

Artículo en edición

1 **ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE NIEBLA EN AEROPUERTOS**
2 **ARGENTINOS**

3
4 **Melina Sol Yabra^{1,2}, Ramón de Elía², Luciano Vidal² y Matilde Nicolini^{1,3,4}**
5

6 **¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias**
7 **Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.**

8 **²Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina**

9 **³Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET/FCEN-UBA, Buenos**
10 **Aires, Argentina.**

11 **⁴Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos,**
12 **CNRS/IRD/CONICET-UBA, Buenos Aires, Argentina.**

13
14 **Autor correspondiente: Melina Sol Yabra, myabra@smn.gob.ar**
15

16 Manuscrito recibido el 11 de febrero de 2022, en su versión final el 19 de julio de 2022
17

18 **RESUMEN**
19

20 Este trabajo presenta un estudio climatológico sobre niebla utilizando reportes aeronáuticos
21 horarios (METAR) para el período 2000-2019 en los siguientes aeropuertos con distintos
22 entornos geográficos: Ezeiza, Aeroparque, San Fernando, Mar del Plata, Rosario, Resistencia,
23 Iguazú, Córdoba, Neuquén, Bariloche, Río Gallegos, Río Grande, Ushuaia y Montevideo. Se
24 analizaron diferentes fuentes de datos (argentina SMN, española OGIMET y estadounidenses
25 NOAA y IEM) y se eligió la base NOAA por ser la más completa, robusta y que se extiende
26 por un mayor período de tiempo con el fin de construir las climatologías más representativas
27 de la realidad posibles. Los datos fueron analizados considerando las regulaciones
28 internacionales de la OACI a las observaciones meteorológicas y las prácticas de los
29 observadores meteorológicos en Argentina. Entre los resultados más destacables, se encontró
30 la mayor cantidad promedio de días por año con presencia de niebla en Mar del Plata, Ezeiza,

Artículo en edición

31 Río Grande y Montevideo (49,8, 49,1, 34,1 y 34,8 respectivamente) mientras que Neuquén,
32 Bariloche, Ushuaia y Aeroparque presentaron los menores valores (3,5, 4,4, 1,4 y 7,1
33 respectivamente). Se encontró un grupo de aeropuertos en los que las frecuencias de
34 ocurrencia tienen un ciclo diario con los mayores valores en horas cercanas al amanecer (15-
35 20%, 7 am) durante la mayor parte del año (Ezeiza, Mar del Plata, San Fernando, Córdoba,
36 Rosario, Montevideo) mientras que, en otro grupo, las frecuencias diarias no presentan un
37 rango horario predominante pero sí se encuentran mayormente en los meses invernales (Río
38 Gallegos, Río Grande, Aeroparque). El análisis climatológico de la dirección y velocidad del
39 viento se abordó considerando la infraestructura de los aeropuertos como la dirección de la
40 pista y la presencia de instrumental que permita operaciones con visibilidad reducida. En
41 particular, el primer grupo presentó un predominio de vientos calmos durante las horas de
42 visibilidad reducida, mientras que en el segundo predominaron los vientos leves y moderados
43 provenientes desde cuerpos de agua. Por último, se estudió la reducción de visibilidad por
44 niebla de forma simultánea en diferentes aeropuertos con el fin de establecer el impacto del
45 fenómeno en la logística de las aerolíneas en lo que respecta al uso de aeropuertos alternativos.

46

47 **Palabras clave:** niebla, visibilidad, METAR, climatología, aeronáutica

48

49 FOG CLIMATOLOGY IN ARGENTINA'S AIRPORTS

50

51 ABSTRACT

52

53 The main objective of this work is to present a climatology and characterization of fog and
54 mist periods over Argentinean airports with different geographical environments. Hourly
55 aeronautical reports, METAR, were used for the 20-year period corresponding to 2000-2019
56 at the following airports: Ezeiza, Aeroparque, San Fernando, Mar del Plata, Rosario,
57 Resistencia, Iguazú, Córdoba, Neuquén, Bariloche, Río Gallegos, Río Grande, Ushuaia and
58 Montevideo (Uruguay). Different data sources were analyzed (from the SMN, Argentina,
59 from OGIMET, Spain, and from NOAA and IEM, United States) and the NOAA data source
60 was selected for this study because it was found to be the most complete and extended one.

Artículo en edición

61 Data analysis was made considering international ICAO's regulations for meteorological
62 observations and the local meteorological observers' practices. The greatest mean number of
63 days per year with fog was found at Mar del Plata, Ezeiza, Río Grande and Montevideo
64 airports (49.8, 49.1, 34.1 y 34.8, respectively), whereas Neuquén, Bariloche, Ushuaia and
65 Aeroparque airports presented the lowest values (3.5, 4.4, 1.4 y 7.1, respectively). At some
66 airports (Ezeiza, Mar del Plata, San Fernando, Córdoba, Rosario, Montevideo) occurrence
67 frequencies had a daily cycle with larger values near dawn (15-20%, 7 am) during most of
68 the year, while at others (Río Gallegos, Río Grande, Aeroparque), even if mainly found
69 during the cold season, it did not present a predominant hourly range. Wind speed and
70 direction were analyzed and included with particular emphasis on the airport infrastructure
71 such as runways directions and landing instruments. The first mentioned airports presented
72 calm wind conditions linked to the presence of fog and mists. At the secondly mentioned
73 airports, weak and moderate winds were dominant and mostly from coastal directions. Lastly,
74 to measure the impact that fogs have on aviation logistics from airlines, frequencies of
75 simultaneous hours with reduced visibility due to fog in neighboring or alternative airports
76 were studied.

77

78 **Key Words:** fog, visibility, METAR, climatology, aviation.

79

80 1) INTRODUCCIÓN

81 La importancia de la meteorología para determinar las condiciones de vuelo fue puesta en
82 relevancia desde los inicios de la aeronáutica a principio del siglo XX (Dines, 1917) y
83 continúa en la actualidad con creciente atención (Cook y otros 2009; Rudra y otros 2015;
84 Gultepe y otros 2014a, b, 2017; entre otros). Entre las principales condiciones meteorológicas
85 que causan o contribuyen a los incidentes y accidentes en la aviación se encuentra la
86 reducción de visibilidad cerca de la superficie. Este efecto puede producir cuantiosas pérdidas
87 económicas debido a la cancelación, demora de vuelos, desvío hacia destinos alternativos y,
88 en los casos más adversos, puede producir incidentes que generen pérdidas materiales y
89 humanas. La reducción de visibilidad en los aeropuertos es frecuentemente causada por la
90 niebla y la precipitación (Tardif y Rasmussen, 2007; Gultepe y otros, 2009), pero también

Artículo en edición

91 puede ser causada por el polvo y la ceniza de origen volcánico (Hodges y Pu, 2015), humo
92 (Milke, 2000), arena (Nabavi, 2016), smog (White y Roberts, 1967), etc. De todos ellos, el
93 presente trabajo se concentrará en la niebla, fenómeno meteorológico ya definido como uno
94 de los más disruptivos del tránsito aéreo (Gultepe y otros, 2009).

95 A pesar del interés que han generado los eventos de niebla en actividades de investigación
96 meteorológica en el último medio siglo, todavía queda mucho por conocer sobre el fenómeno
97 y muchas necesidades a cubrir en lo que respecta a su previsibilidad (Tardif, 2017). Para la
98 industria de la aviación la reducción de visibilidad, a pesar de los progresos tecnológicos en
99 la navegación aérea (OACI, 2004), ha sido y todavía representa una perturbación importante
100 de las actividades normales. En las últimas dos décadas se han realizado varios estudios sobre
101 esta temática en distintos aeropuertos internacionales alrededor del mundo como Lisboa
102 (Teixeira, 2001), Nueva York (Tardif y Rasmussen 2007, 2008), Salónica (Stolaki y otros,
103 2009), París (Haeffelin y otros, 2010), Estambul (Tuncay Özdemir y otros, 2016), México
104 (González-Viveros y otros, 2018), Nueva Delhi (Kulkarni y otros, 2019), Maceio (Fedorova
105 y otros, 2013) y Porto Alegre (Afonso y otros, 2019).

106 Aun cuando la reducción de visibilidad por niebla o neblina trae grandes complicaciones a la
107 actividad aeronáutica, en la Argentina la investigación de este fenómeno es limitada a pocas
108 regiones (Quinteros de Menzies y Obertello, 1972; Piccolo, 1983; Schonholz, 2014; Vasques
109 Ferro y Ribero, 2015; Ruiz y otros, 2018; Lapido, 2019). Recientemente, Yabra y otros
110 (2021a) resumieron los trabajos nacionales realizados previamente sobre la formación de
111 niebla en los aeropuertos, y los complementaron con entrevistas a pronosticadores
112 aeronáuticos con el fin de revelar conocimientos adquiridos en la experiencia que no hayan
113 sido consolidados en textos. De esta forma, se generó una base de conocimientos en esta
114 temática, que permitió circunscribir las lagunas de entendimiento y los hipotéticos
115 mecanismos que dan lugar a la reducción de visibilidad por niebla en los respectivos
116 aeropuertos. Dicha información recolectada fue contrastada con los resultados arrojados a
117 partir de un estudio climatológico preliminar apoyando varias de las ideas previamente
118 planteadas (Yabra y otros, 2021b, c).

119 Para continuar con la caracterización de los eventos de visibilidad reducida por niebla, el
120 objetivo de este trabajo es presentar un estudio climatológico que resuma las principales

Artículo en edición

121 características del fenómeno en aeropuertos con distintos entornos geográficos (continental,
122 costero, con topografía compleja), utilizando reportes meteorológicos aeronáuticos de rutina.
123 Los aeropuertos que abarca este trabajo se muestran en la Figura 1 y fueron seleccionados
124 con base en la opinión de los pronosticadores aeronáuticos (Yabra y otros, 2021a) y las
125 climatologías aeronáuticas preliminares realizadas por el Servicio Meteorológico Nacional
126 (SMN). Para trabajar con este tipo de datos observacionales, es necesario realizar
127 previamente un análisis de los mismos considerando tanto las regulaciones que la
128 Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, por sus siglas en inglés) impone para
129 hacer las mediciones (OACI 2016a; OMM, 2014), como también las regulaciones argentinas
130 al trabajo de los observadores y pronosticadores (ANAC, 2022) con el objetivo de evitar
131 llegar a conclusiones erróneas.

132 El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se describen los datos
133 observacionales utilizados para el estudio climatológico, su disponibilidad y las
134 consideraciones necesarias para la comprensión de los resultados, así como también las
135 principales características de los aeropuertos seleccionados. La metodología empleada para
136 llevar a cabo el estudio climatológico se explica en la Sección 3 y en la Sección 4 se muestran
137 los resultados encontrados para todos los aeropuertos, concentrándose en algunos casos
138 específicos. Finalmente, en la Sección 5 se enumeran las conclusiones de este trabajo.

139

140 **2) DATOS Y METODOLOGÍA**

141 **2.1) METAR**

142 El Reporte Meteorológico Aeronáutico de Rutina (METAR, por sus siglas en inglés) es un
143 reconocido formato internacional que informa las condiciones meteorológicas del aeródromo.
144 Frecuentemente es utilizado tanto por pilotos y despachantes de vuelo, como parte de los
145 procedimientos previos al mismo, como también por investigadores al constituir una fuente
146 de datos meteorológicos horarios (Tuncay y otros, 2016). Estos reportes meteorológicos
147 fueron estandarizados por la OACI en 1968 para asegurar la uniformidad de formato en todo
148 el mundo (OACI, 2016a). De esta forma, los METARs contienen principalmente la siguiente
149 información en el orden indicado: identificación del tipo de informe, indicador de lugar, día
150 y hora considerando el Tiempo Universal Coordinado (UTC, por sus siglas en inglés) de

Artículo en edición

151 observación, dirección y velocidad del viento en la superficie, visibilidad, alcance visual en
152 la pista, tiempo presente, cantidad de nubes, tipo de nubes y altura de la base de las nubes,
153 temperatura del aire y del punto de rocío, presión atmosférica (Ver Apéndice A).

154 Una vez confeccionados por el observador meteorológico aeronáutico, los METARs, se
155 difunden hacia el SMN y luego en boletines de Información Operativa Meteorológica
156 (OPMET. OMM, 2015) en Formato IWXXM hacia los bancos internacionales de datos
157 designados por el Acuerdo Regional de Navegación Aérea (Brasilia, en el caso de Argentina.
158 OACI, 2010) a través del Sistema de Manejo del Mensaje Aeronáutico (AMHS, por sus siglas
159 en inglés) independiente de la conexión a Internet. Hasta el 2015 el SMN no contó con un
160 sistema de almacenamiento interno que permitiera disponer de antiguos reportes METAR (y
161 sus metadatos) provenientes de todas las históricas estaciones meteorológicas aeronáuticas.
162 Este hecho contribuyó a que, a diferencia de los datos de estaciones meteorológicas no
163 aeronáuticas, no exista en el SMN una única base de almacenamiento que reuniera todos los
164 datos de forma homogénea.

165 Para este estudio climatológico se utilizaron los reportes METAR provenientes de las
166 estaciones meteorológicas aeronáuticas de la red de observaciones de superficie del SMN
167 ubicadas en los aeropuertos seleccionados (Fig. 1), correspondientes al período 2000-2019 y
168 almacenados en la Base Integrada de Datos de Superficie (ISD, por sus siglas en inglés. Smith
169 y otros, 2011) del Centro Nacional de Información Ambiental (NCEI, por sus siglas en inglés)
170 de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés)
171 de Estados Unidos. Se eligió esta base de datos porque es la que contiene el período de
172 información más largo, a diferencia de otras bases como la propia del SMN (desde el 2016),
173 la base española OGIMET (desde el 2005) o la base Iowa Environmental Mesonet (IEM, por
174 sus siglas en inglés, desde el 2011; Todey y otros 2002), como se observa en la Figura 2.

