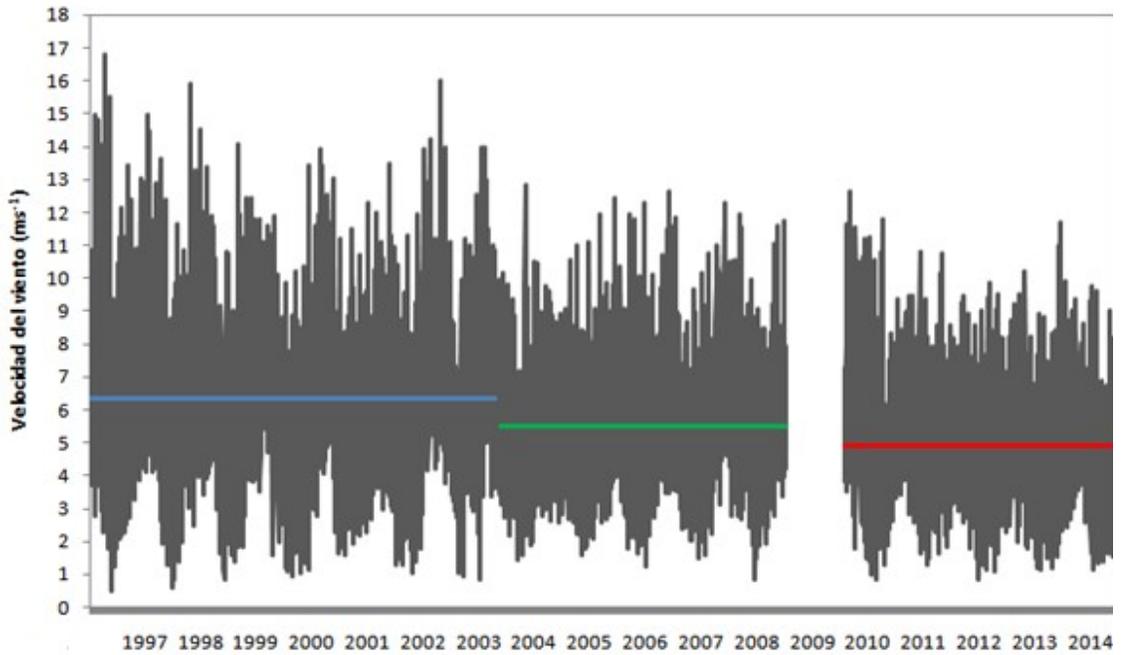
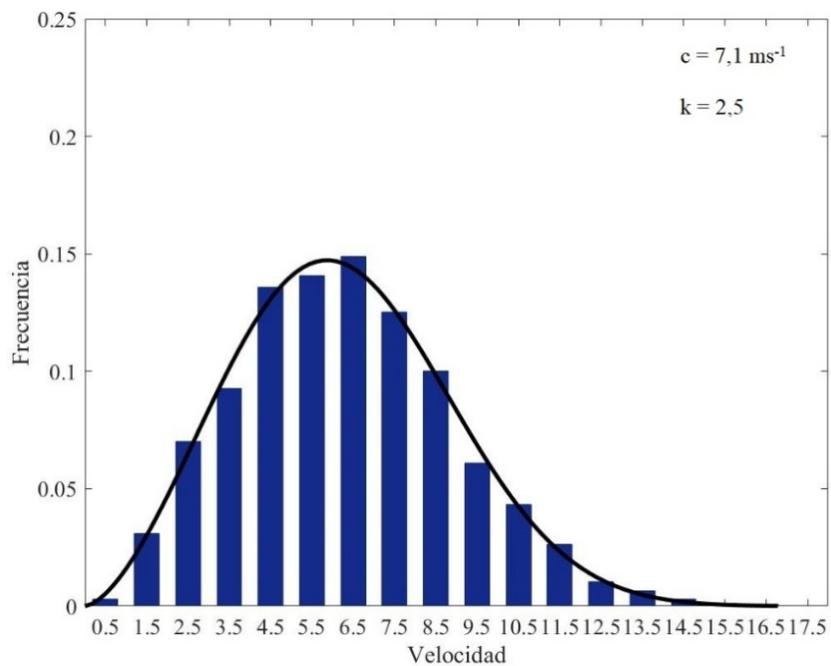


