

1
2
3 **CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS QUE PRODUCEN LA**
4 **RÁFAGA MÁXIMA ANUAL EN RESISTENCIA Y CORRIENTES,**
5 **ARGENTINA**

6
7 **Claudia Palese¹, Jorge L. Lassig¹ y Bruno Natalini^{2,3}**

8
9 ¹**Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue**

10 ²**Faculta de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste**

11 ³ **CONICET**

12
13 **Autor correspondiente: Claudia Palese, claudia.palese@fain.uncoma.edu.ar**

14
15
16 **RESUMEN**

17
18 El objetivo de este estudio es clasificar los mecanismos que generaron la ráfaga máxima
19 anual registrada en las estaciones meteorológicas ubicadas en los aeropuertos de
20 Resistencia y Corrientes, según tres tipos de separación: (i) las tormentas convectivas de
21 otros mecanismos; (ii) los vientos sinópticos de los no sinópticos; y (iii) la tormentas
22 convectivas de aquellas que estuvieron asociadas al pasaje de un frente frío. Se contó con
23 los registros de la libreta meteorológica de las estaciones del período 1968 - 2016. Las
24 series de datos se acondicionaron generando la serie llamada superestación. Para la
25 separación tipo (i) se inspeccionaron los datos horarios de las libretas meteorológicas; para
26 la tipo (ii) se utilizaron los reanálisis NCEP/NCAR e imágenes satelitales térmicas; y para
27 la tipo (iii) se recurrió a la herramienta Biplot en el contexto del análisis canónico
28 discriminante para determinar las regiones clasificatorias. Los resultados muestran que la

Artículo en edición

29 ráfaga máxima anual producida por tormentas tiene una ocurrencia de 96,1 % frente a otros
30 mecanismos; 93,5 % corresponden a viento no sinóptico; y por último 62,3 % fueron
31 clasificadas como convección no asociada al pasaje de un frente frío. Se concluye que las
32 localidades no están sometidas a clima eólico mixto, sino que la ráfaga máxima anual se
33 debe a un clima eólico simple correspondiente a actividad convectiva intensa que produce
34 tormentas de las cuales un tercio estuvieron asociadas al pasaje de un frente frío y dentro de
35 este tercio una estuvo relacionada con una sistema de baja presión cerrado ubicado en el
36 norte de Argentina.

37

38 **Palabras clave:** ráfaga máxima anual, superestación, clasificación de mecanismos
39 meteorológicos, NEA.

40

41

42 **CLASSIFICATION OF MECHANISMS THAT PRODUCE THE**
43 **ANNUAL MAXIMUM WIND GUST IN RESISTENCIA AND**
44 **CORRIENTES, ARGENTINA**

45

46

ABSTRACT

47

48 The aim of this study is to classify the mechanisms that produced the maximum annual gust
49 recorded in the meteorological stations of the airports of Resistencia and Corrientes. Three
50 separation criteria were applied: (i) the convective storms vs. other mechanisms; (ii) the
51 synoptic vs. non-synoptic; and (iii) the convective storms vs. those that were associated
52 with the passage of a cold front. The available data sets were the Daily Registers of the
53 stations from 1968 – 2016. The data series were conditioned to generate a series called
54 superstation. For classification (i) the hourly measured data were inspected; for
55 classification (ii) NCEP/NCAR reanalysis and thermal infrared remote sensing were used;
56 and for classification (iii), the Biplot tool was used in the context of canonical variate

Artículo en edición

57 analysis to determine the classificatory regions. The results show that the annual maximum
58 gust produced by storms have an occurrence of 96.1% compared to other mechanisms;
59 93.5% correspond to non-synoptic wind; and 62.3% were classified as convection not
60 associated with the passage of a cold front. It is concluded that Corrientes and Resistencia
61 are not subject to mixed wind climate, that is, the maximum annual gust is due to a simple
62 wind climate corresponding to intense convective activity that produces storms, of which
63 one third was associated with the passage of a cold front and within of this third, one was
64 related to a closed low pressure system located in the north of Argentina.

65

66 **Key Words:** annual maximum gust, superstation, classification of meteorological
67 mechanisms, NEA.

68

69

70 1. INTRODUCCIÓN

71

72 Los métodos utilizados para determinar la acción del viento en estructuras civiles requieren
73 del análisis estadístico y probabilístico de los valores extremos de la velocidad del viento.
74 La cuantificación del clima de vientos extremos no lo hacen los Ingenieros en forma
75 individual. Es un proceso continuo realizado por equipos de investigadores que vuelcan
76 periódicamente sus resultados a mapas llamados genéricamente “mapas de vientos
77 extremos”. La valoración de las cargas de viento sobre estructuras para su
78 dimensionamiento es parte de un proceso normalizado. Cada país o bloque regional cuenta
79 con normas que describen paso a paso como debe hacerse esta valoración. Por ejemplo, en
80 Argentina lo hace el CIRSOC 102 (CIRSOC 102, 2005), en la Unión Europea el ENV 1991
81 Parte 1.4, del cual a su vez se desprenden los anexos nacionales, en USA el ASCE 7, en
82 Australia y Nueva Zelanda el AS/NZS 1170.2, etc. En cada una de estas normas hay uno u
83 varios mapas de vientos extremos, que en el caso particular del CIRSOC 102 se llama mapa
84 de Velocidad Básica de Viento, V_b . De una correcta estimación de la carga de viento de

Artículo en edición

85 diseño depende la seguridad de la estructura durante su vida útil y la operatividad de la
86 misma durante eventos críticos. Si se trata de edificios, está en juego también la seguridad
87 de sus ocupantes. Por otra parte, una sobreestimación de V_b , siendo parte de un proceso
88 normado a nivel nacional, significa un exceso en el uso de materiales en cada estructura
89 formal que se ejecuta; y por pequeña que sea la sobreestimación, termina teniendo un
90 impacto en el conjunto de la economía. La carga de viento de diseño es proporcional al
91 cuadrado de V_b , y por lo tanto cualquier sesgo en su estimación se propaga a la carga de
92 diseño también al cuadrado. Estas son las razones detrás de los permanentes esfuerzos de
93 cada país en mejorar sus mapas de vientos extremos.

94

95 El mapa de Velocidad Básica de Viento, V_b , del Reglamento CIRSOC 102 es el resultado
96 del trabajo de un grupo de expertos de la Universidad Nacional de Tucumán, que se
97 remonta a principios de la década del '70 (Riera y Reimundin, 1970). El primer mapa de
98 vientos, que figuró hasta la edición 1994 del Reglamento, se hizo sobre la base de los
99 trabajos de Riera, Viollaz y Reimundin (1977) y Viollaz y otros (1975). El mapa actual, que
100 se propuso con la revisión de 1991, se basa en dos documentos: un reporte de Viollaz
101 (1997), donde se calculan V_b en 51 estaciones meteorológicas en Argentina, y un reporte de
102 Altinger de Schwarzkopf (1997), donde se proponen las isolíneas que serían compatibles
103 con los valores establecidos por Viollaz y con la física de los procesos atmosféricos sobre
104 Argentina. Las posibilidades de mejorar nuestro conocimiento del clima de vientos
105 extremos pasa básicamente por: a) Incorporar series de datos generados en los últimos años,
106 b) Aplicar procedimientos de procesamiento estadístico más sofisticados y c) Clasificar las
107 velocidades de viento extremas de acuerdo a los mecanismos atmosféricos que originaron
108 dichos eventos extremos. Se sabe que los dos primeros aspectos, si se aplican a las series de
109 datos bajo la hipótesis de clima simple, llevan a una reducción de los valores de V_b .
110 Recientes estudios sobre vientos extremos en la región Noreste de Argentina (NEA)
111 muestran reducciones por encima del 20% en cargas de diseño cuando se usan series de
112 datos actualizadas (Natalini y Natalini, 2018). También se sabe que incorporar el tercer

Artículo en edición

113 aspecto conduce a un aumento de *Vb*. La situación actual para nuestro país se resume
114 entonces en que el mapa vigente en el CIRSOC 102 sobreestima muy significativamente a
115 *Vb*, lo que significa un sobre costo innecesario en cada estructura formal que se construye y
116 no puede sacarse completo provecho de una actualización sin arriesgarse a subestimar a *Vb*,
117 si no se aborda la separación de los valores extremos por tipo de mecanismo causante. Esta
118 separación es sin embargo costosa, por lo que los antecedentes disponibles no son tan
119 amplios como sería de esperar.

120

121 En un estudio realizado por Kruger y otros (2013) en Sudáfrica se muestra las diferencias
122 entre los valores de la ráfaga máxima anual (RMA) cuando éstas se producen por el pasaje
123 de un frente frío, o cuando son debidas a tormentas convectivas o cuando son originadas
124 por la acción del sistema de Alta Presión Semipermanente del Océano Atlántico. Además, se
125 presentan las distribuciones de probabilidades de la RMA según el mecanismo que le dio
126 origen, como así también, las distribuciones de probabilidades cuando: (a) no se tiene en
127 cuenta los mecanismos que las originaron, método del clima simple utilizando la
128 distribución Gumbel; (b) se tienen en cuenta los mecanismos de producción de los
129 máximos anuales, método del clima mixto (Gomes y Vickery, 1977/1978). Las estimaciones
130 de los cuantiles efectuadas con el método del clima mixto resultan ser mayores que los
131 estimados por el método de Gumbel. Cuando se consideran períodos de retorno, T_r ,
132 mayores o iguales a 100 años las diferencias varían entre 0,3 m s⁻¹ y 2,8 m s⁻¹ (en algunas
133 localidades la diferencia porcentual de la velocidades superó 9 % si $T_r > 100$ años).

134

135 Por lo tanto, previo al análisis probabilístico de la RMA se debe identificar el mecanismo
136 que la originó. Hay varios tipos de divisiones de los mecanismos que originan el viento
137 extremo anual. Twisdale y Vickery (1992), Choi (1999), Choi y Hidayat (2002), Lombardo
138 y otros (2009) y Solari y otros (2013) agruparon los valores extremos del viento en aquellos
139 provocados por tormentas eléctricas, y por otro, los ocasionados por otros mecanismos.
140 Riera y otros (1977) clasificaron en dos clases, los provocados por tormentas, llamado

Artículo en edición

141 viento no sinóptico y los originados por depresiones migratorias, el viento sinóptico.
142 Gomes y Vickery (1977, 1978) ampliaron la clasificación a eventos provocados por
143 mecanismos de diferente naturaleza: depresiones extratropicales, tormentas, huracanes y
144 tornados. Choi y Tanurdjaja (2002) separaron los eventos producidos por mecanismos de
145 gran escala, los monzones, de los de pequeña escala, las líneas de inestabilidad y las
146 tormentas. Kasperski (2002) introdujo la idea que, en climas templados en latitudes medias,
147 los sistemas de tormentas no pueden separarse adecuadamente de las depresiones frontales
148 e introdujo el mecanismo que llamó frentes de ráfagas, con propiedades intermedias.