175

176 **2.1.1) DISPONIBILIDAD DE LOS REPORTES METAR**

177 Si bien los datos utilizados fueron producidos desde la red de observación de superficie del
178 SMN y del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET), éstos fueron obtenidos desde
179 una base de datos externa a dichos organismos. Debido a esto, no es fácil atribuir la causa de
180 la falta de datos que podría tener su origen tanto en la medición y codificación por parte del

Artículo en edición

181 observador de turno, como también fallas en las comunicaciones, tanto internas como
 182 externas, que pueden darse dentro del circuito que atraviesan los reportes hasta formar parte
 183 de la base final de datos. Además, las fallas en la comunicación generan una pérdida casi
 184 instantánea de la información ya que los METARs del día remitidas con atraso de más de 18
 185 horas serán rechazadas por el banco OPMET (OACI, 2010). Un evento importante que puede
 186 haber jugado un rol en la falta de datos en los primeros años de este siglo es la transición que
 187 sufrió el SMN a partir del 1 de enero del 2007 (Fig. 2a-c), donde la institución pasó de ser
 188 dependencia del Comando de Regiones Aéreas a cargo de la Fuerza Aérea Argentina, a la
 189 actual Secretaría de Investigación, Política Industrial y Producción para la Defensa del
 190 Ministerio de Defensa de la Nación (Decreto N° 1689/2006).

191 Por otro lado, existe una variación con los años de las horas con reportes en cada uno de los
 192 aeropuertos. Por ejemplo, la reducción de las horas nocturnas de medición entre las 20 y 6
 193 hora oficial argentina (HOA UTC-3) a partir del 2001 y la ampliación de las mismas a partir
 194 del año 2013 (Fig. 2a-c) es seguramente atribuible a una sucesión de distintos Planes de Labor
 195 que son las regulaciones y requerimientos de los observadores meteorológicos aeronáuticos
 196 determinados por el SMN teniendo en cuenta las necesidades de las dependencias de los
 197 servicios de tránsito aéreo (ver Apéndice 1 en Yabra y otros, 2021b). La variación de los
 198 Planes de Labor condujo a períodos con reportes horarios distribuidos en diferentes horas del
 199 día y con variaciones interanuales en función de la evolución de uso de los aeropuertos.
 200 Lamentablemente no existe metadata sobre estos cambios en los Planes de Labor para
 201 asegurar que todo cambio que se aprecia sea únicamente resultado de modificaciones de
 202 dichos planes. Algunos de estos cambios pueden deberse a mejoras de Planes de Labor que
 203 originalmente solo emitían reportes trihorarios (en horas principales y secundarias) y/o
 204 reportes solamente activos en las horas en las que el aeropuerto estaba operativo. Estos
 205 cambios en el régimen horario de reportes tienen incidencia en el análisis de frecuencias de
 206 ocurrencia horarias. La Figura 3 muestra la cantidad de datos faltantes relativa a la cantidad
 207 que tendría que haber si se hubiesen efectuado las mediciones en cada una de las horas del
 208 día todos los días del año (365) durante todo el período de estudio (20 años). El aeropuerto
 209 de Río Grande (SAWE) es el que presenta mayor cantidad de datos faltantes en las horas
 210 nocturnas hasta el 2017 superando el 60% entre la 1 y las 6 HOA, asociada probablemente a

Artículo en edición

211 una operatividad del aeropuerto limitada a períodos diurnos. Este comportamiento también
 212 se encontró pero en menor medida en los aeropuertos de Ushuaia (SAWH), Bariloche
 213 (SAZS), Mar del Plata (SAZM), Neuquén (SAZN) y San Fernando (SADF). Estos últimos
 214 dos son los que tienen mayor cantidad de datos faltantes distribuidos en todas las horas del
 215 día y esto se debe a la ausencia o escasa cantidad de reportes durante años completos: del
 216 2005 al 2010 en el caso de Neuquén (SAZN), y del 2000 al 2009 en el caso de San Fernando
 217 (SADF). Los aeropuertos con menor cantidad de datos faltantes son Ezeiza (SAEZ),
 218 Resistencia (SARE), Cataratas del Iguazú (SARI), Río Gallegos (SAWG) y Montevideo
 219 (SUMU).

220

221 **2.1.2) CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA LA UTILIZACIÓN DE METAR**

222 Para corroborar que se tratara de los mismos mensajes realizados por los observadores
 223 meteorológicos del SMN, se compararon los valores de visibilidad de ambas fuentes (NOAA
 224 y SMN) durante el año 2017 para el aeropuerto de Rosario y se encontró que, en efecto, los
 225 mensajes son idénticos. No obstante, algunos aspectos vinculados a la utilización de los
 226 reportes deben ser tenidos en cuenta para el análisis de los resultados:

227 a) Metadato. El METAR sólo informa el día y la hora UTC de validez del reporte, por
 228 ende, el mes y el año al que pertenecen deberá ser extraído del metadato siendo este de suma
 229 importancia a la hora de trabajar con períodos de varios años.

230 b) Medición de la visibilidad. El Anexo 3 (OACI, 2016a) comprende prescripciones
 231 tanto para las observaciones como para los pronósticos orientados a contribuir a la seguridad
 232 operacional en la navegación aérea. En Argentina las observaciones meteorológicas en
 233 aeródromos informan la visibilidad mínima, la cual se basa en la estimación de la mayor
 234 distancia visible en la dirección de menor visibilidad a partir de visualización de obstáculos
 235 de referencia preestablecidos para cada aeropuerto sin importar la dirección en la que se
 236 encuentre. Es importante notar que los obstáculos de referencia que utiliza el observador para
 237 medir dicha variable no son construidos con el propósito de esta medición, sino que consisten
 238 en estructuras elegidas ad hoc que responden a las características propias de cada aeropuerto.
 239 Este hecho conduce a una discretización de la medición de visibilidad (tanto en su
 240 variabilidad angular como en distancia) que no resulta uniforme dentro del mismo aeropuerto

Artículo en edición

241 y tampoco entre distintos aeropuertos. Una vez ya realizada la medición de visibilidad por el
242 observador meteorológico, esta deberá ser especificada en el reporte bajo el siguiente criterio:
243 cada 50 m cuando la visibilidad se encuentra entre 0 y 800 m; cada 100 m cuando la
244 visibilidad se encuentra entre 800 y 5000 m; cada 1000 m cuando la visibilidad se encuentra
245 entre 5000 y 10000 m. Todo valor observado que no corresponda a la escala de notificación
246 utilizada será redondeado hacia el incremento inferior más bajo de la escala (OACI, 2016a).

247 c) Precisión con que se reporta la temperatura del aire y la de punto de rocío. Si bien
248 estas variables son continuas, según la normativa del Anexo 3 (OACI, 2016a) sólo se reportan
249 sus partes enteras. Además de la información que se pierde al redondear estos valores, la poca
250 precisión puede conducir a cierto error en el cálculo de otros indicadores como, por ejemplo,
251 la humedad relativa (este error puede ser de hasta 7%, y su análisis se puede encontrar en
252 Yabra y otros, 2021b).

253 d) Medición sesgada de la dirección del viento. El Anexo 3 (OACI, 2016a) indica que
254 la dirección y la velocidad del viento de superficie se notificarán en escalones de 10 grados
255 angulares (°) y 1 kt, respectivamente, redondeado al escalón más próximo todo valor que no
256 se ajuste a dicha escala. En los aeropuertos que no cuentan con Sistemas Automáticos de
257 Observación Meteorológica (AWOS, por sus siglas en inglés), estas mediciones son
258 realizadas por el observador utilizando el anemómetro y la veleta que se dispone en cada
259 estación aeronáutica. En estos casos, la medición de la dirección del viento puede verse
260 sesgada por diferentes factores. Por un lado, la utilización de una escala de redondeo del valor
261 por parte del observador que fuera distinta a la establecida en la normativa, por ejemplo, en
262 intervalos de 45° conduciendo a la falta de precisión de las coordenadas. Por otro lado, la
263 ondulación del terreno (Carrera y otros, 2009) o la existencia de construcciones cercanas a la
264 estación meteorológica podría obstaculizar la circulación del viento y producir datos
265 fuertemente sesgados en dirección y velocidad. En este caso, dichos datos conducirían a
266 formular conclusiones erróneas respecto de, por ejemplo, la advección de humedad que daría
267 lugar a la formación de niebla.

268 e) Inconsistencias en el tiempo presente. Existe una gran cantidad de reportes donde el
269 tiempo presente, o bien falta, se encuentra mal codificado o contradice otras observaciones
270 en el METAR. En particular, la diferencia entre reportar niebla o neblina radica en si el valor

Artículo en edición

271 de la visibilidad es menor a 1000 m o, mayor a 1000 m y menor a 5000 m, respectivamente
272 (OMM, 1966). Sin embargo, se encontraron reportes con niebla en el tiempo presente y
273 visibilidad mayor a 1000 m (0,2% del total de reportes, calculado con el cociente 14/7511),
274 y también numerosos reportes con neblina y visibilidad menor a 1000 m (10% del total,
275 calculado como el cociente 762/7511) como se muestra en la Tabla I para el aeropuerto de
276 Ezeiza. Particularmente se destaca la cantidad de horas con niebla (por tener visibilidad
277 menor a 1000 m) que fue reportada como neblina ya que representan el 19% de la cantidad
278 total de horas con niebla (calculados como el cociente 762/3934). En otros aeropuertos
279 también se encontraron estas últimas inconsistencias, pero con valores menores, por ejemplo,
280 4% en Córdoba y 2,5% en Aeroparque. A diferencia de estos, el aeropuerto de Bariloche se
281 destaca por tener el 56% de las horas con neblina reportadas como niebla. Esto tiene
282 incidencia a la hora de analizar el fenómeno que explica la reducción de visibilidad y definir
283 la metodología utilizada en este trabajo, y nos obliga a, o bien a tomar a una de las dos
284 informaciones contradictorias como verdadera, o a desecharlas (ver Sección 2.3).

285

286 2.2) AEROPUERTOS

287 Cook y otros (2009) cuantificaron el impacto de los factores meteorológicos en los retrasos
288 de los vuelos y encontraron que los factores contribuyentes dependen en gran medida del tipo
289 de aeropuerto. La gravedad del impacto que puede provocar la niebla recae en la
290 infraestructura y el instrumental que disponga, es decir, en la máxima categoría de
291 operaciones que se puedan llevar a cabo en dicho aeropuerto. Para ello, se deben tener en
292 cuenta varios aspectos (las condiciones meteorológicas, el instrumental meteorológico, la
293 infraestructura del aeropuerto, el instrumental de la aeronave, la capacitación de la tripulación)
294 y, en función de estos, se pueden clasificar los vuelos en visuales o instrumentales (ANAC,
295 2016). En un vuelo visual (VFR, por sus siglas en inglés), el piloto dirige su aeronave
296 manteniendo en todo momento contacto visual con el terreno. Para este tipo de vuelo el
297 mínimo meteorológico que se debe cumplir es 5000 m para la visibilidad. Los vuelos
298 instrumentales (IFR, por sus siglas en inglés) son aquellos que se pueden llevar a cabo en los
299 aeropuertos que disponen de infraestructura instrumental y por aviones y tripulaciones
300 preparados para utilizarlas, cuando la visibilidad se encuentra por debajo de 5000 m. Los

Artículo en edición

301 procedimientos y mínimos meteorológicos de visibilidad para las operaciones en las
 302 diferentes categorías se establecen para asegurar que se alcance un cierto nivel de seguridad
 303 en condiciones de visibilidad reducida asociadas con las operaciones en un determinado
 304 aeropuerto. En cuanto a las condiciones meteorológicas requeridas, se utilizan umbrales
 305 mínimos de visibilidad o de alcance visual en pista (RVR, por sus siglas en inglés, se define
 306 como la distancia a la cual el piloto de una aeronave que se encuentra sobre el eje de una
 307 pista puede ver las señales de superficie de la pista o las luces que la delimitan o que señalan
 308 su eje. OACI, 2016b). Según ANAC (2019a), las diferentes categorías (CAT) meteorológicas
 309 de operaciones en cada aeropuerto se determinan como I, II y III dependiendo de la
 310 adversidad de las condiciones bajo las que se puede operar. Los aeropuertos con CAT I
 311 pueden realizar operaciones cuando la visibilidad mínima es mayor a 800 m o RVR mayor a
 312 550 m, mientras que los aeropuertos con CAT III (A y B) pueden operar mientras que el RVR
 313 sea mayor a 200 m o incluso, con cualquier valor de RVR en el caso de CAT III C. Las
 314 categorías y los mínimos meteorológicos de los aeropuertos seleccionados para este trabajo
 315 fueron obtenidos de la Publicación de Información Aeronáutica (AIP) realizada por la
 316 Administración Nacional de Aviación Civil de Argentina (ANAC) y se encuentran detallados
 317 en el Apéndice B (<http://ais.anac.gov.ar/aip> accedido el 30/10/21).

318

319 **2.3) METODOLOGÍA**

320 Los reportes horarios METAR para todo el período y aeropuertos fueron descargados desde
 321 la fuente dentro de un archivo de texto que reúne toda la información meteorológica horaria
 322 disponible en cada aeropuerto y para cada año del período. A partir de cada archivo, los
 323 reportes fueron decodificados utilizando el módulo “Metar” desarrollado en lenguaje Python
 324 por Tom Pollard y disponible en GitHub (<https://github.com/tomp/python-metar> accedido el
 325 30/10/21). En este trabajo, como se propone realizar un estudio local dentro de un mismo
 326 país (con mismo huso horario) a excepción del aeropuerto de Montevideo (Uruguay), se
 327 realizó la conversión de todas las fechas a las correspondientes en HOA.