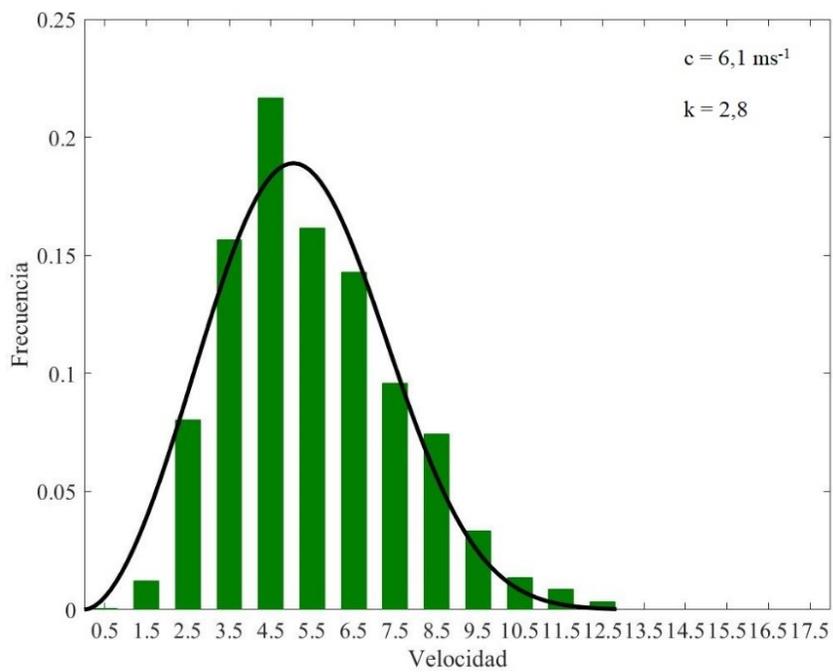
Figura 3: Valores medios diarios de velocidad del viento (gris) y velocidad media para los períodos 1997-2003 (azul), 2004-2008 (verde) y 2010-2014 (rojo).

581

(a)



(b)



(c)

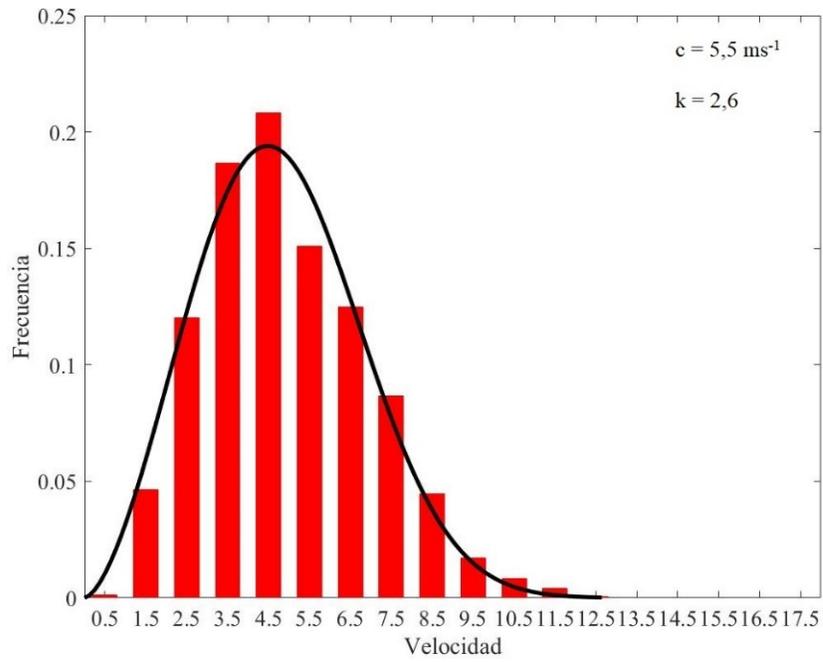


Figura 4: Distribución defrecuencias relativas de velocidad media diaria ( $\text{ms}^{-1}$ )(barras) ajustado con una distribución teórica de Weibull (línea) para 1997-2003 (a), 2004-2008 (b) y 2010-2014 (c).