149

150 La región NEA es la zona donde más se han estudiado los vientos extremos recientemente
151 (Natalini y Natalini, 2018). En ella se cuenta con siete estaciones del Servicio
152 Meteorológico Nacional (SMN) que cumplen los requisitos mínimos necesarios para
153 producir valores de V_b aceptables para un código de seguridad de obras civiles. Las
154 estaciones de los aeropuertos de Resistencia y Corrientes están muy cercanas y ubicadas en
155 el conglomerado urbano más importante de la región. En este contexto, este estudio tiene
156 como objetivo clasificar los mecanismos que generaron la RMA registrada en las estaciones
157 meteorológicas ubicadas en estas dos estaciones, como paso previo al estudio de otras
158 zonas del país. Se abordaron tres tipos de separación: (i) las tormentas convectivas de otros
159 mecanismos; (ii) los vientos sinópticos de los no sinópticos; y, por último, (iii) las
160 tormentas convectivas asociadas o no al pasaje de un frente frío.

161

162

163 2. DATOS Y METODOLOGÍA

164

165 Este trabajo tiene por objetivo clasificar los mecanismos que originan el viento extremo
166 anual. Se considera viento extremo anual al valor más alto de la ráfaga máxima diaria
167 registrada en la libreta meteorológica en un año. Como es una exigencia metodológica que
168 dicho valor máximo sea extraído de una serie anual completa de datos diarios, es decir, que

Artículo en edición

169 estén los 365 registros de ráfaga máxima diaria (o 366 en año bisiesto), los años que no
170 cumplieron con este requerimiento fueron excluidos del análisis.

171

172 **2.1. Datos**

173

174 **2.1.1. Series de datos medidos disponibles**

175

176 Se utilizaron los datos horarios de las libretas meteorológicas de las estaciones de medición
177 ubicadas en los aeropuertos de Resistencia (27° 26' 51,02" S; 58° 45' 43,21" O; 62 m) y
178 Corrientes (27° 27' 1,85" S; 59° 3' 9,35" O; 54 m) registrados desde el 01-01-1968 al 31-12-
179 2016 que fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

180

181 La cantidad de registros por día varía en ambas estaciones: en Resistencia hubo 4
182 observaciones diarias a las 03, 09, 15 y 21 horas entre el 01-01-1968 y el 31-12-1975, y
183 luego 24 observaciones diarias hasta el final del período de estudio. En Corrientes hubo
184 mucha variación, alternando entre 3 observaciones diarias (09, 15 y 21 horas) y 4
185 observaciones (03, 09, 15 y 21 horas) en el período 01-01-1968 y 31-12-1990. Luego, 16
186 observaciones diarias entre las 06 y las 21 horas desde el 01-01-1991 al 11-02-1997, por
187 último, 24 observaciones diarias hasta el final del período de estudio. Un registro horario
188 tiene los siguientes campos: fecha, hora, temperatura, temperatura de rocío, humedad
189 relativa, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, tipos de nubes, cantidad de
190 cielo cubierto y fenómenos significativos.

191

192 También se usaron los registros diarios de la ráfaga máxima de ambas estaciones
193 meteorológicas en el período 01-01-1968 al 31-12-2016 que también fueron provistos por
194 el SMN. Un registro de los valores extremos diarios incluye la fecha, la intensidad y la
195 dirección de la ráfaga máxima diaria. En el período 1995 a 2016 en Resistencia y de 1996 a
196 2016 en Corrientes el registro además contiene el horario en que se produjo la ráfaga

Artículo en edición

197 máxima diaria, mientras que en el período 1968 a 1994 (1995) no se cuenta con este dato.

198

199 De la serie de máximos diarios de ráfaga se utiliza el evento de mayor valor en el año
200 (RMA). Como es un requerimiento que el valor máximo anual sea extraído de una serie
201 anual completa de datos diarios, los años 1985, 1992, 1993 y 2010 de Resistencia, y 1968,
202 1971, 1979, 1984 y 1987 de Corrientes fueron excluidos del estudio porque tienen faltantes.
203 Por lo tanto, la serie de extremos de Resistencia cuenta con 45 registros y la de Corrientes
204 con 44.

205

206 **2.1.2. Serie de datos a analizar**

207

208 Se generó un nuevo conjunto de datos para cada una de las estaciones constituido por un
209 registro por año desde 1968 a 2016. Dicho registro incluye fecha y hora de ocurrencia,
210 intensidad y dirección de la RMA y en forma contigua los campos incluidos en la libreta
211 meteorológica de la hora más cercana a la de ocurrencia de la RMA, independientemente
212 del valor del viento horario.

213

214 La serie de datos así generada tiene dos aspectos a mencionar. El primero es que, en el
215 período en el que se realizaban 3 o 4 observaciones al día, puede haber varias horas de
216 diferencia entre la hora de ocurrencia de la ráfaga máxima y el horario con datos
217 registrados en la libreta meteorológica. El otro aspecto es que desde 1968 hasta 1994 en
218 Resistencia y hasta 1995 en Corrientes no se cuenta con el horario en que se produjo la
219 ráfaga máxima, entonces, en estos casos se utilizó el registro de las variables de la libreta
220 (temperatura, humedad, presión, nubosidad, etc.) correspondientes al de mayor velocidad
221 del viento horaria de la fecha del extremo anual. En el caso de haber dos horarios
222 consecutivos con la misma velocidad se tomó el primero.

223

224 Conjuntamente con los datos observados se valoraron los cambios que sufrieron las

Artículo en edición

225 variables. Estos cambios fueron incluidos en la serie como las diferencias temporales en 6 y
 226 24 horas de la presión, temperatura y humedad atmosféricas. Se tomaron los intervalos de 6
 227 y 24 horas con la finalidad de poder utilizar la totalidad de los registros de las dos
 228 estaciones meteorológicas a lo largo de todo el período disponible (1968 – 2016). Estas
 229 anomalías alrededor del pico de la ráfaga también fueron utilizadas en Vallis y Lored-
 230 Souza (2018).

231
 232 El cálculo de los cambios temporales se realizó como se muestra abajo, en donde D indica
 233 la diferencia de: P , la presión atmosférica; T , la temperatura; Td , la temperatura de rocío y
 234 TPE , la temperatura potencial equivalente. El subíndice $t0$ señala la hora de la RMA (o la
 235 más cercana):

- 236
- 237 ○ $DP6 = P_{t0} - P_{t0+6}$, $DP24 = P_{t0} - P_{t0+24}$
 - 238 ○ $DT24 = T_{t0} - T_{t0+24}$
 - 239 ○ $DT-Td6 = (T-Td)_{t0} - (T-Td)_{t0+6}$, $DT-Td24 = (T-Td)_{t0} - (T-Td)_{t0+24}$,
 - 240 ○ $DTPE24 = TPE_{t0} - TPE_{t0+24}$.

241
 242 Las diferencias así calculadas se interpretan como una disminución de la presión después
 243 de ocurrido el evento cuando $D P$ es positivo y viceversa con valores negativos. Cuando D
 244 T es positiva indica disminución de la temperatura después de la hora del pico de la ráfaga;
 245 lo mismo con $D TPE$. Un valor positivo en $D T-Td$ señala aumento de la humedad ambiente
 246 y un valor negativo que el ambiente se secó.

247
 248 **2.1.3. Superestación**

249
 250 Una de las prácticas utilizadas para extender la cantidad de registros en las series de RMA
 251 es la técnica llamada superestación que se describe en Peterka (1992). Esta tiene la
 252 finalidad de lograr precisión y garantizar una adecuada caracterización estadística y

Artículo en edición

253 probabilística de dichos valores extremos.

254

255 Peterka (1992) expone que las distribuciones de las velocidades extremas pueden tener un
256 error que llama de muestreo si se utilizan series con pocos registros. El autor sugiere que
257 los registros de RMA de diferentes estaciones meteorológicas pueden unirse para formar
258 una serie con mayor cantidad de registros llamada superestación con la que se producen
259 mejores estimaciones.

260

261 Simiu y Filliben (1999) plantean que la técnica de la superestación debe usarse con mucho
262 cuidado y que las series de datos que la forman deben satisfacer tres requisitos básicos:

263 a. Homogeneidad micrometeorológica: se refiere a que las series deben provenir de
264 estaciones meteorológicas que tengan la misma elevación y rugosidad aerodinámica
265 superficial.

266 b. Consistencia climática: las estaciones meteorológicas deben tener las mismas
267 condiciones climáticas, es decir, deben tener las mismas características geográficas,
268 por ejemplo, elevación, posición con respecto a los obstáculos orográficos, etc.

269 c. Independencia estadística: los máximos anuales de las diferentes estaciones no
270 deben estar correlacionados, es decir, la inclusión de una serie de datos sí
271 correlacionada no proporcionará información nueva sobre el clima del viento
272 extremo.

273

274 Fernández Lorenzo y Parnás (2016) plantean estos tres requisitos indicando que las
275 estaciones componentes deben ser comparables en términos micro y macrometeorológicos
276 y que los datos de cada estación componente deben ser mutuamente independientes.

277

278 Esta metodología fue utilizada por Peterka (1992) con mediciones de 29 estaciones
279 individuales de un área de Estados Unidos de América con la finalidad de reducir los
280 errores asociados a las series de pocos registros de la velocidad de RMA. Peterka y Shahid

Artículo en edición

281 (1998) utilizaron superestaciones regionales para lograr el mapa de la velocidad de ráfaga
282 extrema anual del país arriba mencionado.

283

284 Torrielli y otros (2011) combinaron datos de tres estaciones individuales de Italia para
285 estimar los parámetros de la distribución de la población de referencia de velocidades
286 medias, con resultados satisfactorios.

287

288 Las estaciones meteorológicas de Resistencia y Corrientes distan entre sí 28 km, ambas
289 están instaladas en aeropuertos, por lo tanto, la rugosidad aerodinámica superficial es
290 semejante en ambas, los sensores están instalados en ambas estaciones a 10 metros de
291 altura sobre el nivel del suelo y la diferencia de elevación entre ambas es menor a 10
292 metros, con lo que se cumple el requisito de homogeneidad micrometeorológica. También,
293 las dos localidades están sometidas al mismo régimen climático subtropical húmedo
294 cumpliendo con la consistencia climática. Por lo tanto, ambas estaciones son comparables
295 en términos micro y macrometeorológicos como se establece en Simiu y Filliben (1999) y
296 en Fernández Lorenzo y Parnás (2016).