328 El foco de este estudio climatológico está puesto en los períodos con visibilidad reducida por
 329 niebla y neblina. Para analizar los períodos de niebla, se seleccionaron los reportes que
 330 indican visibilidad menor a 1000 m y niebla o neblina como tiempo presente (codificadas

Artículo en edición

331 como “FG” y “BR”, respectivamente), mientras que no incluya simultáneamente otro
 332 fenómeno que pueda disminuir la visibilidad (“reportes con niebla” en adelante). La
 333 justificación para incluir ambos fenómenos en el tiempo presente radica en las
 334 incongruencias encontradas entre la visibilidad y el tiempo presente, aspecto ya discutido en
 335 la sección 2. Para analizar los períodos de neblina, el criterio de selección es análogo pero la
 336 visibilidad reportada debe ser mayor o igual a 1000 m y menor a 5000 m (“reportes con
 337 neblina” en adelante). Según OMM (2008), un buen control de calidad de las observaciones
 338 que corresponden a nieblas y neblinas incluye la condición de superar el 90% de humedad
 339 relativa. La Figura 4 muestra las distribuciones de depresión de punto de rocío (D) para cada
 340 intervalo de visibilidad en horas con presencia de sólo niebla/neblina en el tiempo presente
 341 considerando todos los aeropuertos. Es importante mencionar que las variables expresadas
 342 con sus números enteros, como es el caso del METAR, sólo permiten una estimación
 343 aproximada de la real depresión del punto de rocío. Es decir, lo que aquí se define como $D =$
 344 0°C , es en realidad un número entre 0°C y $0,9^{\circ}\text{C}$. Por ejemplo, se podría tener $10,4^{\circ}\text{C}$ de
 345 temperatura y $9,5^{\circ}\text{C}$ de temperatura de punto de rocío, lo cual representa un $D = 0,9^{\circ}\text{C}$,
 346 mientras que calculado a partir del METAR daría $D = 0^{\circ}\text{C}$. A partir de la Figura 4, se puede
 347 ver que la mayor cantidad de casos ocurre con valores cercanos a la saturación, con depresión
 348 de punto de rocío menor a 2°C . Particularmente, el 75% de las horas con hasta los 3000 m
 349 de visibilidad tienen valores menores o iguales a 1°C cualquiera sea el fenómeno que esté
 350 obstruyendo la visibilidad. Como trabajos anteriores han notado (Isaac y otros, 2020; Zhang
 351 y otros, 2020), a simple vista se observa la compleja relación entre estas dos variables en las
 352 horas con niebla/neblina. Los valores de depresión mayores a 2°C con nieblas/neblinas son
 353 muy poco frecuentes para las horas con visibilidad menor a 5000 m. Estos casos pueden
 354 tratarse de tiempo presente mal codificado, es decir, que se hayan reportado nieblas o
 355 neblinas cuando el fenómeno que redujo la visibilidad haya sido otro (humo o calima, por
 356 ejemplo). Otro factor que puede estar influyendo en la relación entre visibilidad, depresión
 357 de punto de rocío y tiempo presente es la localización desde donde se ha realizado la medición
 358 de cada uno. Es decir, mientras que ambas temperaturas se miden in situ en la estación
 359 meteorológica aeronáutica, la obstrucción de visibilidad puede deberse a un banco de niebla
 360 que se encuentra entre el observador meteorológico y el obstáculo de referencia, pero no

Artículo en edición

361 sobre la estación. En este razonamiento, estas observaciones no refieren al mismo estado
362 local de la atmósfera. A raíz de esto, se eligió no utilizar la depresión de punto de rocío como
363 control de calidad de los datos. El criterio de selección de reportes con niebla o neblina se
364 restringe a los valores obtenidos de visibilidad y de tiempo presente con el objetivo de no
365 limitar por demás la cantidad de datos.

366 Algunos resultados de este trabajo son producto de la aplicación de promedios en diferentes
367 cantidades absolutas o proporciones. Para poder realizar la comparación de estos promedios
368 entre los distintos aeropuertos, es necesario conocer las medidas de la incertidumbre que
369 llevan asociadas en su estimación. Por esta razón, los resultados estadísticos que se describen
370 en la siguiente sección se informan en forma de intervalo de confianza utilizando la
371 metodología denominada “Wilson modificado por continuidad” con un 90% de confianza.
372 Para una discusión más detallada ver Wallis (2013).

373

374 **3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

375 **3.1) FACTORES CAUSANTES DE LA REDUCCIÓN DE VISIBILIDAD**

376 Tal como se mencionó en la Sección 1, la reducción de visibilidad puede deberse al efecto
377 de otro fenómeno meteorológico y, por lo tanto, resulta de interés comparar las frecuencias
378 de visibilidad reducida por niebla con las asociadas a otros factores meteorológicos tales
379 como los distintos tipos de precipitación o litometeoros. La Figura 5 muestra la cantidad total
380 de reportes METAR con visibilidad menor a 1000 m divididos según el tiempo presente para
381 el aeropuerto de Rosario. Los otros aeropuertos no son mostrados por presentar
382 comportamiento similar. La visibilidad reducida sin considerar el tiempo presente (Fig. 5a)
383 tiene un régimen de ocurrencia similar al mismo considerando sólo los reportes con niebla
384 (Fig. 5b), cuyos máximos se encuentran en las horas nocturnas y meses invernales. La
385 cantidad de reportes con visibilidad reducida por niebla es la que domina el comportamiento
386 de la frecuencia total lo cual otorga a este fenómeno un rol crucial dentro de las condiciones
387 meteorológicas necesarias para la navegación aérea. Por el contrario, la visibilidad reducida
388 por precipitaciones (Fig. 5c) además de obedecer a otra estacionalidad, representa una menor
389 proporción dentro del total de reportes. La reducción de visibilidad por presencia de
390 litometeoros (Fig. 5d) presenta una muy baja ocurrencia y sin ciclos aparentes, aunque

Artículo en edición

391 marginalmente más frecuente por la tarde que por la madrugada en Rosario. Particularmente,
 392 Aeroparque, Ezeiza, Rosario y San Fernando reportaron en reiteradas horas la presencia de
 393 humo debido a la quema de pastizales en el Delta. Por otro lado, Río Grande presentó
 394 reiterados eventos con litometeoros en suspensión durante los meses de febrero y marzo
 395 cuando el agua de la Laguna Seca (ubicada a 1,5 km al oeste del aeropuerto de Río Grande)
 396 desaparece por completo, y los fuertes vientos conducen a levantar nubes de polvo que suelen
 397 reducir la visibilidad sobre gran parte de la ciudad. En el caso de Bariloche y Neuquén, la
 398 reducción de visibilidad por presencia de litometeoros se debió principalmente a dos eventos
 399 de cenizas tras la erupción de los volcanes Puyehue en 2011 y Calbuco en 2015. Se
 400 encontraron considerables cantidades de reportes cuyo tiempo presente incluye niebla y
 401 algún tipo de precipitación (Fig. 5e) y, en aeropuertos como Río Grande, Córdoba y
 402 Aeroparque el patrón que presentan es similar al de los reportes con niebla o neblina, aunque
 403 su frecuencia es menor (Fig. 5b). Estos casos pueden deberse a la disminución de la
 404 visibilidad por la ocurrencia de precipitación y confundida con niebla o también a la
 405 formación de niebla producto de la condensación generada a partir de la saturación del aire
 406 tras la evaporación de la precipitación caída, dentro de la misma hora considerada para el
 407 reporte. Tal como se observa en el aeropuerto de Rosario, en los aeropuertos de Ezeiza y Mar
 408 del Plata también se encontraron escasos reportes nocturnos y cercanos a la hora del
 409 amanecer con visibilidad reducida, pero sin información del tiempo presente (Fig. 5f). Por el
 410 patrón que presentaron, similar al correspondiente a este fenómeno, se asume que en su
 411 mayoría fueron nieblas no reportadas, aunque no se consideran para el estudio climatológico.
 412

3.2) CARACTERÍSTICAS TEMPORALES DE LAS NIEBLA Y NEBLINA

414 La Tabla II muestra la cantidad promedio de días por año (considerando los años disponibles
 415 en cada aeropuerto) y promedio de horas por día con visibilidad reducida por niebla o neblina
 416 en cada aeropuerto. Para calcularlas se seleccionaron todos los reportes con niebla y con
 417 neblina como se describió en la Sección 2.3. La cantidad de días por año refiere a la cantidad
 418 de días con al menos un (1) reporte con el fenómeno mientras que la cantidad de horas por
 419 día equivale a la cantidad de reportes en cada uno de dichos días promediada por la cantidad
 420 total de días con niebla o neblina. Estas cantidades permiten tener una primera estimación de

Artículo en edición

421 la frecuencia de ocurrencia de este fenómeno en cada región. Es importante tener en cuenta
 422 que la comparación entre aeropuertos debe realizarse con cierta precaución ya que como se
 423 mostró en la Figura 2 la disponibilidad de datos es variada. Entre los aeropuertos con mayor
 424 cantidad promedio de días por año con presencia de niebla se encuentra el de Mar del Plata
 425 con 49,8 y Ezeiza con 42,1 días, mientras que los de Neuquén y Ushuaia presentaron las
 426 menores cantidades con valores de 3,5 y 1,4, respectivamente. El comportamiento de los días
 427 por año con neblina es análogo al de la niebla, pero sumando al aeropuerto de Montevideo
 428 dentro de los que más días por año tienen y Bariloche dentro de los que menos días por año
 429 tienen (71,9 y 9,3 días, respectivamente).

430 Respecto de la cantidad de horas por día, el caso más extremo es Ushuaia para los casos de
 431 niebla, en el cual esos 1,4 días tienen en promedio reducción de visibilidad por 4,75 horas,
 432 estimando la ocurrencia de niebla como recurrente dentro del mismo día (no se puede
 433 aseverar estimaciones sobre la duración de la niebla ya que el estudio no incluye el
 434 tratamiento de horas consecutivas de reportes con niebla). Por el contrario, en los días en que
 435 la visibilidad es reducida por neblina en el mismo aeropuerto, estos días tienen en promedio
 436 1,62 horas siendo el menor valor encontrado. Este estudio particular sobre la cantidad de
 437 horas por día con niebla o neblina tiene un carácter estimativo, ya que en la realidad los
 438 eventos de visibilidad reducida pueden ser una combinación de ambos fenómenos en horarios
 439 sucesivos y por ende, la cantidad de horas por día total podría ser mayor a la considerada
 440 individualmente para cada fenómeno. Seguido de Ushuaia, los aeropuertos de Ezeiza, Río
 441 Grande y Río Gallegos presentaron las mayores cantidades de horas por día con niebla (3,7,
 442 3,9, 3,7 horas, respectivamente), mientras que Aeroparque es el que presentó mayor cantidad
 443 de horas por día con neblina (3,51 horas).

444 La Figura 6 muestra los ciclos anuales (5a) y diarios (5b) de las frecuencias relativas de
 445 reportes con neblina para cada aeropuerto. Mientras que en aeropuertos continentales como
 446 Rosario, Ezeiza, Córdoba, Iguazú y Resistencia estos reportes son más frecuentes en las horas
 447 nocturnas y cercanas al amanecer, principalmente en la temporada fría, los aeropuertos
 448 costeros como Aeroparque, Río Gallegos y Río Grande, no presentan un rango horario
 449 definido siendo sus frecuencias cuasi-homogéneas a lo largo del día (recordar que Río Grande
 450 carece de más del 50% de los datos en las horas nocturnas). Particularmente, en los

Artículo en edición

451 aeropuertos de Iguazú y Resistencia cerca del 20% de los reportes con neblina se concentran
 452 a las 7 de la mañana, mientras que en Aeroparque y Río Grande, este porcentaje a dicha hora
 453 se reduce a la mitad ya que se encuentra distribuido durante un período de tiempo más largo
 454 y la comparación se invierte en las horas de la tarde. En los aeropuertos continentales, el
 455 mecanismo dominante en la formación de la niebla sería el enfriamiento radiativo nocturno
 456 de la superficie bajo condiciones anticiclónicas y vientos calmos, llamándose así “niebla
 457 radiativa” (Byers, 1960). Esta hipótesis ya fue aceptada en otros trabajos en los aeropuertos
 458 de Rosario (Lapido, 2019) y Ezeiza (Schonholz, 2015). En cambio, los aeropuertos costeros
 459 serían frecuentemente afectados en la temporada fría por la advección de masas de aire
 460 húmedas o bien de niebla ya formada proveniente de la superficie marina relativamente más
 461 cálida, llamándose “niebla advectiva” (Byers, 1960). Este resultado también ya fue expuesto
 462 en el trabajo de Vasques Ferro y Ribero (2015) enfocado en Aeroparque. También se
 463 encontraron diferencias entre aeropuertos con entornos geográficos similares. Por ejemplo,
 464 Mar del Plata y Montevideo se encuentran a poca distancia de la costa como Río Grande y
 465 Aeroparque, respectivamente, pero su régimen de ocurrencia se asemeja más al de los
 466 aeropuertos continentales. Yabra y otros (2021a) mencionaron que una posible justificación
 467 para este fenómeno se basa en la existencia de una zona boscosa entre la costa y el aeropuerto,
 468 imposibilitando o debilitando las advecciones desde esa dirección en el caso de Mar del Plata.
 469 En dicho trabajo, también se menciona la hipótesis en la que niebla radiativa formada tierra
 470 adentro hacia el noroeste, es advectada hacia este último aeropuerto cerca de la hora del
 471 amanecer. Por otro lado, los aeropuertos de Córdoba, Bariloche y Neuquén se localizan sobre
 472 regiones con terreno complejo (Ver Fig. 76 en Yabra y otros, 2021b). Mientras que los
 473 primeros parecieran estar dominados por el enfriamiento radiativo nocturno, el último
 474 pareciera tener otro mecanismo responsable de la formación de neblina que justifique el
 475 máximo de frecuencias en el mes de mayo. La extensión de las frecuencias horarias hasta el
 476 mediodía en Bariloche y Neuquén posiblemente esté influenciada por la fuerte estabilidad
 477 que se genera en los valles como consecuencia del flujo pendiente abajo de masas de aire
 478 frías, requiriendo de mayor radiación solar para romper dicha estabilidad y disipar la
 479 niebla/neblina (Pilié y otros, 1975).

480 Análogamente, se analizaron los ciclos anuales y diarios de las frecuencias relativas de

Artículo en edición

481 reportes con niebla para cada aeropuerto y se encontraron resultados similares (Fig. 7). Una
 482 de las diferencias más notables es la reducción de horas con máximas frecuencias de niebla
 483 en Bariloche y Neuquén que si bien alcanzan el mismo porcentaje entre las 8 y 9 de la mañana
 484 que en el caso de los reportes con neblina, el aumento de la frecuencia anterior a dicho
 485 máximo y la disminución posterior son más abruptos. Por otro lado, las frecuencias diarias
 486 de ocurrencia de neblina del aeropuerto de Iguazú presentaron un comportamiento similar al
 487 del aeropuerto de Resistencia. En cambio, las frecuencias de ocurrencia de niebla en dicho
 488 aeropuerto se encuentran más distribuidas durante todas las horas del día, aunque aumentan
 489 notablemente a partir de las 2 y conservan el máximo valor entre las 7 y 8 de la mañana.