582

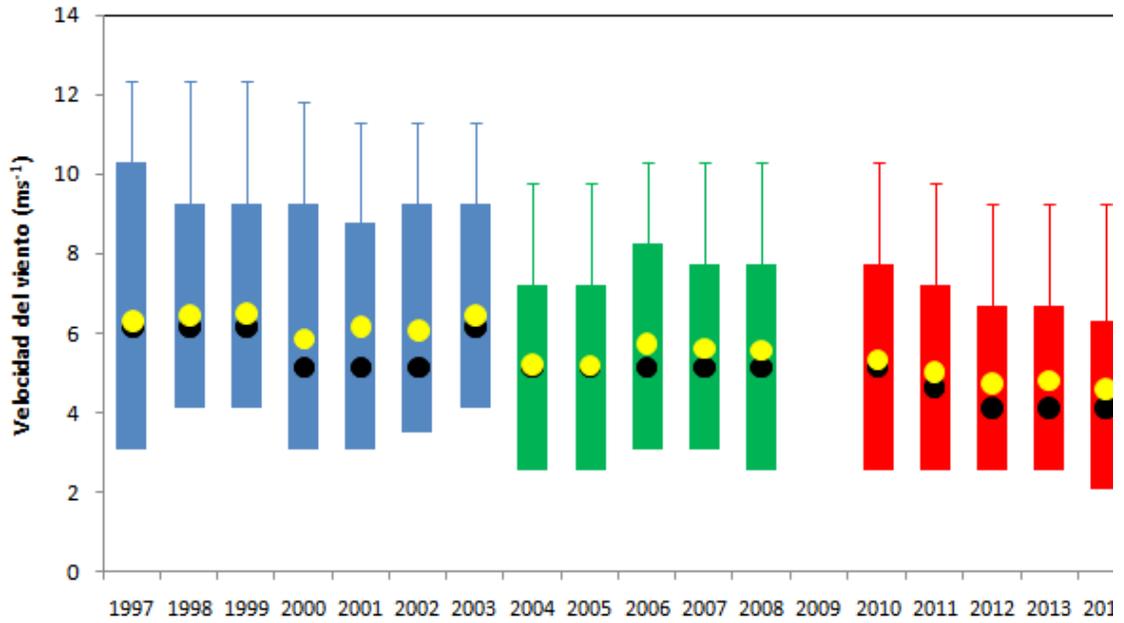


Figura 5: Boxplot de la velocidad media mensual del viento con valor de mediana (puntos negros), percentil 25 (extremo inferior de la caja), percentil 75 (extremo superior de la caja), percentil 90 (extremo superior del whisker) y valor medio anual (puntos amarillos) para cada período correspondiente.