297

298 Para que los datos de cada estación componente de la superestación sean mutuamente
299 independientes y así cumplir con el requerimiento de la independencia estadística, se
300 utilizaron los siguientes criterios de selección de las fechas a incorporar:

301

302 i. cuando una fecha coincide en las dos estaciones se tomó sólo la de la ráfaga de
303 mayor valor;

304 ii. se eliminaron las fechas consecutivas entre las cuales hay menos de 4 días.

305

306 Al unir los 45 registros de Resistencia con los 44 de Corrientes y aplicando los requisitos
307 planteados por Simiu y Filliben (1999) y por Fernández Lorenzo y Parnás (2016) se logra la
308 serie superestación que está formada por 77 registros. Cada uno de esos registros contiene

Artículo en edición

309 los siguientes campos: fecha, hora, intensidad (VX) y dirección (DX) de la ráfaga máxima;
310 T, Td, HR, P, D, V, D P24, D P6, D T24, D T-Td6, D T-T24 y D TPE24, cantidad y tipo de
311 nubosidad y fenómenos significativos.

312

313 **2.2. Tipos de agrupamiento de los mecanismos que produce la RMA**

314

315 Como se expuso en la Sección 1 distintos autores propusieron diferentes formas de
316 clasificar los mecanismos que producen la ráfaga de viento extrema anual. A continuación
317 se especifican las tres formas de agrupamiento utilizadas en este trabajo.

318

319 **Tormenta – Otro Mecanismo.** La separación se efectúa inspeccionando directamente los
320 datos de nubosidad y de fenómenos significativos de la serie superestación. Siguiendo la
321 metodología propuesta en Lombardo y otros (2009) cuando hay tormenta informada en la
322 columna de Fenómenos Significativos o cumulonimbos u otra nubosidad indicadora de
323 fenómenos convectivos, en la columna de Tipo de Nubosidad Baja, esa fecha se la clasifica
324 como *Tormenta*. En cualquier otro caso el evento es considerado como *Otro Mecanismo*.

325

326 **Sinóptico – No sinóptico.** En este trabajo se considera *Viento Sinóptico* a los eventos que se
327 producen debido a la presencia y desplazamiento por la zona de estudio de un sistema de
328 baja presión cerrado. Esta depresión que se genera en el centro norte de Argentina y alcanza
329 su máximo desarrollo durante su desplazamiento o extensión hacia el sudeste es descripta
330 en Seluchi (1993) y es mencionada como productora de vientos muy fuertes sobre el litoral
331 en Altinger de Schwarzkopf (2005). Cuando no se observa dicho sistema la fecha se
332 clasifica como *Viento No Sinóptico*. La discriminación de los casos se realizó en forma
333 manual o subjetiva mediante la inspección visual de los campos de las alturas
334 geopotenciales y su evolución temporal. Los campos meteorológicos provienen del
335 reanálisis del National Center of Environmental Prediction (NCEP/NCAR Reanalysis;
336 Kalnay y otros, 1996), tienen resolución espacial horizontal de 2,5° x 2,5° y resolución

Artículo en edición

337 temporal de 6 horas en los niveles significativos.

338

339 **Convección – Convección asociada a Frente Frío.** En este agrupamiento se separan los
 340 eventos de convección asociados o no al pasaje de un frente frío por Resistencia y/o
 341 Corrientes. Los casos agrupados como convección pueden corresponder a tormentas de
 342 masa de aire o convección asociada a forzantes sinópticos como frente cálido o frente
 343 estacionario, entre otros. La convección que se produce en el noreste de Argentina es
 344 analizada en Zipser y otros (2006), Salio y otros (2007), Durkee y Mote (2010), Rasmussen
 345 y Houze (2011) y en Vidal (2014), entre otros. Para lograr este agrupamiento se utiliza el
 346 método del Análisis de Variables Canónicas efectuado a los datos de la superestación. Para
 347 asegurar la clasificación de los casos dudosos, también se recurrió a las salidas gráficas del
 348 NCEP/NCAR Reanalysis y a imágenes infrarrojas térmicas satelitales.

349

350 **2.3. Análisis de Variables Canónicas**

351

352 El objetivo de utilizar la técnica del Análisis de Variables Canónicas (para más de dos
 353 grupos) o Análisis Discriminante Canónico (ADC), para lograr la separación entre
 354 *Convección no asociada al pasaje de un frente frío (C)* y *Convección asociada al pasaje de*
 355 *un Frente Frío (CFF)*, fue identificar las diferencias entre los dos grupos a partir de las
 356 variables medidas, incluidas en la serie de la superestación, e identificar las relaciones de
 357 esas variables dentro de ambos grupos (Cuadras, 2014). El ADC estima funciones lineales,
 358 funciones o variables canónicas, a partir de las variables medidas realizando la separación
 359 de los grupos de eventos maximizando la varianza entre los grupos y minimizando la
 360 varianza dentro de los grupos (Cruz Castillo y otros, 1994).

361

362 El ADC requiere de una muestra de entrenamiento, es decir, se debe saber de partida a qué
 363 grupos pertenecen algunos componentes de la serie total. Luego se utiliza ADC con un
 364 objetivo de determinación, es decir, se busca un criterio que permita decidir sobre la

Artículo en edición

365 vinculación a uno de los grupos de un componente nuevo, no perteneciente a la muestra de
366 entrenamiento.

367

368 El análisis se implementó en ambiente *R* con el paquete *BiplotGUI* para datos multivariados
369 en el contexto del modelo lineal multivariado (la Grange y otros, 2009). La representación
370 *Biplot* tiene la ventaja de incorporar al mismo tiempo las variables y las observaciones en
371 un mismo gráfico (Peña, 2002; Lorbes Medina y otros, 2014).

372

373 **2.3.1. Muestra de entrenamiento**

374

375 Para lograr la muestra de entrenamiento fueron clasificadas fechas de la RMA en el período
376 2004 a 2014. La cantidad de registros es 19 y corresponden al 25 % del total (77), diez son
377 de la estación meteorológica de Corrientes y nueve de Resistencia. Se buscó identificar dos
378 grupos: *CFF*: *Convección asociada a Frente Frío*, que se refiere a un evento en el cual la
379 convección fue favorecida por el pasaje de un sistema frontal frío por las localidades; y *C*:
380 *Convección*, que se considera un evento convectivo, es decir, sin la acción de un sistema
381 frontal frío.

382

383 Para caracterizar las condiciones meteorológicas de las fechas del grupo de entrenamiento
384 se utilizaron los campos del reanálisis 24 horas previas y posteriores al horario del pico de
385 la RMA. También se utilizaron imágenes satelitales infrarrojas del canal 4 de los satélites
386 de la serie GOES (NOAA/CLASS). La discriminación de los casos *C* de los *CFF* se realizó
387 en forma manual o subjetiva mediante la inspección visual y el análisis de los campos de
388 las alturas geopotenciales y su evolución temporal.

389

390 Una vez clasificadas las fechas del grupo de entrenamiento se realizó un ADC con la
391 finalidad de determinar en el plano principal la posición de las fechas en las dos regiones
392 clasificatorias e identificar el valor que adquieren los ejes canónicos cuando se presenta la

Artículo en edición

393 acción de un sistema frontal frío. También se analiza el error cometido.

394

395 **2.3.2. Clasificación de casos no pertenecientes a la muestra de entrenamiento**

396

397 El método de clasificación de los casos no pertenecientes a las muestras de entrenamiento
398 consiste en ubicarlos uno por uno en el plano principal observando la región de
399 clasificación a la cual pertenecen como se muestra, a modo de ejemplo, en la Figura 1 (a)
400 una fecha clasificada como *C* y en la Figura 1 (b) una *CFE*.

401

402 Los casos en que la posición que se observa no es categórica, por ejemplo, el individuo cae
403 en la separación de las dos regiones clasificatorias, a esa fecha se la identifica como clase
404 dudosa y se recurre a las salidas gráficas del reanálisis y a las imágenes satelitales térmicas.

405

406

407 **3. RESULTADOS**

408

409 **3.1. Clasificación de casos en Tormenta u Otro Mecanismo**

410

411 En este tipo de agrupamiento se observa que la RMA producida por *Tormenta* y actividad
412 convectiva son las que predominan, 96,1 %, 74 de los 77 registros. Las fechas clasificadas
413 como *Otro Mecanismo* son: 10/10/1973, 15:00 horas, de Resistencia y 29/10/1974, 03:00
414 horas, y 19/09/2015, 12:00 horas, de Corrientes.

415

416 Respecto de los eventos clasificados como *Otro Mecanismo*, tanto en el caso de Resistencia
417 como en el primero de Corrientes, no se realizaban mediciones las 24 horas del día en esos
418 períodos en ninguna de las dos estaciones meteorológicas. Tampoco hay registro de la hora
419 en la que se produce la ráfaga máxima, por lo tanto, no hay certeza acerca de qué
420 mecanismo produjo el evento, puesto que sí pudo haber tormenta y no tener la anotación de

Artículo en edición

421 la observación del fenómeno. Otra forma de detectar las nubes convectivas es a través de
 422 las imágenes satelitales, sin embargo, este tipo de bases de datos no abarcan las fechas de
 423 estos eventos puesto que están disponibles desde Setiembre de 1993 del sensor GVAR-
 424 IMG/GOES y desde Noviembre de 1978 del sensor AVHRR/NOAA.

425

426 **3.2. Clasificación de casos en Viento Sinóptico o No Sinóptico**

427

428 De los casos analizados 6,5 % corresponden a *Viento Sinóptico*, definido éste como la
 429 acción o desplazamiento por la zona de estudio de un sistema de baja presión cerrado. Las
 430 fechas correspondientes a *Viento Sinóptico* son 14/03/1972 15:00 hs, 03/11/1978 09:00 hs,
 431 23/03/1990 14:00 hs, 28/04/1992 21:00 hs y 28/11/1994 10:00 hs y afectaron a Corrientes y
 432 Resistencia simultáneamente dada su escala espacial. Las 72 fechas restantes corresponden
 433 a *Viento No Sinóptico*.