490

491 **3.3) COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN PRESENCIA DE NIEBLA Y**
 492 **NEBLINA**

493 Las situaciones conducentes a niebla o neblina tienden en general a obedecer a situaciones
 494 sinópticas favorables bastante específicas incluidas la presencia de anticiclones en niveles
 495 bajos o ciclones con frentes cálidos, fríos o estacionarios asociados (Roach, 1995). Además
 496 de la indispensable humedad disponible en el aire, la intensidad y la dirección de los vientos
 497 en superficie pueden tener un rol fundamental. En lo que sigue se exploran las condiciones
 498 de viento para los casos de neblina o niebla concentrándose en dos aeropuertos con
 499 características peculiares.

500 La Figura 8 muestra las rosas de los vientos para los aeropuertos de Bariloche (arriba) y Río
 501 Grande (abajo). A la izquierda se muestran las rosas climatológicas utilizando todos los
 502 reportes disponibles (Fig. 8a y d), en el centro las rosas correspondientes sólo a aquellos
 503 reportes con neblina (Fig. 8b y e) y a la derecha correspondientes sólo a aquellos reportes
 504 con niebla (Fig. 8c y f). Como primer resultado, se puede ver que los vientos que acompañan
 505 la visibilidad reducida son muy distintos a los climatológicos, aunque ello es más notorio en
 506 el caso de Bariloche. En los reportes con neblina o niebla de este aeropuerto se encontró un
 507 porcentaje de calmas muy elevado superior al 50%, seguido de vientos leves (2 - 6 kt) y
 508 moderados (6 - 12 kt) provenientes mayormente del sector SE. Esta dirección ya había sido
 509 señalada en las hipótesis formuladas por los pronosticadores (Yabra y otros, 2021a). Este
 510 posible efecto estaría vinculado con la topografía, ya que hacia el sudeste existe una

Artículo en edición

511 pendiente pronunciada que podría estar favoreciendo el desarrollo de circulaciones locales
512 de mesoescala. El comportamiento del viento prácticamente no cambia en los reportes con
513 niebla, ya que el porcentaje de calmas se mantiene y la dirección predominante continúa
514 siendo el SE. El predominio de vientos calmos es una característica que también se observó
515 en la mayoría de los aeropuertos continentales como Rosario, Ezeiza, Resistencia, Córdoba,
516 Neuquén, y el caso más extremo, San Fernando. Este resultado refuerza la teoría sobre la
517 formación de “niebla radiativa” (Byers, 1960) en estos aeropuertos.

518 Por el contrario, en el aeropuerto de Río Grande en los reportes con neblina se encontró un
519 porcentaje de calmas poco mayor que la climatología, pero no predominante, seguido de
520 vientos moderados y fuertes (mayores a 12 kt) provenientes mayormente de las direcciones
521 comprendidas entre el NO y SE, dirección en la que se encuentra la costa del Mar Argentino
522 a 2 km. El comportamiento del viento cambia en los reportes con niebla, ya que el porcentaje
523 de calmas aumenta, no se observa ninguna dirección predominante, las velocidades
524 disminuyen, dominan los valores menores a 8 kt y casi no superan los 16 kt. Los vientos más
525 fuertes continúan proviniendo del mar, mientras que los leves y moderados provienen del
526 sector SO, región continental con cuerpos de agua poco profundos. Comportamientos
527 similares se encontraron en Aeroparque y Río Gallegos, aeropuertos que también se
528 encuentran cerca de la costa. En el aeropuerto de Mar del Plata, a pesar de su localización a
529 pocos kilómetros de la costa, se encontró que el viento que acompaña los reportes de
530 visibilidad reducida por niebla y/o por neblina tiene un comportamiento más parecido al de
531 Bariloche en cuanto al predominio de los vientos calmos, y nuevamente su patrón se asemeja
532 más al de la niebla radiativa que a la niebla advectiva.

533

534 3.4) OPERACIONES CON SISTEMAS DE ATERRIZAJE POR INSTRUMENTOS

535 A la hora de mejorar la infraestructura de un aeropuerto, no siempre se cuenta con los
536 recursos suficientes para optimizar todas las pistas en todas sus orientaciones, por lo cual en
537 Argentina, los Sistemas de Aterrizaje por Instrumentos (ILS, por sus siglas en inglés) son
538 generalmente instalados en una sola cabecera de la pista (a excepción de aquellos que poseen
539 CAT III). De acuerdo a la teoría de vuelo (ANAC, 2019c), las operaciones de despegue o
540 aterrizaje con viento en contra favorecen la sustentación ya que aumenta la velocidad relativa

Artículo en edición

541 de la aeronave respecto del viento y, de este modo, el avión consigue despegar o aterrizar en
542 menor distancia. La Figura 8 indica la orientación de la pista y sus cabeceras en el aeropuerto
543 de Bariloche y de Río Grande. Notar que los aviones pueden despegar o aterrizar en ambas
544 direcciones dependiendo de las condiciones meteorológicas y técnicas en las que se encuentre
545 el aeropuerto. El número que lleva la cabecera indica la orientación en la que se desplazan
546 las aeronaves sobre dicha pista. Por ejemplo, en la rosa de la Figura 8f, el número 07 refiere
547 a la orientación de la pista cuando el aterrizaje o despegue del avión comienza en el sector
548 sudoeste.

549 En Bariloche, el ILS permite llevar a cabo operaciones de vuelo IFR con CAT I cuando se
550 utiliza la cabecera 29 y se requiere de 800 m de visibilidad para poder aterrizar. La elección
551 de esta orientación se encontraría beneficiada por la dirección climatológica de los vientos
552 ya que predominan los vientos del ONO (Fig. 8), es decir, de frente al avión para los
553 despegues. No obstante, el comportamiento del viento durante las horas de visibilidad
554 reducida es contrario, con dirección dominante del ESE (Fig. 8), y esto podría derivar un
555 cambio de cabecera, pasando a ser la 11 la utilizada para los aterrizajes. Esta cabecera, al no
556 contar con ILS, requiere de al menos 1800 m de visibilidad para que los aviones puedan
557 aterrizar en esta orientación. Esto sugiere, que con respecto a las condiciones de falta de
558 visibilidad debido a niebla, el ILS presente en la pista no sería de utilidad en ciertas
559 circunstancias.

560 El caso del aeropuerto de Río Grande es análogo al de Bariloche, con ILS instalado para
561 permitir operaciones instrumentales por la cabecera 25 de forma solidaria a los vientos
562 climatológicos. Por el contrario, en horas de visibilidad reducida, en este aeropuerto se
563 encontraron vientos fuertes provenientes desde la dirección opuesta (entre N y E, Fig. 8e y
564 f). Estos vientos sí podrían conducir a la necesidad de utilizar la cabecera 07 tanto para
565 despegues como para aterrizajes y este cambio requeriría que la visibilidad reducida supere
566 el valor de 2700 m sobre la pista.

567

568 3.4) SIMULTANEIDAD Y PROBLEMÁTICA OPERATIVA

569 Para los pronosticadores responsables de actividades aeronáuticas, el problema más grave
570 respecto de la ocurrencia de visibilidad reducida recaería en la niebla persistente en el tiempo

Artículo en edición

571 (días enteros) y en la niebla generalizada que afecta tanto al aeropuerto principal como
572 también a todos los aeropuertos alternativos o cercanos (Yabra y otros, 2021a). En esta
573 instancia, este trabajo se concentra en el segundo caso. En el plan operacional de vuelo y en
574 el plan de vuelo ATS (Servicio de Tránsito Aéreo, por sus siglas en inglés) se seleccionan y
575 especifican al menos dos aeródromos de alternativa de destino cuando las condiciones
576 meteorológicas de visibilidad, a la hora prevista de su utilización, estarán por debajo de los
577 valores mínimos de operación del aeropuerto (llamado “condiciones de bajo mínimos”) o no
578 se dispone de información meteorológica en el aeródromo de destino (OACI, Anexo 6).
579 Dichos planes son establecidos por cada aerolínea según los convenios acordados con los
580 distintos aeropuertos. Por lo tanto, cada vuelo tiene predefinidos sus aeropuertos alternativos
581 para el caso en que el aeropuerto de destino se encuentre cerrado o saturado.

582 La exploración de la simultaneidad de eventos de niebla o neblina en diferentes aeropuertos
583 ofrece centenares de combinaciones posibles que podrían ser de sumo interés para casos
584 particulares. El presente trabajo se concentra, dentro del conjunto de aeropuertos analizados,
585 en aquellos con mayor cantidad de movimientos diarios y sus alternativos: Ezeiza,
586 Aeroparque, Montevideo y Córdoba. Considerando la mayor cantidad de movimientos
587 anuales (ANAC, 2019b), la situación más problemática sería el cese de operaciones por
588 condiciones de bajo mínimos en Aeroparque. Como la categoría de este aeropuerto con
589 respecto al tamaño de aeronaves que puede recibir (ver Apéndice B) es la menor con respecto
590 a los otros tres aeropuertos mencionados, los vuelos con este destino podrían operar en
591 cualquiera de los restantes siempre que éstos no estuvieran también en condiciones de bajo
592 mínimos. Notar que para este análisis no se consideran los mínimos meteorológicos de cada
593 aeropuerto sino que sólo se considera la presencia de niebla (visibilidad menor a 1000 m por
594 niebla o neblina) en cada uno. Las probabilidades de que esta última condición ocurra se
595 detallan en la Tabla III. Por ejemplo, dadas las condiciones en las que Aeroparque se
596 encuentra afectado por niebla, los aeropuertos que tienen mayor probabilidad de también
597 estarlo son Ezeiza (caso 1) y Montevideo (caso 2), con valores alrededor de 45% y 37%,
598 respectivamente. La Tabla III también nos muestra casos en que se den tres y cuatro
599 aeropuertos con niebla simultáneamente. Por ejemplo, la probabilidad de que haya niebla
600 simultáneamente en Ezeiza y Montevideo dado que hay niebla en Aeroparque (caso 4,

Artículo en edición

601 alrededor de 23%) es mayor que la probabilidad de que haya niebla en el aeropuerto de
602 Córdoba con la misma condición (caso 3, en torno al 6,7%).

603 Si se considera la mayor frecuencia de ocurrencia de niebla (Tabla II), la situación más
604 problemática sería el cese de operaciones en Ezeiza. Como su categoría es la mayor (ver
605 Apéndice B), no todos los vuelos van a poder ser desviados a los aeropuertos restantes,
606 particularmente a Aeroparque. Por otro lado, la problemática en el aeropuerto de Ezeiza
607 ocurre en condiciones extremas de baja visibilidad, ya que su mínimo es el menor de todos
608 los aeropuertos (200 m), por lo tanto, si se trata de una niebla generalizada espacialmente, es
609 probable que los aeropuertos cercanos (Aeroparque y Montevideo) también se encuentren
610 bajo mínimos y, por ende, cerrado para todo tipo de operaciones. Las probabilidades de que
611 otros aeropuertos se encuentren afectados por niebla dado que el aeropuerto de Ezeiza lo está
612 se detallan en la Tabla IV, junto con las probabilidades absolutas de que dichos aeropuertos
613 sean afectados por niebla. Se puede observar que los valores de las probabilidades
614 condicionales son notablemente inferiores a los correspondientes a la condición de niebla en
615 Aeroparque (Tabla III). Por ejemplo, la probabilidad de que haya niebla en el aeropuerto de
616 Ezeiza dado que hay niebla en Aeroparque es 45% pero, por el contrario, la probabilidad de
617 que haya niebla en Aeroparque dado que hay niebla en el aeropuerto de Ezeiza es 8%. Si bien
618 refieren a horas simultáneas de niebla (son 298 reportes en ambos casos), esta diferencia
619 entre ambas probabilidades condicionales se relaciona con la diferencia en la probabilidad
620 absoluta de ocurrencia, 6 veces más grande en Ezeiza respecto de Aeroparque. El aeropuerto
621 que tiene mayor probabilidad de estar afectado por niebla dado que el aeropuerto de Ezeiza
622 lo está, es el de Montevideo (alrededor del 22%) seguido de Aeroparque y Córdoba con
623 menos de la mitad de probabilidades (8% y 3,7%, respectivamente). La ocurrencia de niebla
624 en Ezeiza y Montevideo resulta problemática, ya que en ocasiones no todas las aeronaves
625 que allí operan pueden aterrizar en Aeroparque por el tamaño de las mismas o no pueden
626 aterrizar en Córdoba por no tener convenio comercial.

627

628 4) CONCLUSIONES

629 Este trabajo aborda la problemática de la visibilidad reducida por niebla en 13 aeropuertos
630 argentinos y 1 uruguayo desde un punto de vista climatológico. Para llevarlo a cabo se

Artículo en edición

631 analizaron 20 años (2000-2019) de reportes aeronáuticos horarios METAR, generados por la
 632 red de observaciones en superficie del SMN en el caso de Argentina y del INUMET en el
 633 caso de Uruguay, y almacenados en la base de datos ISD de la NOAA. Si bien se encontraron
 634 otras bases de datos que contenían esta información, se eligió dicha base ya que presentó el
 635 período más largo de reportes en el total de los aeropuertos seleccionados. La manipulación
 636 de este tipo de datos observacionales y su análisis junto con las normativas de la OACI,
 637 ANAC, el conocimiento de la lógica de los Planes de Labor de los observadores
 638 meteorológicos del SMN, junto a los usos y costumbres (desvíos establecidos a lo largo del
 639 tiempo de las sugerencias de OACI), permitió establecer una serie de consideraciones que
 640 deben tenerse en cuenta a la hora de analizar los resultados, ya que la lectura literal de éstos
 641 puede conducir a conclusiones erróneas. El criterio de selección de reportes METAR con
 642 nieblas y con neblinas permitió caracterizar la ocurrencia de estos fenómenos en los
 643 diferentes aeropuertos. Si bien en este trabajo sólo se consideró la visibilidad y tiempo
 644 presente en el desarrollo de dicho criterio, la cuantificación de la humedad será considerada
 645 para la selección de eventos de niebla/neblina en futuros estudios.