583

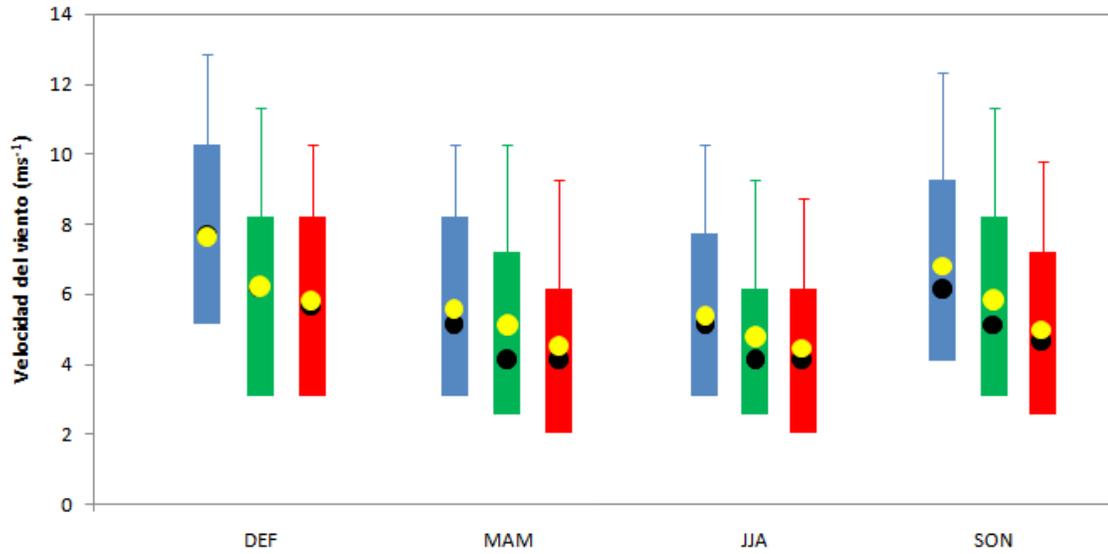
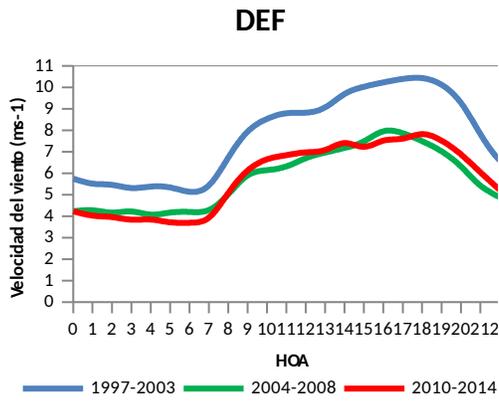


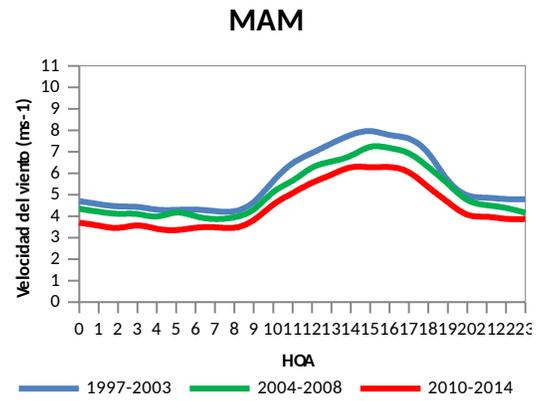
Figura 6: Boxplot de la velocidad del viento estacional con valor de mediana (puntos negros), percentil 25 (extremo inferior de la caja), percentil 75 (extremo superior de la caja), percentil 90 (extremo superior del whisker) y valor medio estacional (puntos amarillos) para cada período correspondiente

584

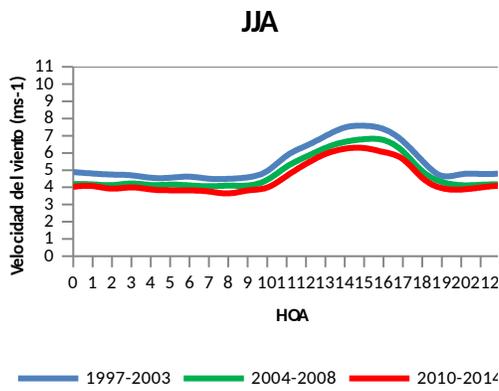
(a)



(b)



(c)



(d)

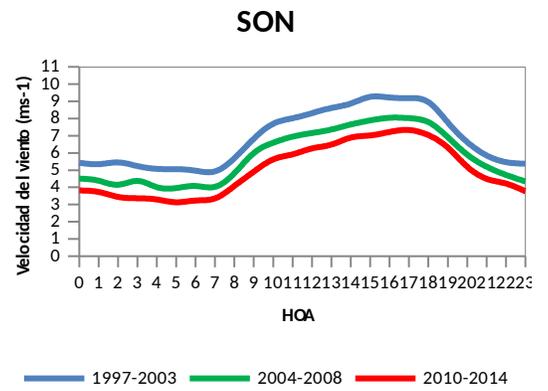


Figura 7: Velocidad media horaria para las estaciones DEF (a), MAM (b), JJA (c) y SON