434

435 La Figura 2 exhibe algunos de los campos analizados de las fechas que resultaron positivas
 436 de *Viento Sinóptico*. En ella se muestran las alturas geopotenciales del nivel de 1000 hPa en
 437 un horario cercano al de la ocurrencia de la RMA. Como se observa, la depresión se halla
 438 ubicada en la frontera entre Paraguay y Formosa. Esta depresión está asociada a la Baja de
 439 Chaco (BCH) que es descripta en Seluchi y Saulo (2012) y Seluchi y Garraud (2012).
 440 Produce fuerte advección de humedad y calor desde el norte o noreste sobre las localidades.

441

442 También se analizó la evolución temporal del sistema a través del cálculo de la diferencia
 443 ($hgt_{t+12hs} - hgt_t$) de la altura geopotencial del nivel de 925 hPa en horas posteriores y
 444 previas a la ocurrencia de la ráfaga, ésta se muestra en la Figura 3. En ella los valores
 445 negativos indican la disminución de la presión y viceversa con los positivos. Cuando se
 446 compara la Figura 2 y con la Figura 3 se observa que en todos los casos la influencia del
 447 sistema de baja presión se desplaza hacia el este o sudeste respecto de su posición en horas
 448 previas a la de ocurrencia de la ráfaga máxima.

Artículo en edición

449

450 **3.3. Clasificación de casos en Convección asociada o no al pasaje de un sistema**
451 **frontal frío**

452

453 **3.3.1. Clasificación de las fechas de la muestra de entrenamiento**

454

455 Las Figuras 4 y 5 constituyen ejemplos de cada una de las clases. La Figura 4 muestra las
456 condiciones meteorológicas de una fecha clasificada como *CFF*. En la Figura 4(a), que
457 corresponde a la altura geopotencial del nivel de 1000 hPa del 01-09-2010 a las 3:00 hs (6
458 UTC), se observa una depresión ubicada al sur de las Islas Georgias del Sur vinculada a un
459 sistema frontal que se extiende en dirección sudeste-noroeste desde el Océano Atlántico
460 hasta el continente, allí se conecta con una depresión ubicada en el noreste de Argentina. La
461 Figura 4(b), del campo de 500 hPa, muestra en el Océano Atlántico el eje de vaguada que
462 acompaña el sistema frontal y el noreste del país afectado por la delantera de una vaguada
463 en el Océano Pacífico. El contraste de las masas de aire se distingue en las Figuras 4(c) de
464 temperatura y 4(d) de la humedad específica. Entre la Patagonia y el noreste de Argentina
465 hay una diferencia de 24 K y 8 g vapor de agua/kg aire. El sistema nuboso asociado al
466 frente frío se muestra en la Figura 4(e).

467

468 Por otro lado, la Figura 5 corresponde a una fecha clasificada como *C*. En la Figura 5(a) de
469 la altura geopotencial del nivel de 1000 hPa del 29-11-2012 a las 3:00 hs (6 UTC) se
470 observa la acción de un anticiclón sobre la costa de la provincia de Buenos Aires y el norte
471 del país afectado por una depresión. La Figura 5(b) del campo de 500 hPa muestra la
472 proximidad de una vaguada de onda corta a la Cordillera de los Andes y sobre el norte del
473 país un gradiente débil de altura geopotencial. En la Figura 5(c) se observa que el norte
474 argentino está dominado por temperaturas mayores a 300 K. La Figura 5(d) muestra en el
475 noreste que la humedad específica varía entre 16 y 20 g vapor de agua/kg aire. El sistema
476 nuboso que produce esta configuración se presenta en la Figura 5(e).

Artículo en edición

477

478 En la Tabla 1 se muestra el resultado de la clasificación de todas las fechas utilizadas como
479 grupo de entrenamiento. Se incluyó una columna con una muy breve referencia de la
480 situación sinóptica predominante, especialmente en el noreste de Argentina, en horario
481 cercano al de ocurrencia de la RMA. Resultan once fechas clase *C* y ocho *CFE*.

482

483 Con el resultado anterior se confeccionó la Figura 6 que corresponde al diagrama Biplot
484 con los eventos de la muestra de entrenamiento. Como se observa el individuo 18, que
485 corresponde a la RMA de Corrientes del 08/01/2014, presenta valores de las variables más
486 parecidos al grupo de *C*, sin embargo, al ser clasificado mediante el análisis subjetivo de los
487 campos sinópticos se confirma su asignación como *CFE*. En dicha Figura están delimitadas
488 las dos regiones de clasificación que identifican a cada uno de los dos grupos. Estas
489 regiones servirán para clasificar los eventos no incluidos en el grupo de entrenamiento.

490

491 Los valores medios que tienen los ejes discriminantes (las variables) en cada uno de los dos
492 grupos se muestran en la Tabla 2, salvo en los ejes de la dirección del viento que se indica
493 la dirección más frecuente. Se observan dos aspectos, por un lado, las mayores diferencias
494 se producen en las variables que representan la evolución (diferencias) de las condiciones
495 atmosféricas reinantes: presión, temperatura y humedad. El otro aspecto es que hay un
496 ambiente más húmedo y con menor presión atmosférica cuando ocurren eventos clase *C*.
497 Por otra parte, se observa que la diferencia entre los dos grupos de la velocidad horaria es
498 $1,2 \text{ m s}^{-1}$ y que la diferencia de la ráfaga máxima es $1,4 \text{ m s}^{-1}$, ambas mayores en los casos
499 *C*. Las direcciones prevalecientes son del sudoeste (240°) en eventos *C* y del sur (180°) en
500 los *CFE*.

501

502 Se valoró en cada fecha el error cometido por el método del ADC comparando su resultado
503 con los valores medidos. La distribución de frecuencias del valor absoluto del error relativo
504 porcentual cometido según los ejes canónicos de las diferencias (*DP6*, *DP24*, *DT24*, *DT-*

Artículo en edición

505 *Td6*, *DT-Td24* y *DTPE24*), que son los que tienen mayor variación entre clases, se muestra
 506 en la Figura 7(a). En ella se observa que 58 % de las de las fechas, es decir, 11 de las 19,
 507 tienen errores inferiores a 15 %. Cuando se consideran los errores de cada eje canónico
 508 resulta que el de menor error es el que evalúa la diferencia de presión, *DP*, y el de mayor
 509 error es el eje asociado a la anomalía de la humedad, *DT – Td*. En cada grupo el error
 510 general es 13 % en la clase *C* y 16 % en *CFF*.

511

512 En base a los resultados de la muestra de entrenamiento se define sistema frontal frío
 513 cuando, en promedio y simultáneamente, en las 6 y/o 24 horas posteriores al evento la
 514 temperatura desciende más de 6,5 K, la presión atmosférica aumenta 9,0 hPa y la diferencia
 515 entre la temperatura y la temperatura de rocío, indicativa de la humedad del aire, aumenta
 516 en 3,0 K.

517

518 **3.3.2. Clasificación de las fechas no incluidas en la muestra de entrenamiento**

519

520 El resultado del análisis ADC se muestra en la Tabla 3. De las 77 fechas, 48 (62,3 %)
 521 fueron clasificadas *C* y 29 (37,7 %) como *CFF*. En la Figura 8 se muestra el plano principal
 522 con todas las fechas. En ella se observa que 3 fechas clasificadas *CFF* (en azul: 33, 62 y 72)
 523 caen dentro de la región de *C*, y viceversa, con la fecha 58. Se analizaron los campos a
 524 escala sinóptica e imágenes satelitales para confirmar la clasificación de estos cuatro
 525 individuos (o fechas).

526

527 Se calcularon los valores medios que tienen los ejes canónicos en cada grupo. Los
 528 resultados de la Tabla 4 muestran que hay menores diferencias entre grupos en las variables
 529 que miden el estado de la atmósfera en el momento de la ráfaga; y mayores variaciones
 530 entre grupos en las variables que consideran las diferencias en 6 o 24 horas. Cuando
 531 ocurren eventos clase *C* el ambiente es un poco más húmedo y con mayor presión
 532 atmosférica que cuando ocurre *CFF*. Se nota poca diferencia en la temperatura y viento. El

Artículo en edición

533 valor de la ráfaga máxima es $0,9 \text{ m s}^{-1}$ mayor en el grupo *C*. La dirección más frecuente de
534 la ráfaga máxima es del sur (180°) en los eventos *CFF* y del sudoeste (240°) en los del
535 grupo *C*.

536

537 Además, se observa que la temperatura aumenta, en promedio en 24 horas, 1,5 K cuando
538 ocurre *C* y disminuye 5,2 K cuando la ráfaga se produjo por *CFF*. La presión en 24 horas
539 aumenta 10 hPa cuando hay *CFF* y, sólo 1,6 hPa en los casos *C*. La evolución de la
540 humedad, evaluada con *T-Td*, muestra poco cambio tanto en las 6 como en las 12 horas
541 posteriores a la ocurrencia de la RMA, los valores indican un ligero secamiento de la
542 atmósfera (- 1,6 K en el grupo *C* y - 0,7 K en el grupo *CFF*).

543

544 El error cometido en las predicciones se observa en la Figura 7(b). En promedio 0,81 de las
545 predicciones tiene errores inferiores a 15 %. Cuando se consideran los errores de cada eje
546 canónico resulta que el de menor error es el que evalúa la anomalía de presión, *DP* (6 %), y
547 el de mayor error es el eje asociado a la evolución de la temperatura, *DT* (13 %). En cada
548 grupo el error medio es 9 % en la clase *C* y 12 % en *CFF*.

549

550

551 **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

552

553 La clasificación de los eventos de vientos intensos en familias homogéneas es utilizada para
554 estudiar en ingeniería civil la acción del viento sobre las estructuras y para determinar la
555 distribución de probabilidades de las velocidades extremas del viento y los efectos
556 extremos que provoca. Los trabajos publicados en este tema tienden a clasificar las
557 condiciones meteorológicas que produjeron la RMA (extremos independientes) con
558 diferentes esquemas de agrupamiento, en general, separan los eventos producidos por
559 tormentas convectivas de los producidos por sistemas de escala sinóptica. Esta separación
560 se debe a que las características del viento en ambos grupos son distintas: las ráfagas

Artículo en edición

561 producidas por tormentas tienen velocidades muy altas, mientras que las velocidades
562 horarias son bajas; y viceversa, cuando el extremo anual se produce por otro mecanismo.

563

564 En este trabajo se agruparon los mecanismos que originaron la RMA de Corrientes y
565 Resistencia según tres esquemas clasificatorios analizando una serie de superestación
566 formada por 77 registros. Cuando se observaron los datos horarios se encontró con la
567 dificultad de series que no tienen las 24 horas de observaciones diarias en parte del período
568 (1968-1975 en Resistencia; 1968-1997 en Corrientes) impidiendo el cálculo de los cambios
569 de las variables hora a hora.