646 Primero, se estudió la influencia de la niebla dentro de otros fenómenos meteorológicos que
 647 pueden causar la reducción de visibilidad y, en efecto, se le atribuye la mayor cantidad de
 648 casos, seguido de la presencia de precipitación y de litometeoros. Dados los distintos entornos
 649 geográficos que presentan los aeropuertos seleccionados, se estudió la cantidad de días por
 650 año con niebla y neblina, y la cantidad de horas por día con dichos fenómenos. Los resultados
 651 mostraron un amplio abanico de valores entre los distintos aeropuertos. Los aeropuertos de
 652 Mar del Plata, Ezeiza, Río Grande y Montevideo fueron los que presentaron mayor cantidad
 653 de días con niebla y neblina por año, mientras que Ushuaia, Bariloche y Neuquén fueron los
 654 que menos días presentaron. Respecto de la cantidad de horas promedio en cada uno de esos
 655 días, Ushuaia, Ezeiza, Río Grande y Mar del Plata arrojaron la mayor cantidad promedio de
 656 horas por día con niebla, y Rosario, Aeroparque, San Fernando y Montevideo también lo
 657 hicieron pero en el caso de neblina. El análisis de la distribución anual y diaria de las
 658 frecuencias de ocurrencia mostró al menos dos patrones definidos. El primero, encontrado
 659 en los aeropuertos continentales como Ezeiza, Resistencia y Bariloche, concentra las
 660 máximas frecuencias en las horas cercanas al amanecer (entre 5 y 10 de la mañana) y en los

Artículo en edición

661 meses más fríos (entre mayo y agosto). El segundo, encontrado en los aeropuertos cercanos
662 a la costa Atlántica o del Río de la Plata como Aeroparque, Río Grande y Río Gallegos, no
663 presenta un determinado rango horario predominante pero sí es más frecuente en los meses
664 invernales. Aeropuertos como Mar del Plata o Montevideo aun siendo costeros, presentaron
665 patrones de ocurrencia más similares al de los aeropuertos continentales, y Neuquén presentó
666 una distribución anual con un inusual máximo en mayo que sólo fue encontrado en menor
667 medida en Bariloche.

668 Este trabajo se propuso enfocar el estudio climatológico de la niebla y neblina a las
669 necesidades que requieren las operaciones aeronáuticas. En este sentido, se realizaron
670 distintos análisis que relacionan los factores meteorológicos con la infraestructura de los
671 aeropuertos. Por un lado, se estudió el comportamiento del viento que acompaña a la
672 visibilidad reducida por estos fenómenos y se los comparó con el viento climatológico. En
673 aeropuertos como Bariloche, Río Gallegos y Río Grande, la dirección del viento durante la
674 reducción de visibilidad es distinta, y hasta opuesta a la climatológica. Por otro lado, se
675 relacionaron las posiciones de los ILS, que permiten el aterrizaje de aeronaves en condiciones
676 de baja visibilidad, junto con las componentes de viento en cada caso y se encontró que estos
677 instrumentos se encuentran instalados en las cabeceras de las pistas más utilizadas
678 considerando los vientos climatológicos. El viento presente en las horas de visibilidad
679 reducida, principalmente en el aeropuerto de Río Grande, indicaría utilizar la cabecera
680 opuesta para los aterrizajes, la cual no cuenta con instrumental y requiere de mayor
681 visibilidad para poder efectuarlo.

682 Por último, se trabajó con otra de las grandes problemáticas que tiene la meteorología
683 aeronáutica, mayormente vinculada al pronóstico y la elaboración de planes de vuelo, que es
684 la reducción de visibilidad de forma simultánea en aeropuertos cercanos o alternativos entre
685 sí. Para el análisis se seleccionaron los aeropuertos con mayores movimientos y sus destinos
686 alternativos: Aeroparque, Ezeiza, Montevideo y Córdoba. El aeropuerto con más
687 probabilidades de estar afectado por niebla cuando Aeroparque lo está es Ezeiza, mientras
688 que el aeropuerto con más probabilidades de estar afectado por niebla cuando Ezeiza lo está
689 es Montevideo. La inclusión de Córdoba disminuye las probabilidades de ocurrencia
690 simultánea de niebla respecto de los restantes aeropuertos, convirtiendo a este aeropuerto en

Artículo en edición

691 un destino alternativo factible en este aspecto. Estos resultados ilustran la complejidad a la
692 hora de determinar qué aeropuertos pueden ser los destinos alternativos de cada vuelo, en
693 caso de que a la hora del aterrizaje dicho aeropuerto se encuentre en condiciones de bajo
694 mínimos meteorológicos.

695 Este trabajo contribuye a una temática de fundamental importancia para las tareas operativas
696 de los aeropuertos y además constituye información básica para futuros desarrollos claves
697 para la industria. Un detallado conocimiento del fenómeno conducirá eventualmente a
698 mejoras en las técnicas de pronóstico y vigilancia aeronáutica, y por esta razón es necesario
699 continuar con el estudio de los mecanismos que intervienen en la formación, evolución y
700 disipación de las nieblas en Argentina.

701

702 **AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen a los expertos en la temática, observadores
703 y pronosticadores meteorológicos aeronáuticos del SMN y de Aerolíneas Argentinas, por los
704 aportes de sus conocimientos adquiridos en experiencia de la práctica operativa. Este trabajo
705 fue realizado en el marco de una Tesis Doctoral en Ciencias de la Atmósfera y los Océanos
706 de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina,
707 con sede en el SMN, y financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
708 Técnicas (CONICET) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación
709 Argentina.

710

711 **ANEXO A – CODIFICACIÓN DE REPORTES METAR**

712 Como ejemplo, en la Tabla V se puede ver la decodificación para el siguiente reporte con
713 visibilidad reducida por niebla, correspondiente al lunes 10 de mayo del 2021 a las 09:00
714 UTC en el aeropuerto de Ezeiza:

715 METAR SAEZ 100900Z 24003KT 1200 R11/1300N BR SCT001 BKN200 08/08 Q1021

716

717 **ANEXO B – INFRAESTRUCTURA DE LOS AEROPUERTOS**

718 Cuando se trata de operatoria, la comparación entre distintos aeropuertos debe incluir otros

Artículo en edición

719 aspectos que aumentan la complejidad. Es importante mencionar que, no todos los
720 aeropuertos cuentan con la infraestructura necesaria para la operatoria de todo tipo de
721 aeronaves. Por eso, en el Anexo 14 (OACI, 2018) se dispone otra categorización (Clave de
722 Referencia) de los aeropuertos de acuerdo a la longitud del campo de referencia del avión
723 (número del 1 al 4) y a la envergadura del avión (longitud entre los extremos de las alas) o
724 en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal (lo que dé el mayor
725 valor crítico, letra de la A a la F). Por campo de referencia del avión se refiere a longitud de
726 campo mínima necesaria para el despegue del avión con la masa máxima certificada para
727 esta operación al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero.
728 El propósito de la clave de referencia es proporcionar un método simple para relacionar entre
729 sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeropuertos, a fin
730 de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones
731 destinados a operar en ellos. La letra o número de la clave está relacionado con el mayor
732 campo de referencia y la mayor envergadura que puede tener una aeronave para que pueda
733 operar con dicha infraestructura aeroportuaria.

734 En la Sección 2 también se describe otra categorización de los aeropuertos respecto de la
735 mayor categoría de vuelos que pueden llegar a operar haciendo referencia al instrumental y
736 la infraestructura disponibles para el despegue, aterrizaje y traslados sobre las pistas en
737 condiciones adversas de visibilidad (diferentes umbrales de visibilidad mínima). La Tabla VI
738 muestra las categorías (<https://www.aa2000.com.ar/> accedido el 10/12/21) y los umbrales de
739 visibilidad mínima de cada cabecera (<http://ais.anac.gov.ar/aip> accedido el 30/10/21) de los
740 aeropuertos seleccionados para el análisis realizado en las Secciones 3.4 y 3.5.

741

742 REFERENCIAS

743 Afonso, J. M. S., Levit, V., Fedorova, N., 2019: Estudo de baixa visibilidade no aeroporto de
744 Porto Alegre: processos sinóticos e termodinâmicos. Revista Ibero Americana de Ciências
745 Ambientais, v.10, n.6, p.131-145, 2019. DOI: [http://doi.org/10.6008/CBPC2179-
746 6858.2019.006.0012](http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0012)

747

748 ANAC, 2016: Regulaciones argentinas de aviación civil (RAAC), parte 91: Reglas de vuelo

Artículo en edición

749 y operación general. 4ta edición. Fecha de efectividad de la presente: 16 de DICIEMBRE del
750 2016

751 [http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/raac/raac_vigentes/por_parte/parte-](http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/raac/raac_vigentes/por_parte/parte-91-r-1131-16.pdf)
752 91-r-1131-16.pdf

753

754 ANAC, 2019a: Publicación de Información Aeronáutica (AIP). Gen 4-Categorías de
755 actuación operacional en aproximaciones de precisión. Fecha de efectividad de la presente:
756 18 de JULIO de 2019. <https://ais.anac.gob.ar/descarga/aip-5ce6f78a42c55>

757

758 ANAC, 2019b: Anuario estadístico 2019.
759 <https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/article/055dd8be-984f-4c3cb2ae-ce5037902295>

760

761 ANAC, 2019c: Manual de piloto privado de avión.
762 [http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/aviaciongeneral/2019/manual-del-piloto-](http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/aviaciongeneral/2019/manual-del-piloto-privado-de-avi-n-2019-digital.pdf)
763 privado-de-avi-n-2019-digital.pdf

764

765 ANAC, 2022: Publicación de Información Aeronáutica (AIP). Gen 3.5-Servicios
766 Meteorológicos

767

768 Byers, H. R., 1960: General Meteorology. New York (McGraw-Hill), 3rd Edition, 1959. Pp.
769 x. 540; 223 Figs.; 10 Tables. 74s. Q.J.R. Meteorol. Soc., 86: 123-123.
770 <https://doi.org/10.1002/qj.49708636716>

771

772 Carrera, M. L., J. R. Gyakum, y C. A. Lin, 2009: Observational study of wind channeling
773 within the St. Lawrence River valley. J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 2341–2361.

774

775 Cook, L., B. Wood, A. Klein, R. Lee, and B. Memarzadeh, 2009: Analyzing the share of
776 individual weather factors affecting NAS performance using the weather impacted traffic
777 index. In AIAA 2009-7017. 9th AIAA aviation technology, integration, and operations
778 conference (ATIO), Hilton Head, SC, September 2009. <https://doi.org/10.2514/6.2009-7017>

Artículo en edición

779

780 Decreto 1689, 2016: Dispónese la transferencia del Servicio Meteorológico Nacional, al
781 ámbito de la Secretaría de Planeamiento del Ministerio de Defensa, a partir del 1° de enero
782 de 2007. Presidencia de la Nación Argentina. Firmado el 22/11/2006.
783 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/122437/norma.htm>

784

785 Dines, W. H., 1917: Meteorology and aviation. *Monthly Weather Review*, 45, 401.
786 [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1917\)45%3c401b:MAA%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1917)45%3c401b:MAA%3e2.0.CO;2).

787

788 Fedorova, N., Levit, V., Silva A.O., Santos D.M.B., 2013: Low Visibility Formation and
789 Forecasting on the Northern Coast of Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, 170(4), 689–709.

790

791 González-Viveros P., Caetano E., García-García F., 2018: Characterization and modeling of
792 fog in the Mexico basin. *AEROSOL AIR QUAL RES* 18 79-90.

793

794 Gultepe, I., G. Pearson, J.A. Milbrandt, B. Hansen, S. Platnick and P. Taylor, 2009: The fog
795 remote sensing and modeling (FRAM) field project. *Bulletin of American Meteorological*
796 *Society*, 90, 341–359. DOI: 10.1175/2008BAMS2354.1

797

798 Gultepe, I., G. A. Isaac, P. Joe, P. Kucera, J. Thériault and T. Fisico, 2014a: Roundhouse
799 (RND) mountain top research site: Measurements and uncertainties for winter alpine weather
800 conditions. *Journal of Pure and Applied Geophysics*. [https://doi.org/10.1007/s00024-012-](https://doi.org/10.1007/s00024-012-0582-5)
801 [0582-5](https://doi.org/10.1007/s00024-012-0582-5).

802

803 Gultepe, I., T. Kuhn, M. Pavolonis, C. Calvert, J. Gurka, and G.A. Isaac, 2014b: Ice fog in
804 Arctic during FRAMIF project: Aviation and nowcasting applications. *Bulletin of American*
805 *Meteorological Society*, 95, 211–226. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00071.1

806

807 Gultepe, I., A. J. Heymsfield, P.R. Field and D. Axisa, 2017: Ice-phase precipitation.
808 *Meteorological Monographs*, 58, 6.1–6.36. <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS->

Artículo en edición

809 D-16- 0013.1.

810

811 Hodges, D., and Z. Pu, 2015: The climatology, frequency, and distribution of cold season fog
812 events in northern Utah. *Pure and Applied Geophysics*, 173, 3197–3211.
813 <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1187-6>.

814

815 Haeffelin, M., T. Bergot, T. Elias, R. Tardif, D. Carrer, P. Chazette, M. Colomb, P. Drobinski,
816 E. Dupont, J. Dupont, L. Gomes, L. Musson-Genon, C. Pietras, A. Plana-Fattori, A. Protat,
817 J. Rangognio, J. Raut, S. Rémy, D. Richard, J. Sciare, and X. Zhang, 2010: Paris Fog. *Bull.*
818 *Amer. Meteor. Soc.*, 91, 767–783, <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2671.1>

819

820 Kulkarni, R., Jenamani, R. K., Pithani, P., Konwar, M., Nigam, N., Ghude, S. D., 2019: Loss
821 to Aviation Economy Due to Winter Fog in New Delhi during the Winter of 2011-2016.
822 *Atmosphere*, vol. 10, issue 4, p. 19.