(d)

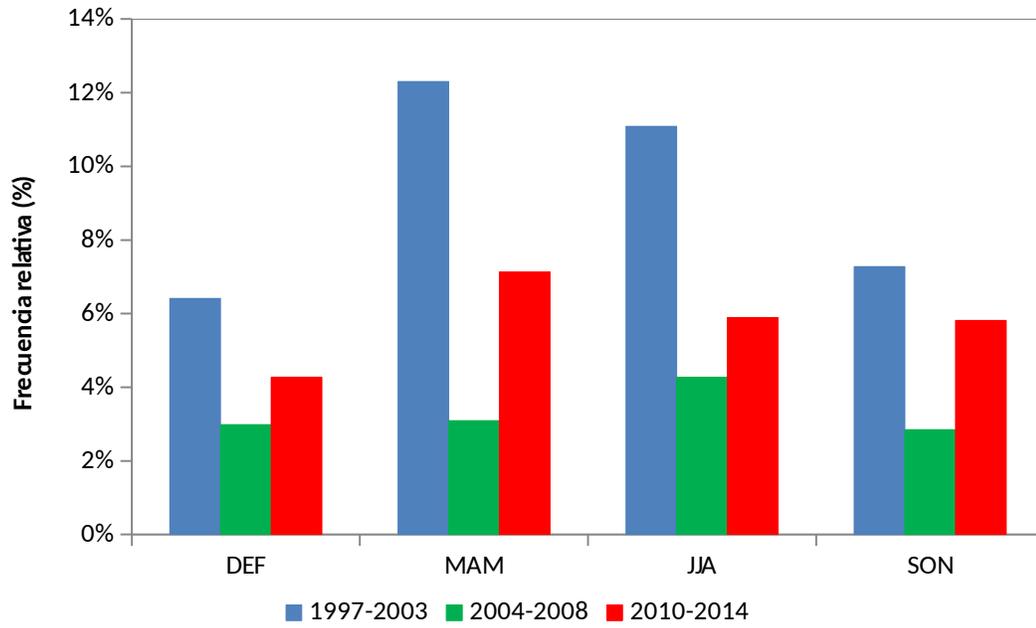
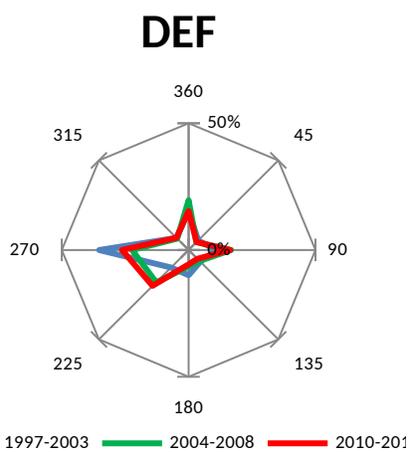


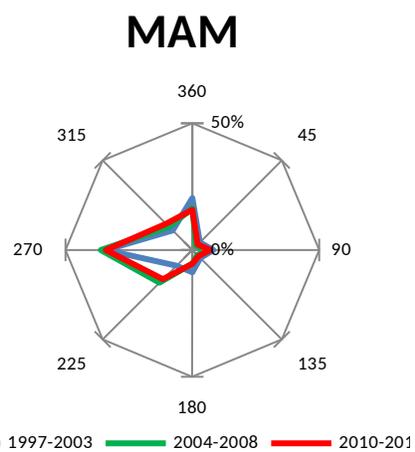
Figura 8: Frecuencia estacional de calmas porcentuales relativas a la cantidad de datos de cada período para cada período correspondiente