570

571 En el primer tipo de agrupamiento se separaron los eventos en originados por *Tormenta* de
572 aquellos producidos por *Otro Mecanismo* quedando en evidencia que lo que predomina en
573 Corrientes y Resistencia son las tormentas convectivas puesto que de los 77 eventos
574 analizados sólo 3 (3,9 %) correspondieron a *Otro Mecanismo*.

575

576 En el segundo tipo clasificatorio se separaron los eventos de *Viento Sinóptico* de los de
577 *Viento No Sinóptico*. Los eventos de viento sinóptico se definieron como aquellos
578 producidos por una depresión en el norte de Argentina, frecuentemente ubicada en la
579 frontera entre Paraguay y la provincia de Formosa, que con las horas se extiende a las
580 ciudades estudiadas o desplaza a través de ellas. Estos eventos de escala sinóptica también
581 están caracterizados por la ocurrencia de actividad convectiva. En este tipo de
582 agrupamientos se concluye que la mayoría de los casos (93,5 %) son clasificados como
583 *Viento No Sinóptico*. La cantidad de casos encontrados en este trabajo difiere de los
584 reportados en Vallis y Loredou-Souza (2018) que encontraron 83 % de eventos no sinópticos
585 cuando analizaron datos de estaciones meteorológicas automáticas y 100 % cuando
586 utilizaron datos METAR y SYNOP de aeropuertos de Brasil, Argentina y otros países de
587 Sudamérica. El algoritmo de detección que utilizaron incluía los cambios temporales de la
588 temperatura, presión y temperatura de rocío. La diferencia entre los resultados de los

Artículo en edición

589 autores mencionados y los de este trabajo se debe principalmente a las muestras analizadas,
590 Vallis y Loredo-Souza (2018) analizaron 768 fechas, en el período 2005 – 2015, con
591 vientos cuya velocidad fue mayor o igual a 20 m s^{-1} , mientras que aquí se analizaron los
592 eventos de la RMA (77 fechas).

593

594 El tercer esquema de clasificación separa la *Convección* no asociada a un sistema frontal
595 frío de aquella que sí está asociada. Para ello se utilizó el método del análisis discriminante
596 canónico como una metodología semiobjetiva en la que sólo la muestra de entrenamiento y
597 los casos dudosos se clasifican en forma manual con los análisis de los campos
598 meteorológicos y/o imágenes satelitales. En el resto de las fechas el resultado de la
599 clasificación se obtiene de la inspección visual de la posición del evento en el plano
600 principal de un ADC. Los resultados indican que 36 % de las fechas corresponden a
601 tormentas convectivas asociadas a un sistema frontal frío, el 64 % restante son eventos
602 producidos por convección no asociada a un frente frío. Estos resultados concuerdan con
603 los encontrados por Nicolini y Torres Brizuela (1998) en un estudio estadístico de vientos
604 fuertes ($> 15,0 \text{ m/s}$) asociados a convección en Ezeiza y Resistencia. Cuando tipificaron las
605 situaciones meteorológicas a escala sinóptica correspondientes a los casos más intensos (v
606 $> 20 \text{ m/s}$) encontraron que, en Resistencia de los 22 casos que las autoras analizaron, 32 %
607 (7 de 22) correspondieron al pasaje de un frente frío.

608

609 Las diferencias en 24 horas, desde la hora de la ráfaga, muestran disminución de la
610 temperatura (aumento de presión) en 5,2 K (10,0 hPa) en los eventos asociados a un frente
611 frío que son comparables a los encontrados por Ferreira y Nascimento (2015).

612

613 Los errores de predicción de los eventos en función de los ejes multivariados, según la
614 metodología usada del Biplot en el contexto del análisis canónico discriminante, fueron en
615 promedio general de 10,5 % y se consideran adecuados.

616

Artículo en edición

617 El análisis de la interrelación entre los resultados muestra que de las 74 fechas clasificadas
618 *Tormentas* como la causante de la RMA, 29 estuvieron asociaron al pasaje de un frente frío,
619 y de estas 29 una sola estuvo relacionada con una depresión cerrada. De las 3 fechas
620 restantes clasificadas como *Otro Mecanismo* el método del ADC efectuado a los datos
621 medidos resultó que una corresponde a *Convección asociada al pasaje de un frente frío* y
622 las otras dos a *Convección* no asociada.

623

624 La principal diferencia entre el segundo tipo de clasificación respecto del primero y tercero,
625 es que éstos últimos se basan en el análisis de datos medidos en Resistencia y Corrientes.

626

627 Los tipos clasificatorios estudiados en este trabajo no tienen ventaja (o desventaja) uno
628 sobre otro puesto que cada uno aborda un aspecto distinto del mecanismos que produce la
629 ráfaga máxima anual. Sin embargo, dado que en Resistencia y Corrientes predomina la
630 actividad convectiva como causante de la RMA el esquema de separación entre convección
631 asociada o no a un frente frío proporciona mayor detalle.

632

633 La principal conclusión de este trabajo se refiere a que las localidades no están sometidas a
634 clima eólico mixto, sino que la RMA se relaciona a un clima eólico simple dominado por
635 actividad convectiva intensa que produce tormentas de las cuales sólo un tercio se
636 asociaron al pasaje de un frente frío. Dentro de este tercio sólo una estuvo relacionada con
637 una depresión cerrada ubicada en el norte de Argentina (Viento Sinóptico).

638

639

640 *Agradecimientos:* Los datos de las libretas meteorológicas y los valores extremos diarios de
641 Corrientes y Resistencia fueron brindados por el Servicio Meteorológico Nacional de
642 Argentina. Los autores agradecen a los revisores por sus comentarios y sugerencias. Este
643 trabajo fue financiado con subsidios PI 04/I227 y PI 04/I228 de la Universidad Nacional del
644 Comahue y PI 16 D005 de la Universidad Nacional del Noreste. Los autores agradecemos

Artículo en edición

645 las valiosas sugerencias del Prof. Luis A. Arenas en la aplicación del ADC.

646

647

648 REFERENCIAS

649

650 Altinger de Schwarzkopf, M. L. 1997. Fundamentos Meteorológicos que Sustentan el
651 Trazado de Isolíneas de la Velocidad Básica de Viento V_0 en el Mapa de la Fig. 4 del
652 Reglamento CIRSOC 102, Informe Interno, Centro de Investigación de los Reglamentos
653 Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Buenos Aires, Argentina.

654 Altinger de Schwarzkopf, M.L., 2005. Fundamentos meteorológicos que sustentan el
655 trazado de isolíneas de la velocidad básica del viento del Reglamento argentino de la
656 acción del viento sobre las construcciones, Centro de Investigación de los Reglamentos
657 Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC 102-2005). 9 pp.

658 Choi, E. C. C., 1999. Extreme wind characteristics over Singapore – an area in the
659 equatorial belt. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 83, 61–69.

660 Choi, E. C. C. y Hidayat, F. A., 2002. Gust factors for thunderstorm and non-thunderstorm
661 winds. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 90, 1683 – 1696.

662 Choi, E. C. C. y Tanurdjaja, A., 2002. Extreme wind studies in Singapore. An area with
663 mixed weather system. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 90, 1611 – 1630.

664 CIRSOC 102. 2005. Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones,
665 Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras
666 Civiles, Buenos Aires, Argentina.

667 Cruz Castillo, J. G., Ganeshanandam, S., Mackay, B. R., Lawes, G. S., Lawoko, C. R. O. y
668 Woolley D. J. 1994. Aplicaciones de canonical discriminate analysis. Hortscience, 29
669 (10), 1115 - 1119.

670 Cuadras, C. M., 2014. Nuevos Métodos de Análisis Multivariante. C.M.C. Editions.
671 Barcelona.305 págs.

672 Durkee, J. D. y Mote, T. L. 2010. A climatology of warm-season mesoscale convective

Artículo en edición

- 673 complex in subtropical South America, *Int. J. of Climatol.*, 30, 418 - 431.
- 674 Fernández Lorenzo, I. y Parnás, V. B. E. 2016. Análisis de métodos de vientos extremos
675 para calcular las velocidades básicas. *Revista Cubana de Ingeniería*. VII, 2, 15 – 25.
- 676 Ferreira, V. y Nascimento, E. L., 2016. Convectively-induced severe wind gusts in southern
677 Brazil: surface observations, atmospheric environment, and association with distinct
678 convective modes. *Actas 28th Conference on Severe Local Storms*. Portland, USA. 11
679 pp.
- 680 Gomes, L. y Vickery, B. J., 1977/1978. Extreme wind speeds in mixed climates. *J. Wind*
681 *Eng. Ind. Aerodyn.* 2, 331 – 344.
- 682 Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M.,
683 Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Celliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W.,
684 Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R.
685 y Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the*
686 *American Meteorological Society*, 77:437 – 471.
- 687 Kasperski, M., 2002. A new wind zone map of Germany. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 90,
688 1271 – 1287.
- 689 Kruger, A. C., Retief, J. V. y Goliger, A. M. 2013. Strong winds in South Africa: Part 1:
690 Application of estimation methods. *Journal of the South African Institution of Civil*
691 *Engineering*. 55 (2), 29 – 45.
- 692 la Grange, A., le Roux, N. y Gardner-Lubbe, S., 2009. BiplotGUI: Interactive Biplots in R.
693 *J. Statistical Software*. 30, 12, 1 – 37.
- 694 Lombardo, F. T., Main, J. A. y Simiu, E., 2009. Automated extraction and classification of
695 thunderstorm and non-thunderstorm wind data for extreme-value analysis. *J. Wind Eng.*
696 *Ind. Aerodyn.* 97, 120 – 131.
- 697 Lorbes Medina, J., Garcia-Orellana, Y., Pino, M. M. y Diaz, L., 2014. Análisis
698 discriminante canónico con técnicas gráficas multivariadas aplicado a un diseño con dos
699 factores. *AVANCES Investigación en Ingeniería* 11, 2, 38 – 47.