823

824 Isaac, G. A., Bullock, T., Beale, J., & Beale, S., 2020: Characterizing and Predicting Marine
825 Fog Offshore Newfoundland and Labrador, *Weather and Forecasting*, 35(2), 347-365.
826 Retrieved Jun 2, 2022. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0085.1>

827

828 Lapidó, B., 2019: Estudio preliminar de niebla en el aeropuerto de la ciudad de Rosario. Tesis
829 de Licenciatura, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de
830 Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

831

832 Milke J. A., 2000: Evaluating the smoke hazard from fires in large spaces. *International*
833 *Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, Volume 2, Number 3, págs.94-103.

834

835 Nabavi, S. O., 2016: Global Assessment of Sand and Dust Storms (Dust Storms in the West
836 Asia Region). 8. Appendix: Case Studies

837

838 OACI, 2004: European guidance material on integrity demonstration in support of

Artículo en edición

- 839 certification of ILS and MLS systems. 1st edition.
840
- 841 OACI, 2010: Catálogo de datos OPMET disponibles en el Banco Internacional de datos
842 OPMET de Brasilia. 4ta edición.
843
- 844 OACI, 2016a: Anexo 3: Servicio Meteorológico para la navegación aérea internacional. 20a
845 edición.
846
- 847 OACI, 2016b: Anexo 6: Operación de Aeronaves. Parte II: Aviación general internacional -
848 Aviones. 9na edición.
849
- 850 OACI, 2018: Anexo 14: Aeródromos. Vol I: Diseño y operaciones de aeródromos. 8va
851 edición.
852
- 853 OMM, 1966: Reglamento Técnico N° 49. Anexo I: Atlas Internacional de Nubes (N° 407),
854 Manual de observación de nubes y otros meteoros.
855
- 856 OMM, 2008: Guía de instrumentos meteorológicos y métodos de observación..
857
- 858 OMM, 2014: Guía de sistemas meteorológicos de observación y distribución de información
859 para los servicios meteorológicos aeronáuticos.
860
- 861 OMM, 2015: Manual del Sistema Mundial de Telecomunicación. Anexo III al Reglamento
862 Técnico de la OMM. Actualización de 2020.
863
- 864 OGIMET, 2021: Información profesional de las condiciones meteorológicas en todo el
865 mundo. <https://www.ogimet.com/>, accedido el 30 octubre 2021.
866
- 867 Piccolo, M. C., 1983: Resultados preliminares de un estudio de niebla en Río Grande.
868 Meteorológica. Vol. XIV. N° 1 y 2. Págs. 213 a 224.

Artículo en edición

869

870 Pilie, R.J., E.J. Mack, W.C. Kocmond, C.W. Rogers and W.J. Eadie, 1975: The life cycle of
871 valley fog. Part I: Micrometeorological characteristics, J. Appl. Meteor. 14, 347–363.
872 [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1975\)014<0347:TLCOVF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1975)014<0347:TLCOVF>2.0.CO;2)

873

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

877

878 Roach, W.T., 1995: Back to basics: Fog: Part 3 - The formation and dissipation of sea fog.
879 Weather, 50, 80-84.

880

881 Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E. Chapin, J. Martin, W. Daffer and S. Hensley, 2005:
882 An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639. Rolph
883 G., Stein A., Stunder B., 2017: Realtime Environmental Applications and Display sYstem:
884 READY, Environmental Modelling & Software, Volume 95, 2017, Pages 210-228, ISSN
885 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>.

886

887 Rudra, R., W.T. Dickinson, S. I. Ahmed, P. Patel, J. Zhou, and B. Gharabaghi, 2015: Changes
888 in rainfall extremes in Ontario. International Journal of Environment Research, 9(4), 1117–
889 1372.

890

891 Ruiz, J., T. Schonholz y C. Saulo, 2018: Generación de pronósticos probabilísticos de
892 visibilidad a partir de pronósticos numéricos retrospectivos y observaciones. Meteorologica
893 Vol 43 N°1 (2018), 73-96. [http://www.meteorologica.org.ar/wp-](http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2018/07/Ruiz_y-otros_Vol43N1.pdf)
894 [content/uploads/2018/07/Ruiz_y-otros_Vol43N1.pdf](http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2018/07/Ruiz_y-otros_Vol43N1.pdf)

895

896 Schonholz, T., 2014: Desarrollo de una técnica objetiva para la generación de pronósticos
897 probabilísticos de umbrales de visibilidad empleando pronósticos retrospectivos en la
898 estación Ezeiza. Tesis de Licenciatura, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los

Artículo en edición

- 899 Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
 900
- 901 Smith, A., N. Lott, y R. Vose, 2011: The Integrated Surface Database: Recent Developments
 902 and Partnerships. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 704–708, doi:10.1175/2011BAMS3015.1
 903
 904
- 905 Stolaki, S.N., Kazadzis, A.S., Foris, D.V., Karacostas, T.S., 2009: Fog characteristics at the
 906 airport of Thessaloniki, Greece, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1541-1549
 907
- 908 Tardif, R., 2017: Precipitation and Fog. Book chapter in Koracin, D., and C. E. Dorman, eds.
 909 *Marine Fog: Challenges and Advancements in Observations and Forecasting*. Springer Publ.
 910
- 911 Tardif, R., and R. M. Rasmussen, 2007: Event-based climatology and typology of fog in the
 912 New York City region. *Journal of Applied Meteorology Climatology*, 46, 1141–1168.
 913 <https://doi.org/10.1175/JAM2516.1>
 914
- 915 Tardif, R., and Rasmussen, R. M., 2008: Process-oriented analysis of environmental
 916 conditions associated with precipitation fog events in the New York City region. *Journal Of*
 917 *Applied Meteorology And Climatology*, 47, 1681-1703. doi:10.1175/2007JAMC1734.1
 918
- 919 Teixeira, J. and Miranda, P. M. A., 2001: Fog prediction at Lisbon Airport using a one-
 920 dimensional boundary layer model. *Meteorol. Appl.* 8, 497–505.
 921
- 922 Todey, D.P., D.E. Herzmann, and G.S. Takle, 2002: The Iowa Environmental Mesonet –
 923 combining networks into a single network. Preprints 6th Symposium on Integrated Observing
 924 Systems, Orlando, FL, Amer. Meteor.Soc.
 925
- 926 Tuncay Özdemir, E., Deniz, A., Sezen, İ., Menteş, Ş. S., Yavuz, V., 2016: Fog analysis at
 927 Istanbul Ataturk International Airport. *Weather*, 71(11), 279–284. doi:10.1002/wea.2747
 928 Vasques Ferro, R. y C. Ribero, 2015: Formación de niebla en Aeroparque Jorge Newbery.

Artículo en edición

- 929 XII CONGREGMET, Mar del Plata, Argentina.
930
- 931 Wallis S., 2013: Binomial Confidence Intervals and Contingency Tests: Mathematical
932 Fundamentals and the Evaluation of Alternative Methods, *Journal of Quantitative Linguistics*,
933 20:3, 178-208, DOI: 10.1080/09296174.2013.799918
934
- 935 White, W.H. and P.T. Roberts, 1967: On the nature and origins of visibility-reducing aerosols
936 in the Los Angeles air basin. *Atmospheric Environment*, 11(9), 0–812. doi:10.1016/0004-
937 6981(77)90042-7
938
- 939 Yabra, M. S., R. de Elia, L. Vidal, M. Nicolini, R. Vasques Ferro, C. Ribero, L. Chiaparrí, E.
940 Fernández, C. Campetella, O. Bonfili, M. Ceballos, G. Barrera, N. Troche, V. López, M.
941 Schizzano, N. Bentancor, L. Berengua, M. Steven, 2021a: Las niebla en los aeropuertos
942 argentinos: revisión de literatura y perspectiva de los pronosticadores. *Nota Técnica SMN*
943 2021-89. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1540>
944
- 945 Yabra, M. S., R. de Elia, L. Vidal, M. Nicolini, 2021b: Estudio climatológico de visibilidad
946 reducida por niebla y neblina en aeropuertos argentinos. *Nota Técnica SMN 2021-106*.
947 <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1698>
948
- 949 Yabra, M. S., R. de Elia, L. Vidal, M. Nicolini, 2021c: Características climatológicas de las
950 niebla en aeropuertos argentinos. XIX Reunión Científica de la Asociación Argentina De
951 Geofísicos Y Geodestas, Agosto 2021, Ciudad de Mendoza, Argentina.
952
- 953 Zhang, J., P. Zhao, X. Wang, J. Zhang, J. Liu, B. Li, Y. Zhou, H. Wang, 2020: Main Factors
954 Influencing Winter Visibility at the Xinjin Flight College of the Civil Aviation Flight
955 University of China, *Advances in Meteorology*, vol. 2020, Article ID 8899750, 13 pages,
956 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8899750>
957
958

Artículo en edición

959 **Figuras y Tablas**

960

961 Tabla I: Cantidad de reportes METAR para el aeropuerto de Ezeiza (SAEZ) cuyo tiempo
 962 presente reportado es niebla (primera fila) y neblina (segunda fila), categorizados según el
 963 valor de la visibilidad reportada: entre 0 m y 1000 m (primera columna) y entre 1000 m y
 964 5000 m (segunda columna). Una tabla correspondiente a un aeropuerto sin inconsistencias
 965 entre la visibilidad y el tiempo presente, tendría ceros en las categorías “niebla con visibilidad
 966 entre 1000 m y 5000 m” y “neblina con visibilidad menor a 1000 m”.

	METAR con visibilidad [0m;1000m)	METAR con visibilidad [1000m;5000m)	Total
METAR con niebla	3172	14	3186
METAR con neblina	762	3563	4325
Total	3934	3577	7511

967

968

Artículo en edición

969 Tabla II: Cantidad promedio de días por año y horas (reportes) por día con niebla y neblina
970 en el análisis climatológico. Los intervalos de confianza al 90% entre paréntesis, se
971 calcularon de acuerdo a la metodología mencionada en la sección 2.3.

Aeropuerto	Días por año con niebla	Días por año con neblina	Horas por día con niebla	Horas por día con neblina
Mar del Plata	49,8 (49,3 - 50,3)	83,4 (82,7 - 84,1)	3,6 (3,6 - 3,7)	3,0 (2,9 - 3,0)
Ezeiza	42,1 (41,7 - 42,6)	74,2 (73,6 - 74,7)	3,8 (3,7 - 3,8)	2,9 (2,9 - 3,0)
Rosario	30,5 (30,0 - 30,9)	50,8 (50,3 - 51,3)	3,5 (3,4 - 3,5)	3 (2,9 - 3,0)
Río Grande	34,1 (33,6 - 34,6)	47,3 (46,7 - 47,8)	4,0 (3,9 - 4,0)	3 (2,9 - 3,0)
Montevideo	34,8 (34,3 - 35,2)	71,9 (71,3 - 72,5)	3,8 (3,7 - 3,8)	3,3 (3,3 - 3,4)
Iguazú	30,8 (30,4 - 31,2)	58,8 (58,2 - 59,3)	3,0 (2,9 - 3,0)	2,9 (2,9 - 3,0)
Resistencia	20,0 (19,6 - 20,3)	49 (48,5 - 49,5)	2,9 (2,8 - 2,9)	2,4 (2,4 - 2,5)
San Fernando	18,8 (18,4 - 19,2)	34,1 (33,5 - 34,6)	3 (2,9 - 3,0)	2,7 (2,71 - 2,78)
Córdoba	16,0 (15,7 - 16,3)	36,3 (35,8 - 36,7)	2,8 (2,8 - 2,9)	2,7 (2,6 - 2,7)
Río Gallegos	15,1 (14,8 - 15,4)	19,7 (19,4 - 20,0)	3,78 (3,7 - 3,8)	2,7 (2,6 - 2,7)
Aeroparque	7,1 (6,9 - 7,3)	34,1 (29,7 - 30,5)	3,6 (3,5 - 3,6)	3,5 (3,5 - 3,6)
Bariloche	4,4 (4,2 - 4,6)	9,3 (9,0 - 9,5)	3,5 (3,4 - 3,5)	2,0 (2,0 - 2,1)
Neuquén	3,5 (3,3 - 3,6)	4,8 (4,6 - 5,0)	3,2 (3,1 - 3,2)	1,9 (1,9 - 2,0)

Artículo en edición

Ushuaia	1,4 (1,3 - 1,5)	1,9 (1,7 - 2,0)	4,8 (4,7 - 4,8)	1,6 (1,6 - 1,7)
---------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

972

973

Artículo en edición

974 Tabla III: a) Probabilidad de que haya niebla simultáneamente en los aeropuertos marcados
 975 con una 'x' dada la condición de que hay niebla en Aeroparque y b) probabilidad de que haya
 976 niebla simultáneamente en los aeropuertos marcados con una 'x', en cada caso (casos 1-3 no
 977 incluyen simultaneidad con ningún otro aeropuerto). Entre paréntesis se muestra el intervalo
 978 de confianza al 90% y la relación que condujo a la elaboración de las probabilidades: a)
 979 cantidad de reportes con niebla simultáneamente en los aeropuertos marcados con 'x' sobre,
 980 la cantidad de reportes con niebla en Aeroparque acotada a aquellas horas en que
 981 coincidentemente haya reportes en los aeropuertos marcados, b) cantidad de reportes con
 982 niebla simultáneamente en los aeropuertos marcados con 'x' sobre, la cantidad total de
 983 reportes simultáneos en dichos aeropuertos. Los intervalos de confianza se calcularon de
 984 acuerdo a la metodología mencionada en la Sección 2.3.