586

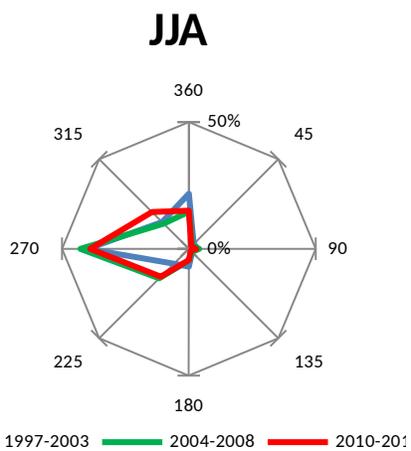
(a)



(b)



(c)



(d)

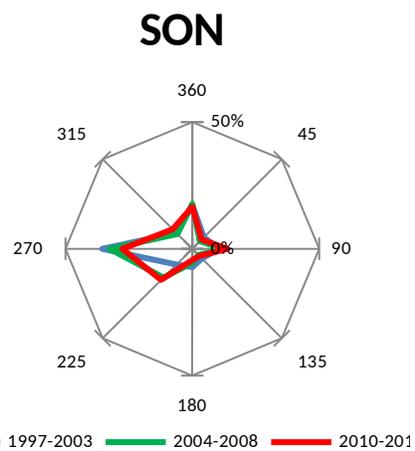
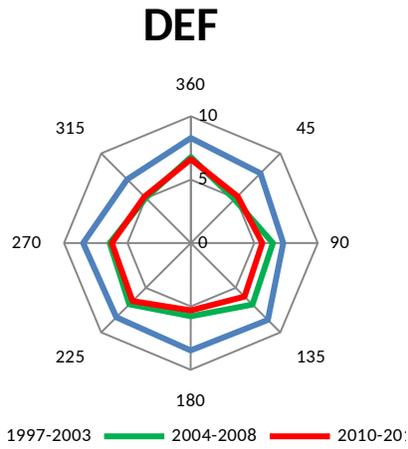
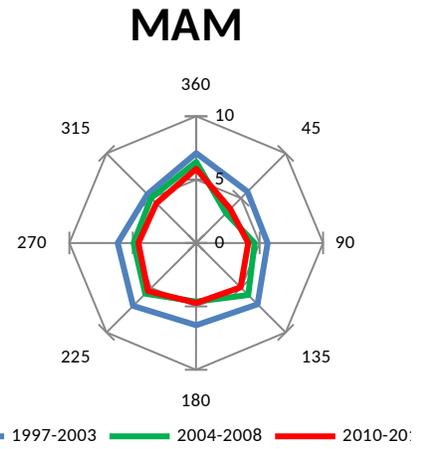


Figura 9: Frecuencias porcentuales relativas a la cantidad de datos por cada dirección para las estaciones DEF (a), MAM (b), JJA (c) y SON (d)

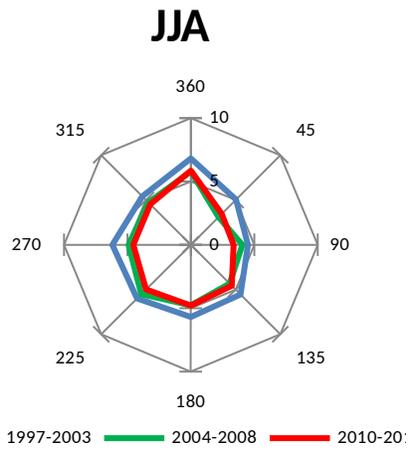
(a)



(b)



(c)



(d)

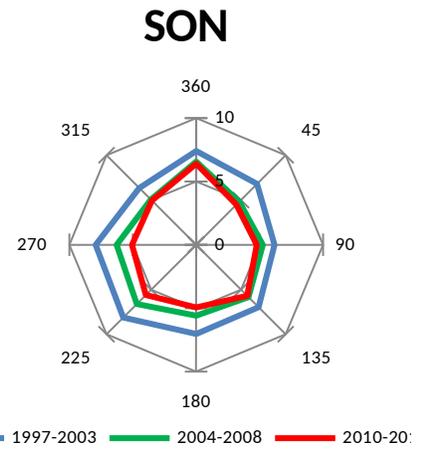


Figura 10: Valor medio de la velocidad del viento por cada dirección para las estaciones DEF (a), MAM (b), JJA (c) y SON (d)