Artículo en edición

- 700 Natalini, B. y Natalini, M. B. 2018. Velocidades de viento extremas en el nordeste de
701 Argentina. En prensa en Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura
702 Civil, disponible on-line.
- 703 Nicolini, M. y Torres Brizuela, M., 1997. Estadística de vientos Fuertes asociados a
704 convección en Ezeiza y Resistencia y estudio numerico de los forzantes en un caso lineal.
705 Meteorológica, 22, 2, 19 – 35.
- 706 Peña, D., 2002. Análisis de Datos Multivariantes. McGraw-Hill Interamericana de España
707 S.L. 529 págs.
- 708 Peterka, J. A. 1992. Improved extreme wind prediction for the United States. J. Wind Eng.
709 Ind. Aerodyn. 41, 533 – 541.
- 710 Peterka, J. A. y Shahid, S. 1998. Design gust wind speeds in the United States. J. Struct.
711 Eng.124, 207 - 214.
- 712 Rasmussen, K. L. y Houze, R. A. 2011. Orographic convection in subtropical South America
713 as seen by the TRMM Satellite. Mon. Wea. Rev., 139, 2399 – 2420.
- 714 Riera, J. D. y Reimundin, J. C. 1970. Sobre la Distribución de Velocidades Máximas de
715 Viento en la República Argentina, Informe I-70-3, Laboratorio de Ensayos de
716 Estructuras, Instituto de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología,
717 Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- 718 Riera, J. D., Viollaz, A. J. y Reimundin, J. C. 1977. Some recent results on probabilistic
719 models of extreme wind speeds. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 2, 271 – 287.
- 720 Salio, P., M. Nicolini y E. J. Zipser, 2007. Mesoscale convective systems over southeastern
721 South America and their relationship with the South American low-level jet. Mon. Wea.
722 Rev., 135: 1290–1309.
- 723 Seluchi, M. E., 1993, Estudio del comportamiento de los sistemas sinópticos migratorios en
724 la Argentina. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de
725 Buenos Aires, Argentina. 276 pp.
- 726 Seluchi, M. E. y Garreaud, R. D., 2012. Campos médios e processos físicos associados ao
727 ciclo de vida da Baixa do Chaco. Revista Brasileira de Meteorologia, 27, 4, 447 – 462.

Artículo en edición

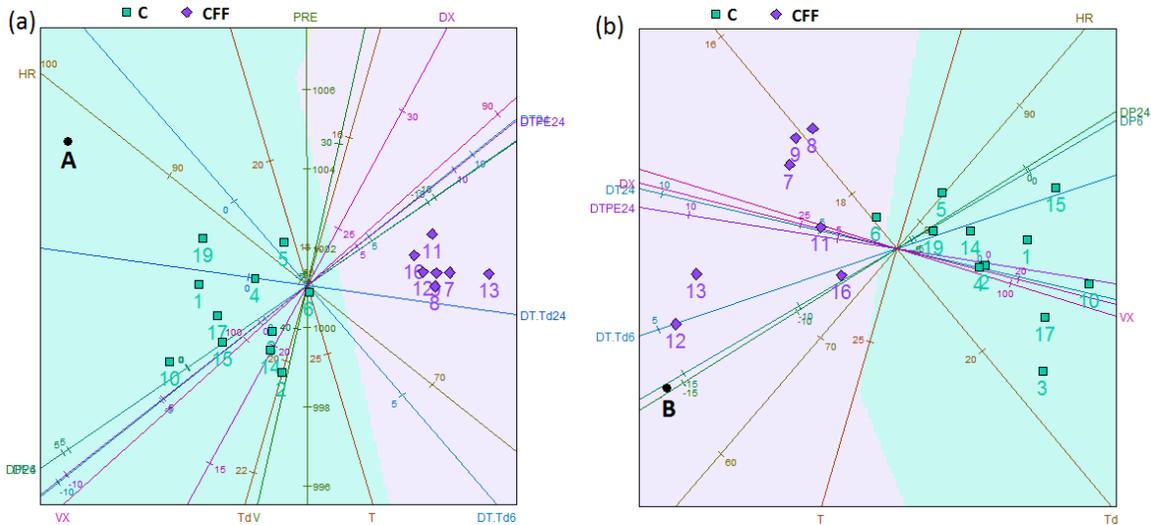
- 728 Seluchi, M. E. y Saulo, A. C., 2012. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco:
 729 caracterísitcas, diferenças e semelhanças. Revista Brasileira de Meteorologia, 27, 1, 49 –
 730 60.
- 731 Simiu, E. y Filliben, J. J., 1999. Design gust wind speeds in the United States. J. Struct.
 732 Eng. 125:1077-1080.
- 733 Solari, G., De Gaetano, P. y Repetto, M. P., 2013. Wind Loading and Response of
 734 Structures in Mixed Climates, In: Proceedings of The Eighth Asia-Pacific Conference on
 735 Wind Engineering, Chennai, India.
- 736 Torrielli, A., Repetto, M. P y Solari, G., 2011. Long-term simulation of the mean wind
 737 speed. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 90, 1139 – 1150.
- 738 Twisdale, L. A. y Vickery, P. J., 1992. Research on thunderstorm wind design parameters.
 739 J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 41, 1-3, 545 – 556.
- 740 Vallis, M. B. y Loredou-Souza, A. M., 2018. Identification and classification of synoptic and
 741 non-synoptic extreme events. Actas de las XXXVIII Jornadas Sudamericanas de
 742 Ingeniería Estructural, Lima, Perú. 24 pp.
- 743 Vidal, L. 2014. Convección extrema sobre Sudamérica: estructura interna, ciclos de vida e
 744 influencia de la topografía en la iniciación. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas
 745 y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Argentina. 275 pp.
- 746 Viollaz, A. J., Riera, J. D. y Reimundin, J. C. 1975. Estudio de la distribución de
 747 velocidades máximas de viento en la República Argentina, Informe I-75-1, Laboratorio
 748 de Ensayos de Estructuras, Instituto de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas y
 749 Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- 750 Viollaz, A. J. 1997. Estimación de las velocidades de recurrencia de vientos en la República
 751 Argentina, Informe Técnico, Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de
 752 Seguridad para las Obras Civiles, Buenos Aires, Argentina.
- 753 Zipser, E.J., Cecil, D.J., Liu, C., Nesbitt, S.W. y Yorty, D.P. 2006. Where are the most
 754 intense thunderstorms on Earth? Bulletin of the American Meteorological Society87:
 755 1057 – 1071.

756

757

758 Figuras y Tablas

759



760

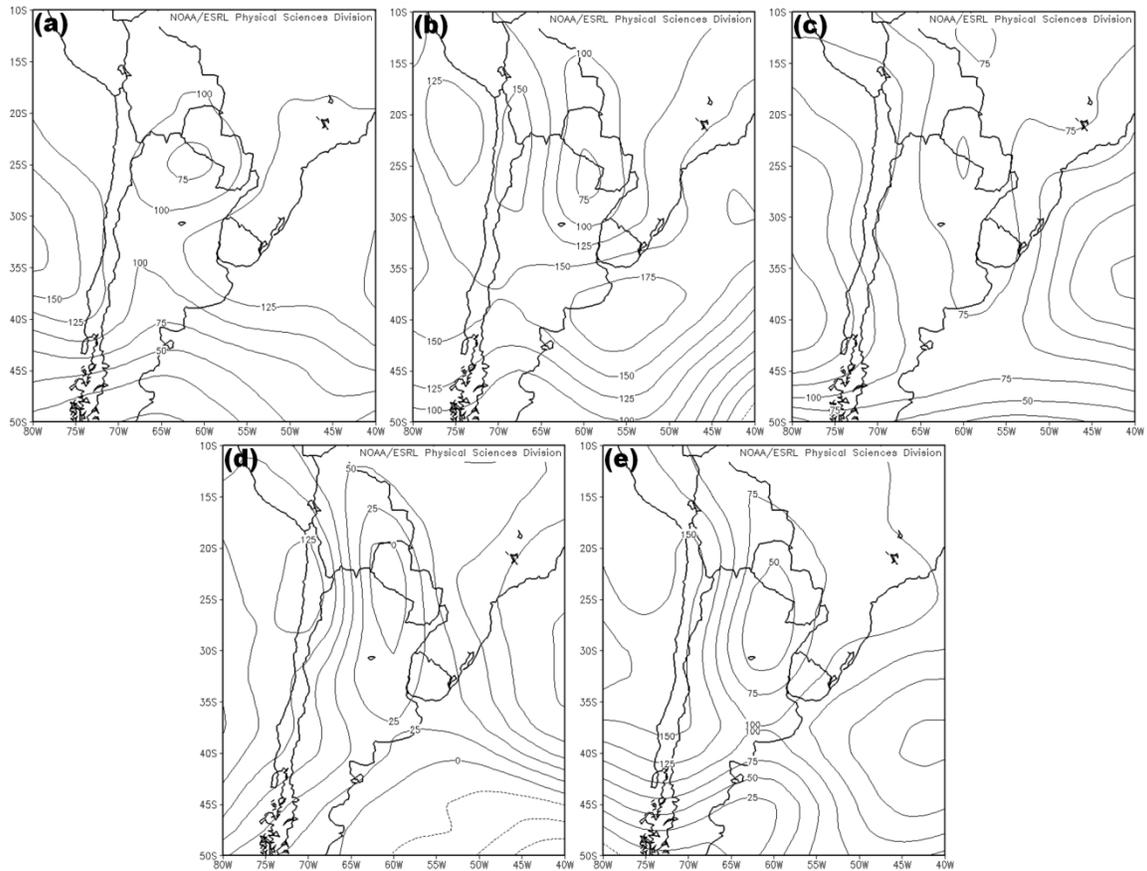
761 Figura 1: Ejemplo de posición en el plano principal de una fecha (individuo) que no
 762 pertenece a la muestra de entrenamiento. (a) **A** corresponde al 3/11/1978 a las 09:00 hs
 763 que está posicionado en la región *C*; y (b) **B** el 28/08/2002 a las 19:00 hs que pertenece a la
 764 región de clasificación *CFF*. El cambio en la posición de los ejes multivariados y la región
 765 clasificatoria se debe al cambio de las cargas en los ejes que introduce el nuevo individuo.