Caso	SAEZ	SUMU	SACO	a. Probabilidad condicional	b. Probabilidad sin condicionar
1	x			38% (35% - 43%) (191/492)	1,90% (1,85% - 1,96%) (3185/167256)
2		x		35% (31% - 39%) (169/484)	1,57% (1,52% - 1,62%) (2609/166357)
3			x	5,1% (3,6% - 7,2%) (25/487)	0,55% (0,52% - 0,58%) (907/164986)
4	x	x		20% (16% - 23%) (94/474)	0,38% (0,36% - 0,41%) (618/162607)
5		x	x	1,5% (0,7% - 2,9%) (7/471)	0,036% (0,03% - 0,04%) (57/160429)
6	x		x	1,1% (0,4% - 2,3%) (5/477)	0,054% (0,05% - 0,07%) (88/161924)
7	x	x	x	0,43% (0,09% - 1,47%) (2/461)	0,01% (0,006% - 0,015%) (15/157565)

985

986

Artículo en edición

987 Tabla IV: Ídem Tabla III pero dada la condición de que haya niebla en el aeropuerto de Ezeiza.

Caso	SABE	SUMU	SACO	a. Probabilidad condicional	b. Probabilidad sin condicionar
1	x			6,3% (5,6% - 7,1%) (191/3022)	0,31% (0,29% - 0,34%) (502/160613)
2		x		20% (19% - 21%) (618/3078)	1,57% (1,52% - 2,62%) (3240/166357)
3			x	2,8% (2,3% - 3,4%) (88/3115)	0,55% (0,52% - 0,58%) (907/164986)
4	x	x		3,2% (2,7% - 3,8%) (94/2925)	0,11% (0,09% - 0,12%) (169/156306)
5		x	x	0,5% (0,3% - 0,8%) (15/3014)	0,036% (0,03% - 0,04%) (57/160429)
6	x		x	0,17% (0,07% - 0,37%) (5/2969)	0,016% (0,01% - 0,02%) (25/156426)
7	x	x	x	0,07% (0,01% - 0,24%) (2/2875)	0,004% (0,002% - 0,009%) (7/152338)

988

989

Artículo en edición

990 Tabla V: Ejemplo de decodificación de un reporte METAR.

Grupo dentro del mensaje	Indicación	Significado
METAR	Tipo de reporte	METAR
SAEZ	Estación meteorológica aeronáutica	Aeropuerto de Ezeiza
100900Z	Día, hora y minutos	Día 10 a las 9:00 UTC
24003KT	Dirección y velocidad del viento	240° (OSO) a 3 kt
1200	Visibilidad	1200 m
R11/1300N	Cabecera y alcance visual en pista (RVR)	En la cabecera de la pista 11 hay 1300 m
BR	Tiempo presente	neblina
SCT001 BKN200	Nubosidad	3-4 octavos a 100 pies; 5-7 octavos a 20.000 pies (sobre el nivel de la estación)
08/08	Temperatura del aire y del punto de rocío	8°C y 8°C
Q1021	Presión al nivel del mar	1021 hPa

991

992

Artículo en edición

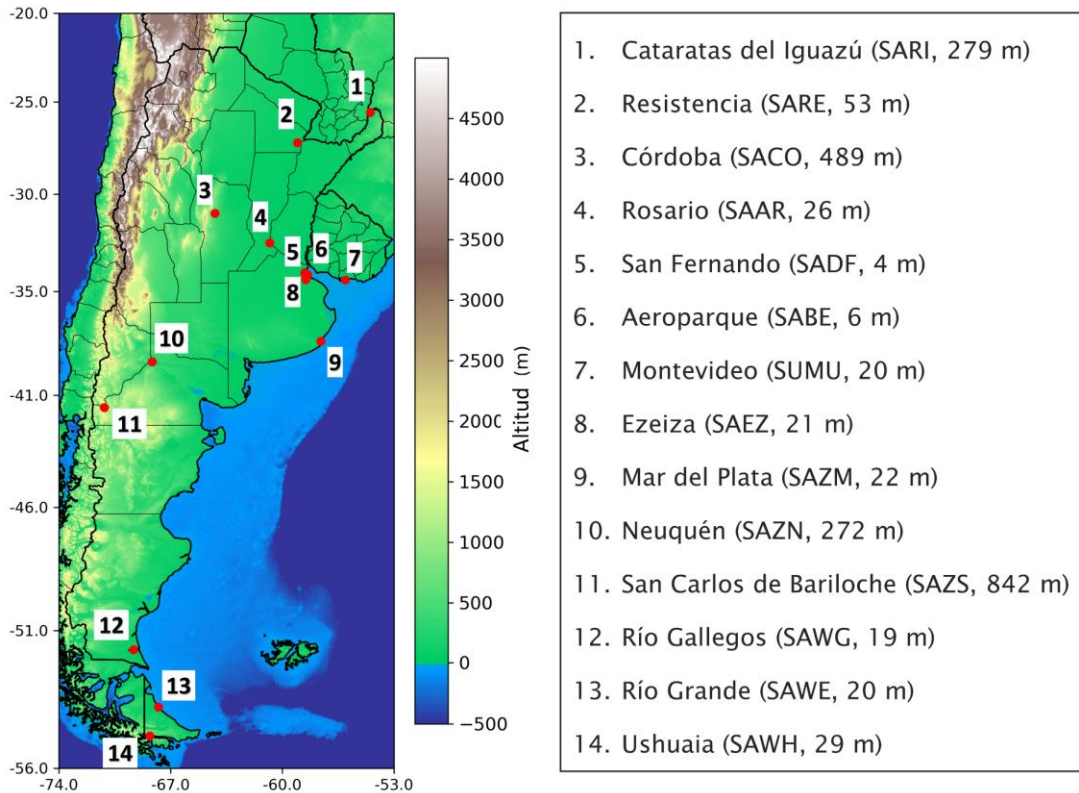
993 Tabla VI: Detalle de los aeropuertos seleccionados (Anexo B).

Aeropuerto	Categoría	Pista	Visibilidad mínima
Aeroparque - SABE	CAT II 4C	13	750 m (RVR 750 m)
		31	2600 m
Ezeiza - SAEZ	CAT III A 4E	11	200 m (RVR 200 m)
		29	1400 m
		35	800 m
		17	2300 m
Córdoba - SACO	CAT III A 4E	01	3100 m
		05	1500 m
		19	550 m (RVR 550 m)
		23	1700 m
Montevideo - SUMU	CAT I 4E	01	1200 m
		24	800 m
		19	800 m (RVR 550 m)
		06	1600 m
Bariloche - SAZS	CAT I 4E	29	800 m (RVR 550 m)
		11	1899 m
Río Grande - SAWE	CAT I 4C	26	1200 m
		08	1500 m

994

995

996



997

Figura 1: Aeropuertos seleccionados para realizar este trabajo. Entre paréntesis se indica el

998

código OACI y su altitud sobre el nivel medio del mar. La información topográfica

999

proviene del Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) y de

1000

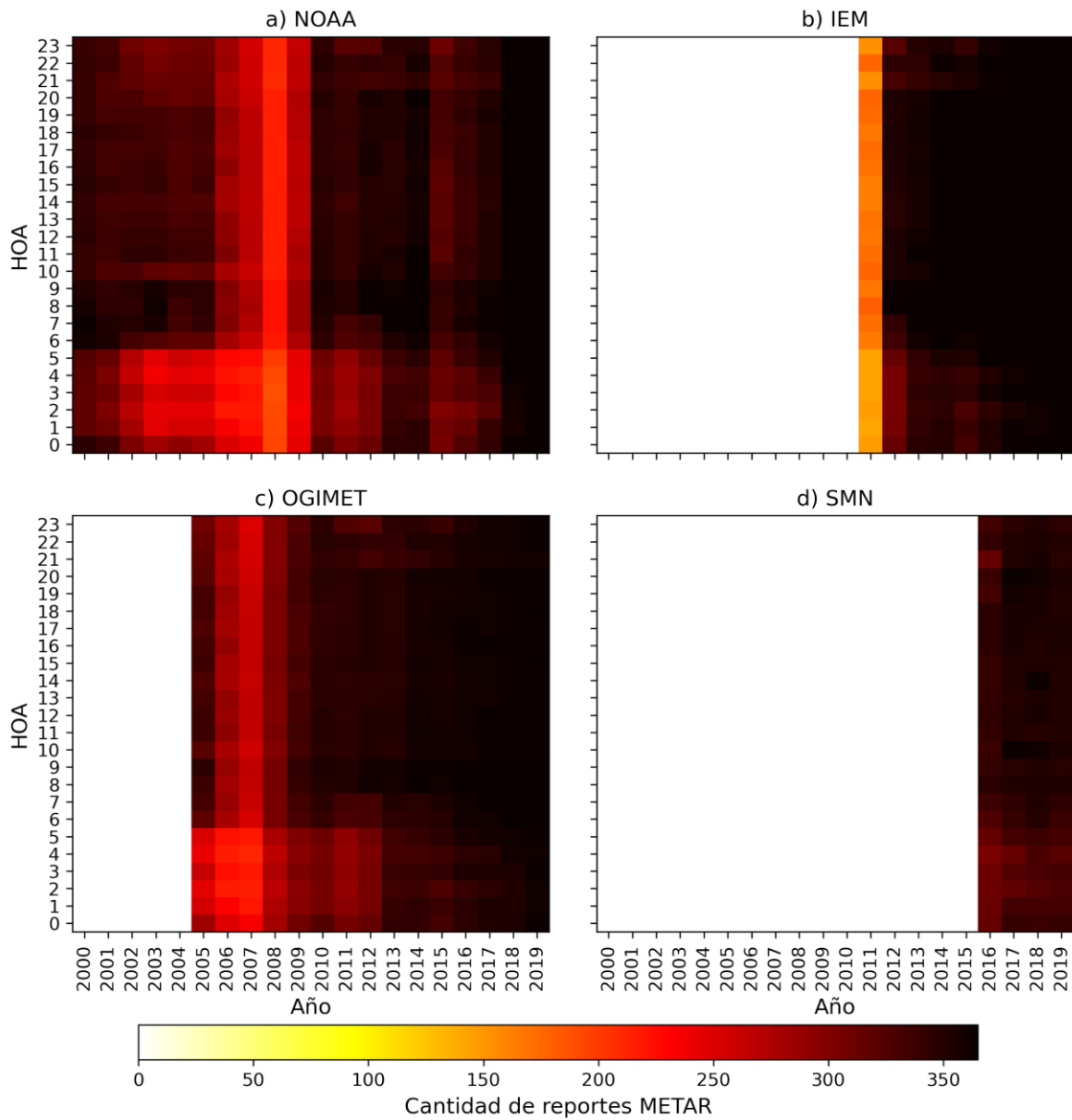
HydroSHEDS a partir de la misión SRTM (NASA Shuttle Radar Topography Mission)

1001

(Rodríguez y otros, 2005) con resolución horizontal de 90 m.

1002

1003

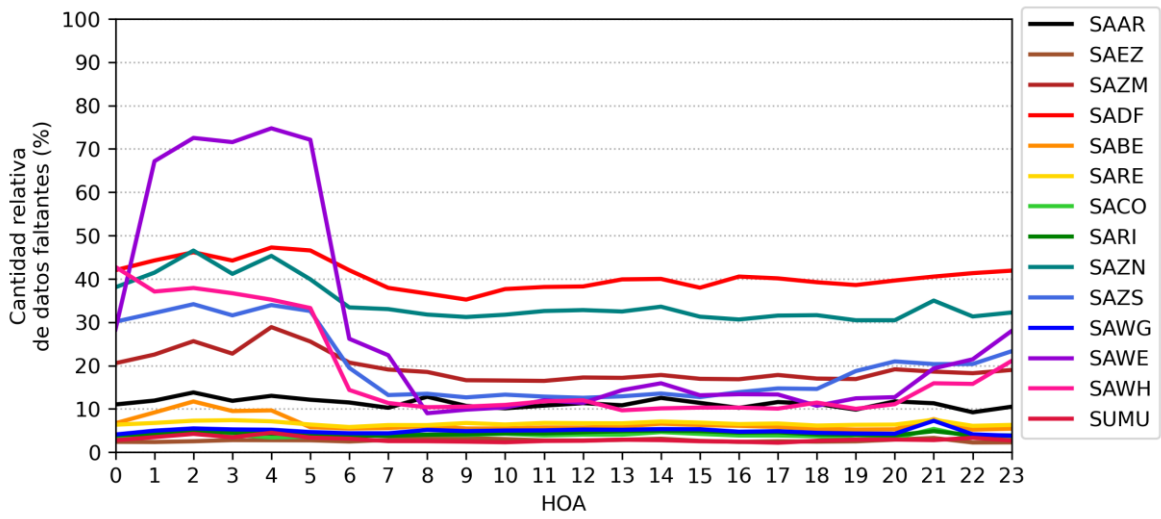


1004 Figura 2: Evolución anual media de la cantidad de reportes METAR en función de la Hora
 1005 Oficial Argentina (HOA, promedio de los aeropuertos estudiados) generados por el SMN y
 1006 almacenados en las distintas bases: a) NOAA, b) IEM, c) OGIMET, d) SMN.

1007

Artículo en edición

1008



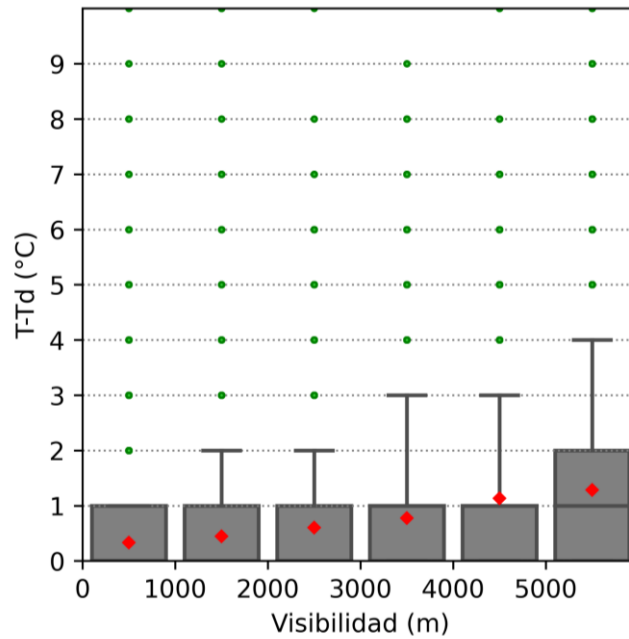
1009

Figura 3: Distribución horaria de la cantidad relativa de datos METAR faltantes en cada aeropuerto para el período 2000-2019 en la base de almacenamiento NOAA.