766

767

768

769



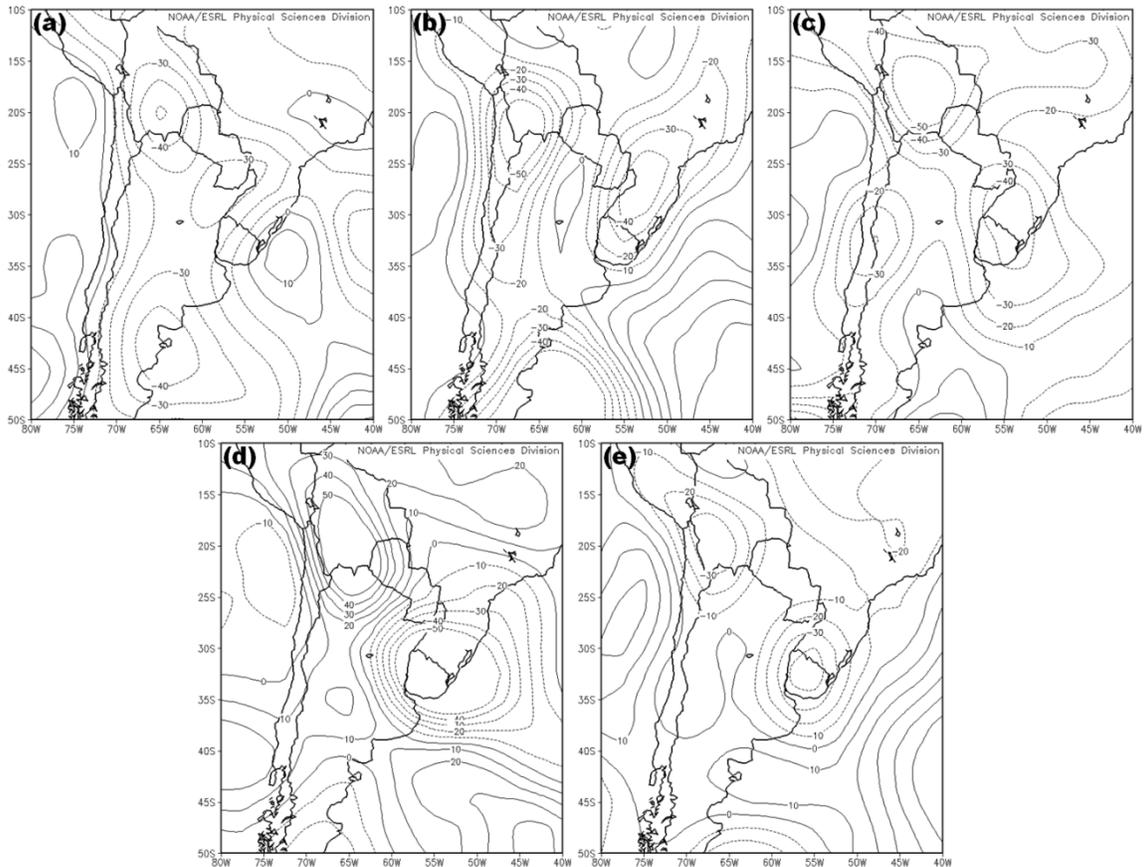
770

771 Figura 2: Altura geopotencial (m) del nivel de 1000 hPa. (a) 14/03/1972 15:00 hs, (b)
772 03/11/1978 09:00 hs, (c) 23/03/1990 15:00 hs, (d) 28/04/1992 21:00 hs, (e) 28/11/1994
773 09:00 hs.

774

775

776



777

778

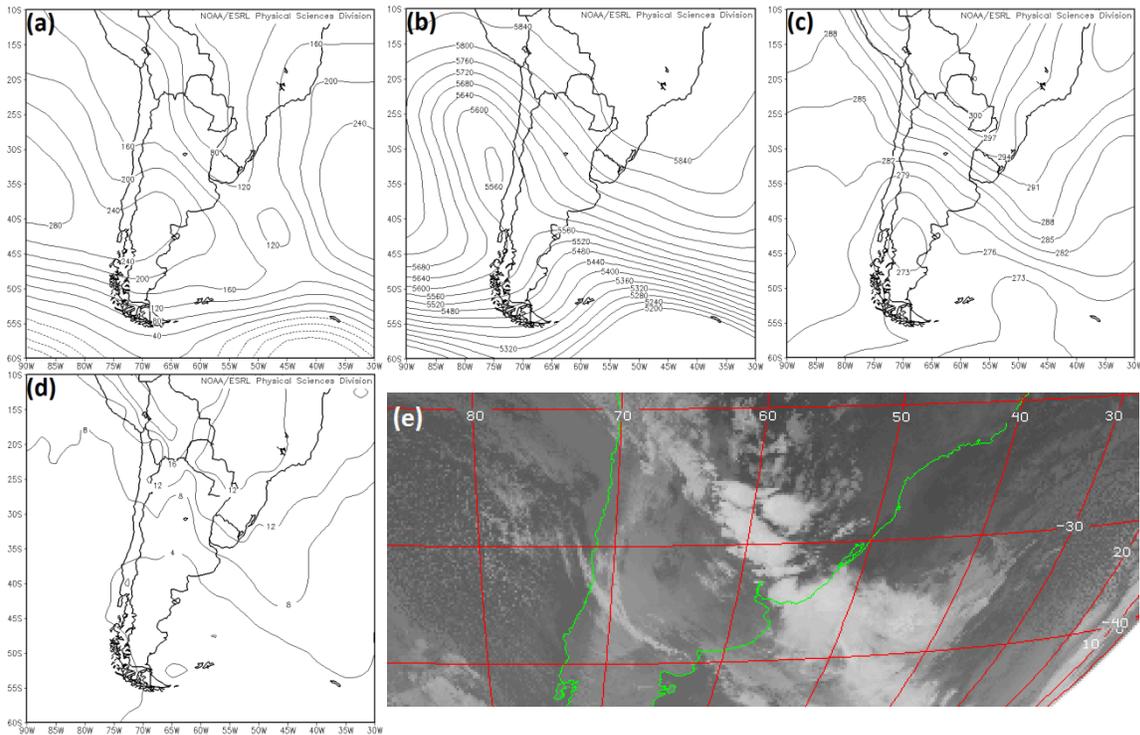
779 Figura 3: Variación (metros) en 12 horas de la altura geopotencial del nivel de 925 hPa. (a)
780 14/03/1972 diferencia entre las 21:00 y las 09:00 hs, (b) 03/11/1978 diferencia entre 15:00
781 y 03:00 hs, (c) 23/03/1990 diferencia entre 21:00 y 09:00 hs, (d) 28/04/1992 diferencia
782 entre las 09:00 hs del 29 y las 21:00 hs del 28, (e) 28/11/1994 diferencia entre 15:00 y las
783 03:00 hs.

784

785

Artículo en edición

786



787

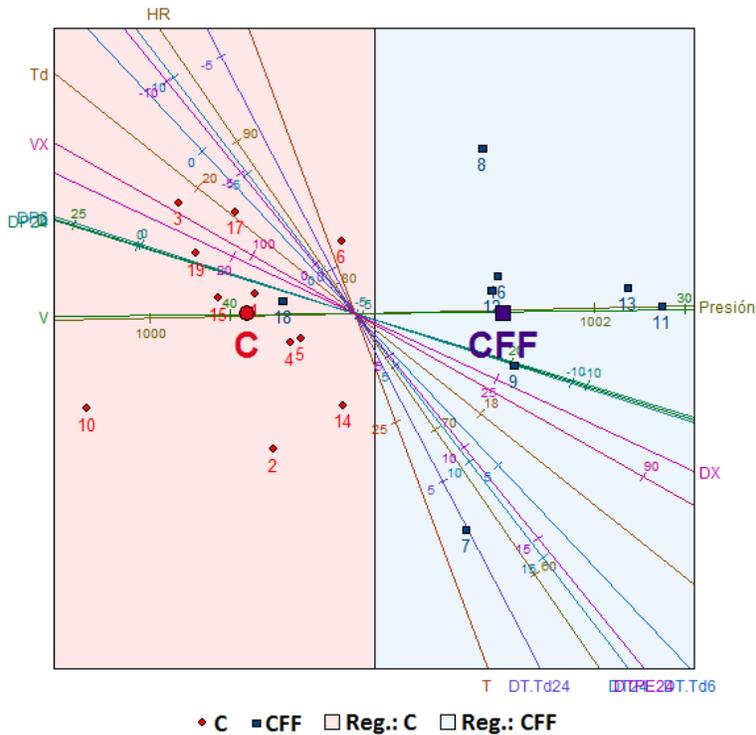
788

789 Figura 4: Campos correspondientes al 1° de Septiembre de 2010 a las 03:00 hs. (a) altura
 790 geopotencial (m) del nivel de 1000 hPa, (b) altura geopotencial (m) del nivel de 500 hPa,
 791 (c) temperatura (K) en 1000 hPa, (d) humedad específica (g vapor de agua/kg aire) en 1000
 792 hPa, (e) imagen infrarroja del satélite GOES13 (canal 4) de las 00:00 hs.

793

Artículo en edición

800



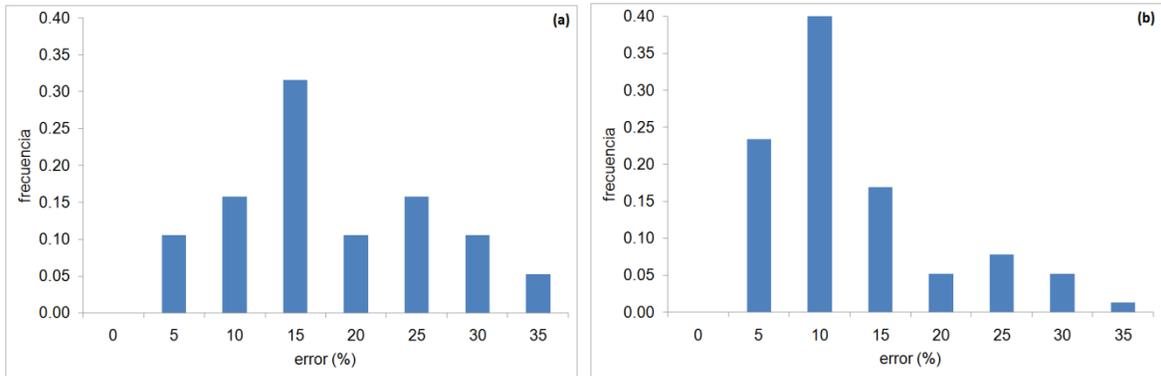
801

802 Figura 6: Posición en el plano principal de las fechas de la muestra de entrenamiento en
 803 función de los ejes multivariados. Sombreado cada una de las regiones de clasificación. Los
 804 números corresponden a los de la 1ª columna de la Tabla 1. La posición media en el plano
 805 principal de cada grupo se indica con *C* de convección no asociada y *CFF* de convección
 806 asociada al pasaje de un sistema frontal frío.

807

808

809



810

811 Figura 7: Distribución del valor absoluto del error relativo porcentual cometido con el
812 método del ADC. (a) Muestra de entrenamiento. (b) Muestra total.