1010

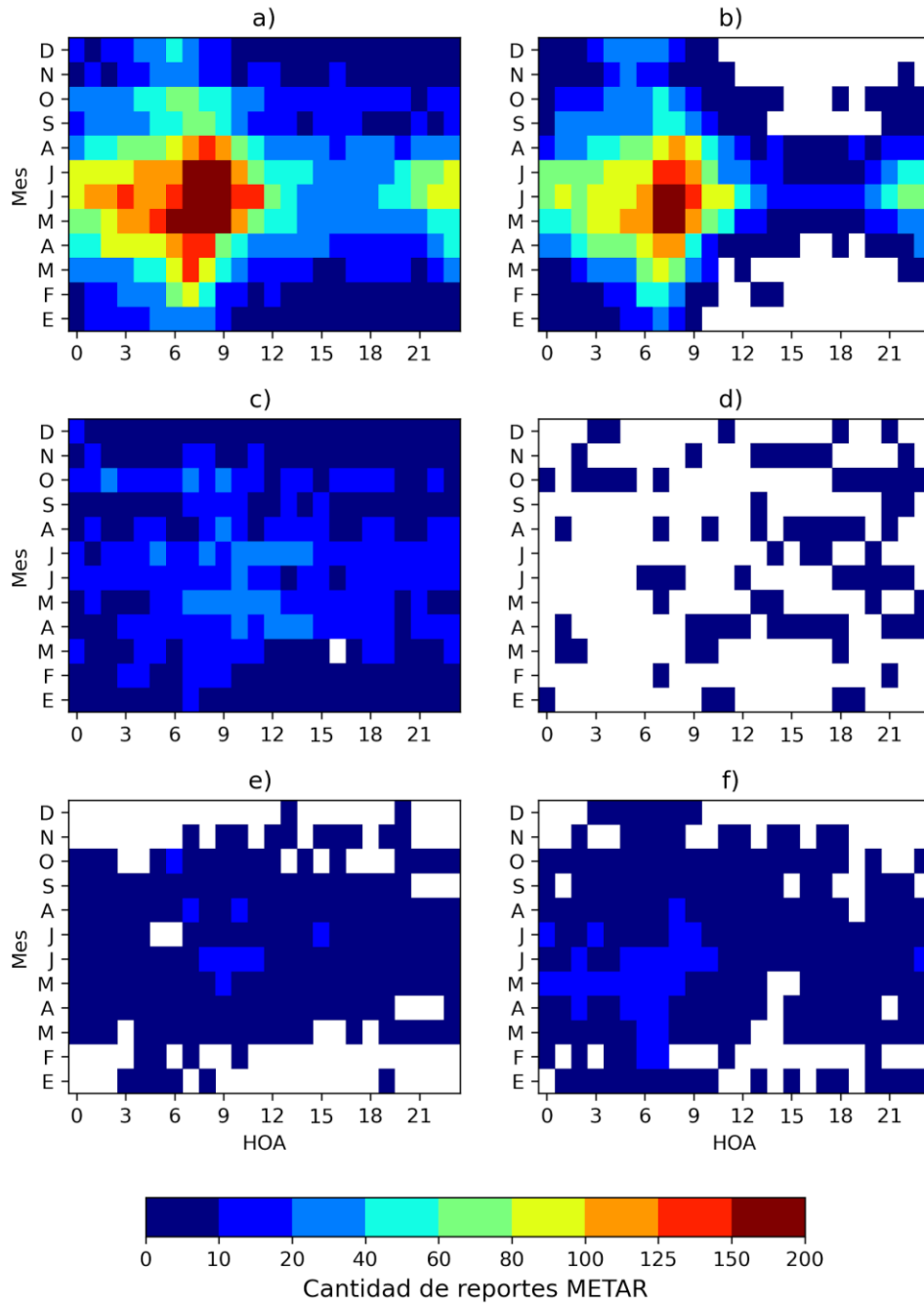
1011

1012



1013 Figura 4: Boxplot para las distribuciones de depresión de punto de rocío en intervalos de
 1014 visibilidad para las horas con nieblas o neblinas en su tiempo presente considerando todos
 1015 los aeropuertos seleccionados.

1016

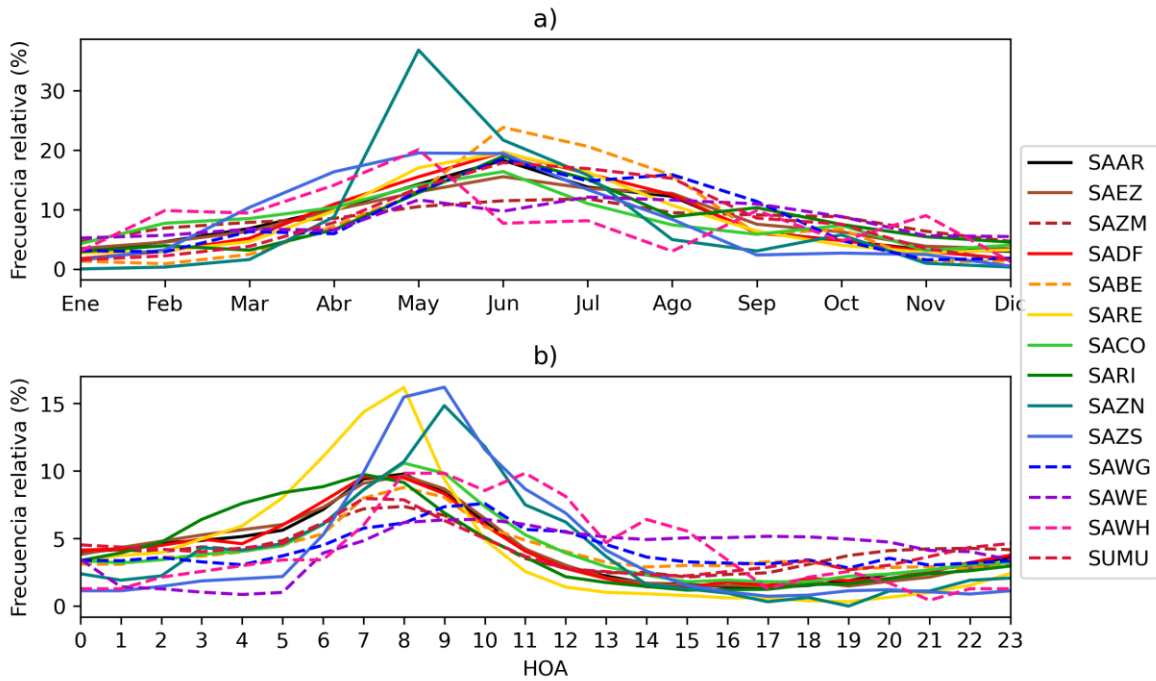


1017 Figura 5: Cantidades de reportes METAR con visibilidad menor a 1000 m en el aeropuerto
 1018 de Rosario por hora y mes para el período 2000-2019: a) totales, b) niebla, c) precipitación,
 1019 d) litometeoros, e) precipitación y niebla y f) sin información en el tiempo presente.

1020

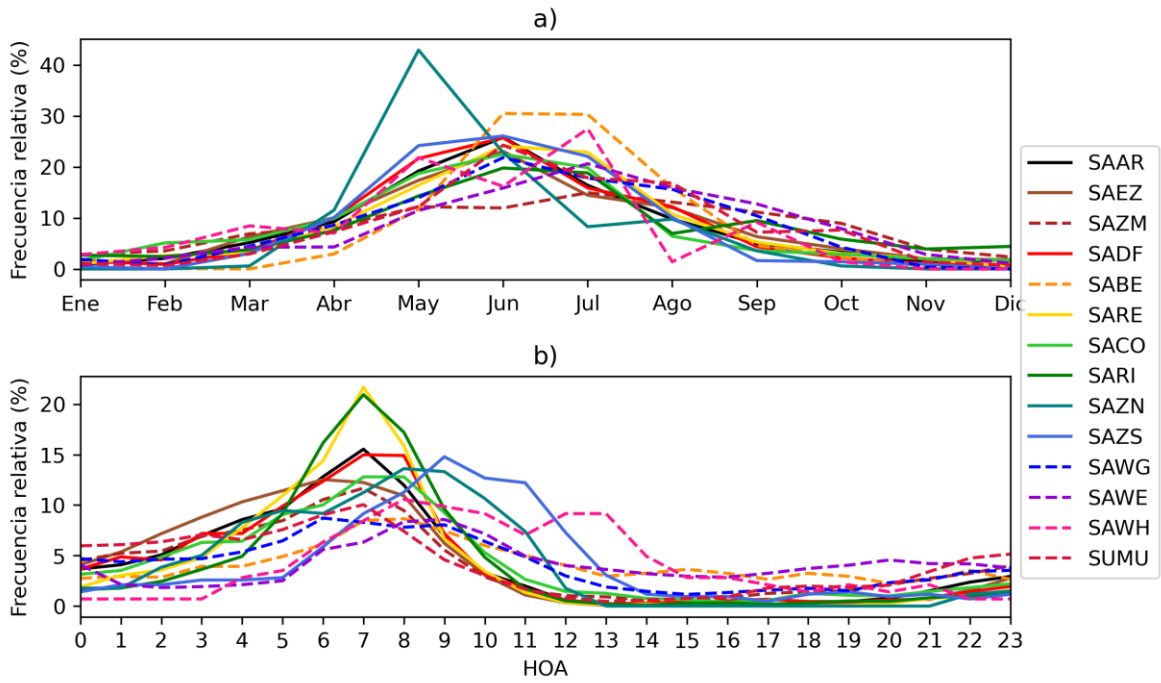
Artículo en edición

1021



1022 Figura 6: Frecuencia relativa de reportes METAR con neblina para el período 2000-2019
 1023 en los aeropuertos seleccionados. En el panel superior (a) se muestra el ciclo anual y en el
 1024 inferior (b) el ciclo diario. En líneas continuas se presentan los aeropuertos continentales y
 1025 en líneas segmentadas se presentan los aeropuertos costeros.
 1026

1027



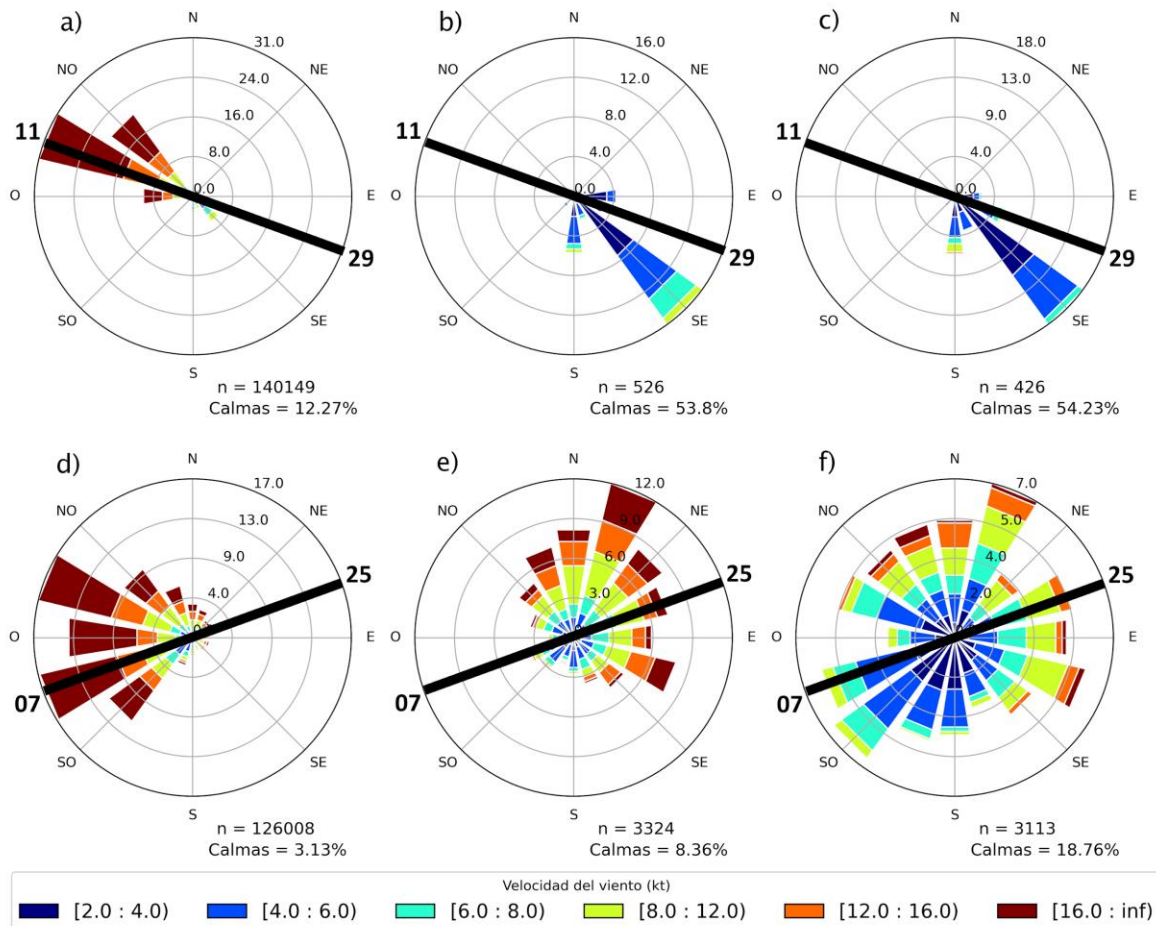
1028

Figura 7: Ídem Fig. 6 pero para reportes con niebla.

1029

Artículo en edición

1030



1031 Figura 8: Rosa de los vientos (% , velocidad del viento en kt) para el período 2000-2019 en
 1032 el aeropuerto de Bariloche (a,b,c) y Río Grande (d,e,f), considerando: todos los reportes
 1033 (a,d), los reportes con neblina (b,e) y los reportes con niebla (c,f). Debajo de cada
 1034 diagrama, se indica en texto el porcentaje de vientos calmos y la cantidad de reportes
 1035 utilizados para cada gráfico (n). La línea negra sólida que atraviesa el diagrama
 1036 corresponde a la orientación de la pista de aterrizaje del aeropuerto y sus correspondientes
 1037 números de cabecera.