813

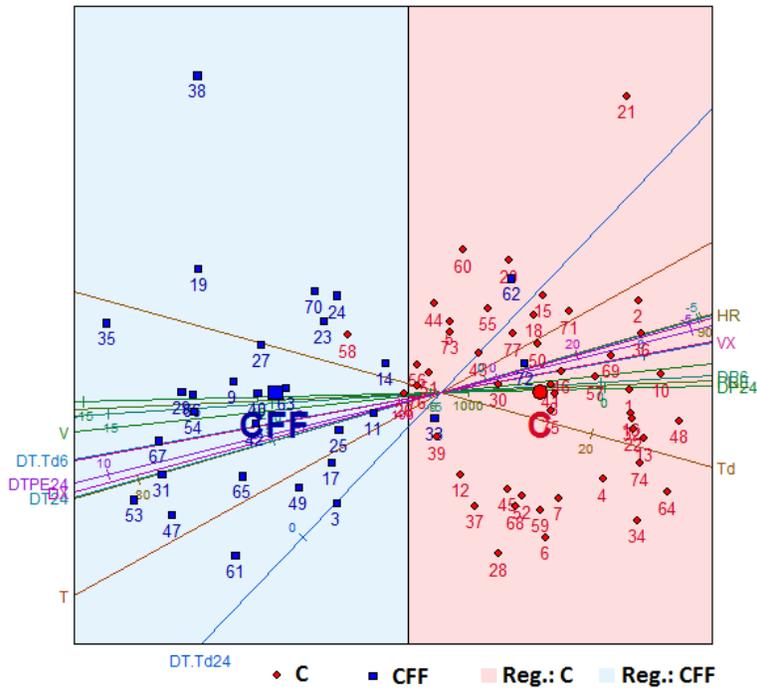
814

Artículo en edición

815

816

817



818

819 Figura 8: Posición en el plano principal de las fechas de la muestra superestación y ejes
820 canónicos multivariados predictivos. Sombreado la región de cada clase. Los números
821 corresponden a los de la 1ª columna de la Tabla 3. La posición media en el plano principal
822 de cada grupo se indica con *C* de convección y *CFF* para convección asociada a un frente
823 frío y sus valores se muestran en la Tabla 4.

824

825

Artículo en edición

826

Nº	Clase	Fecha	Hora	Descripción
1	C	17/02/2004	12	BNA extendida, inestabilidad ($LI < - 4 K$)
2	C	06/04/2004	23	BNA extendida, inestabilidad ($LI < - 4 K$), flujo del norte en niveles bajos
3	C	16/12/2005	18	BNA extendida hacia el este, flujo del norte en capas bajas, inestabilidad ($CAPE > 1500 J/kg$)
4	C	25/08/2006	22	BNA extendida hacia el sudeste, depresión relativa ubicada en las localidades estudiadas la madrugada del día 26 ,flujo norte intenso en niveles bajos ($V > 15 m/s$)
5	C	02/12/2006	21	BNA extendida hacia el este, flujo del norte en capas bajas, inestabilidad ($CAPE > 3000 J/kg$)
6	C	21/10/2007	2	BNA, flujo del noreste, inestabilidad ($CAPE > 2500 J/kg$)
7	CFF	12/08/2008	5	Gradiente horizontal de presión por anticiclón post frontal, Frente frío pasa a las 03 hs, convergencia en capas bajas
8	CFF	22/10/2008	5	Frente Frío, depresión relativa ubicada en las localidades estudiadas a las 03 hs, inestabilidad ($CAPE > 1500 J/kg$)
9	CFF	04/04/2009	13	Frente Frío, convergencia en capas bajas
10	C	26/12/2009	20	Centro y norte de Argentina dominado por sistema de baja presión térmico, fuerte inestabilidad especialmente a las 18 hs ($CAPE > 4000 J/kg$)
11	CFF	1/09/2010	0	Frente Frío, BNA extendida al sudeste y Anticiclón en el Océano Atlántico producen flujo del noreste en capas bajas
12	CFF	17/09/2011	3	Frente Frío, BNA extendida hacia el este (conectadas BNOA y BCH), depresión relativa ubicada en las localidades estudiadas a las 03 hs
13	CFF	30/11/2011	10	Fuerte gradiente horizontal de presión por Anticiclón en el centro del país y baja migratoria al este de Uruguay, Frente Frío
14	C	11/01/2012	17	BNA extendida hacia el este, convergencia en capas bajas, inestabilidad ($CAPE < 2000 J/kg$)
15	C	29/11/2012	2	BNA, inestabilidad ($LI < - 3 K$)
16	CFF	24/10/2013	3	Frente Frío, gradiente horizontal de presión por anticiclón post frontal ubicado en el centro del país, convergencia en capas bajas
17	C	31/10/2013	1	Flujo del noreste penetra hasta el norte de la Patagonia, profunda y extendida BNA e intenso Anticiclón en el Océano Atlántico, inestabilidad ($LI < - 4 K$)
18	CFF	08/01/2014	0	Frente Frío, convergencia en capas bajas
19	C	02/09/2014	6	BNA extendida hacia el este, flujo del norte en capas bajas, inestabilidad ($LI < - 4 K$; $CAPE < 2000 J/kg$)

827 Tabla 1: Clasificación de las fechas del grupo de entrenamiento. La enumeración de la
 828 primera columna corresponde a los puntos-individuos de la Figura 6. El horario de
 829 ocurrencia es en hora local. BNA: Sistema de baja presión en el norte del país. BNOA: Baja
 830 del Noroeste Argentino. BCH: Baja del Chaco. CFF: Convección asociada a Frente Frío.
 831 CAPE: Convective Available Potential Energy, LI: Lifted Index. V: vector velocidad en el
 832 nivel de 925 hPa

833

834

Variable	Media Grupo C	Media Grupo CFF
T (K)	23,4	23,8
Td (K)	19,4	17,7
HR (%)	81,5	73,9
PRESIÓN (hPa)	1000,4	1001,5
D (°)	240	180
V (m s ⁻¹)	11,0	9,8
DP24 (hPa)	-2,6	-8,9
DP6 (hPa)	-2,7	-9,1
DT24 (K)	-0,4	6,5
DT-Td6 (K)	1,7	3,6
DT-Td24 (K)	0,03	2,3
DTPE24 (K)	-0,2	7,2
DX (°)	240	180 - 240
VX (m s ⁻¹)	27,6	26,2

835 Tabla 2: valores medios de las variables de cada uno de los grupos de la muestra de
 836 entrenamiento. En las direcciones del viento se muestra la más frecuente y no el promedio.
 837 *D* y *V*, dirección e intensidad del viento horario y *DX* y *VX* los correspondientes a la RMA.

838

839

Artículo en edición

840

Nº	Tipo	Fecha	Hora											
1	C	20/12/1968	9	R	27	CFF	25/07/1987	23	R	54	CFF	22/12/2003	8	R
2	C	07/01/1969	21	C	28	C	22/10/1988	16	R	55	C	17/02/2004	12	R
3	CFF	18/09/1970	21	C	29	CFF	20/11/1988	21	C	56	C	06/04/2004	23	C
4	C	11/12/1970	3	R	30	C	03/02/1989	7	R	57	C	16/12/2005	18	C
5	C	11/11/1971	15	R	31	CFF	09/04/1989	21	C	58	C	25/08/2006	22	C
6	C	14/03/1972	15	R	32	C	23/03/1990	14	R	59	C	02/12/2006	21	R
7	C	10/01/1973	21	C	33	CFF	12/12/1991	1	R	60	C	21/10/2007	2	R
8	C	10/10/1973	15	R	34	C	19/12/1991	21	C	61	CFF	12/08/2008	5	R
9	CFF	29/10/1974	3	C	35	CFF	28/04/1992	21	C	62	CFF	22/10/2008	5	C
10	C	02/03/1975	3	C	36	C	02/05/1993	12	C	63	CFF	04/04/2009	13	C
11	CFF	08/11/1975	21	R	37	C	28/11/1994	10	C	64	C	26/12/2009	20	R
12	C	15/12/1976	21	R	38	CFF	09/01/1995	7	C	65	CFF	01/09/2010	0	C
13	C	31/12/1976	21	C	39	C	01/12/1995	2	R	66	CFF	17/09/2011	3	C
14	CFF	27/11/1977	9	C	40	CFF	05/10/1996	2	C	67	CFF	30/11/2011	10	R
15	C	03/11/1978	9	C	41	C	26/12/1996	0	R	68	C	11/01/2012	17	R
16	C	09/12/1979	2	R	42	CFF	19/04/1997	14	R	69	C	29/11/2012	2	C
17	CFF	10/02/1980	6	R	43	C	12/11/1997	7	C	70	CFF	24/10/2013	3	C
18	C	25/10/1981	0	R	44	C	18/02/1998	4	C	71	C	31/10/2013	1	R
19	CFF	14/12/1981	21	C	45	C	23/11/1998	23	R	72	CFF	08/01/2014	0	C
20	C	12/09/1982	4	R	46	C	22/02/1999	19	C	73	C	02/09/2014	6	R
21	C	19/01/1983	15	C	47	CFF	28/06/1999	13	R	74	C	19/09/2015	12	C
22	C	24/01/1983	3	R	48	C	12/01/2000	4	R	75	C	13/12/2015	3	R
23	CFF	17/10/1984	8	R	49	CFF	23/11/2000	23	C	76	C	26/02/2016	21	R
24	CFF	18/05/1985	21	C	50	C	24/09/2001	8	C	77	C	12/10/2016	22	C
25	CFF	12/01/1986	15	C	51	C	15/11/2001	23	R					
26	C	11/03/1986	9	R	52	C	08/04/2002	7	R					
					53	CFF	28/08/2002	19	C					

841 Tabla 3: Clase de evento que produjo la RMA registrada. La 1º columna indica la
 842 numeración utilizada en la Figura 8, la 2º columna el resultado de la clasificación: *C* es
 843 evento convectivo no producido por el pasaje de un frente frío y *CFF* es convección
 844 asociada a un sistema frontal frío, luego están la fecha y hora y por último, en la 5º columna
 845 la estación meteorológica, R de Resistencia y C de Corrientes.

Artículo en edición

846

Variable	Media Grupo C	Media Grupo CFF
T (K)	22,3	23,3
Td (K)	20,1	19,6
HR (%)	88,2	82,9
PRESIÓN (hPa)	1000,9	998,0
D (°)	180	180
V (m s ⁻¹)	9,4	9,6
DP24 (hPa)	-1,6	-10,0
DP6 (hPa)	-1,6	-10,5
DT24 (K)	-1,5	5,2
DT-Td6 (K)	0,2	1,5
DT-Td24 (K)	-1,6	-0,7
DTPE24 (K)	-1,3	6,1
DX (°)	240	180
VX (m s ⁻¹)	28,3	27,4

847 Tabla 4: Ídem Tabla 2 del total de los 77 casos.

848