

Metodología de verificación de Avisos Meteorológicos a muy Corto Plazo con observaciones de superficie de forma automática

Nota Técnica SMN 2026-212

Melissa Patanella¹, Sebastián Pérez² y Pablo Irurzun²

¹ *Sensores Remotos, Dirección de productos de Modelación ambiental y Sensores Remotos (DMSR), Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DNCIPS), SMN*

² *Coordinación de pronósticos inmediatos (CPI), Dirección de Pronósticos del Tiempo y Avisos (DNPSS), SMN*

Mayo 2026



Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En este trabajo se presenta la metodología de verificación de los Avisos a muy Corto Plazo (ACPs) emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Estos avisos se emiten desde el 2014 y su verificación fue cambiando a través del tiempo. La última etapa en la evolución es la automatización del sistema mediante el uso del lenguaje Python, lo que permite eliminar el trabajo manual y garantizar mayor rapidez y precisión en el procesamiento. A diferencia de la metodología anterior, ya no se realiza una búsqueda manual de reportes en bases de datos de observaciones, redes sociales o noticias. En su lugar, la información se extrae sistemáticamente de distintas bases de datos. Además, este nuevo proceso abarca todo el territorio nacional, superando la restricción anterior que se limitaba únicamente a los principales centros urbanos.

En la actualidad la verificación está basada en datos observacionales de estaciones SYNOP, METAR/SPECI, de la base SAMHI y estaciones automáticas del SMN y de Weather Underground. Se analiza la ocurrencia de granizo, ráfagas y precipitaciones intensas a partir de criterios objetivos, comparando los fenómenos reportados con los pronosticados en los avisos. Se destaca la necesidad de integrar nuevas fuentes de información para fortalecer el proceso de verificación y mejorar la eficiencia del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del SMN.

Abstract

This study presents the methodology for the verification of the very-short-range weather advisories (in spanish, Avisos a muy Corto Plazo, ACPs) issued by the National Meteorological Service (in spanish, Servicio Meteorológico Nacional, SMN) of Argentina. These advisories have been issued since 2014, and their verification process has changed over time. The latest stage in this evolution is the automation of the system using the Python programming language, which eliminates manual tasks and ensures greater speed and precision in the processing. Unlike the previous methodology, it no longer involves manual searches for reports in databases with surface observations, social media, or news pages. Instead, the information is systematically extracted from various databases. This new process covers the entire national territory, overcoming the previous restriction that limited the verification only to major urban centers.

Currently, the verification is based on observational data from SYNOP, METAR/SPECI, and SAMHI messages, as well as automatic stations from the SMN and Weather Underground. The occurrence of hail, gusts, and heavy rain is analyzed based on objective criteria, comparing reported events with those predicted in the advisories. This highlights the need to integrate new information sources to strengthen the verification process and improve the efficiency of the early warning system (in spanish, Sistema de Alerta Temprana, SAT) of the SMN.

Palabras clave: verificación, automatización, ACP, SAT

Citar como:

Patanella, M., S. Pérez y P. Irurzun, 2026: Metodología de verificación de Avisos Meteorológicos a muy Corto Plazo con observaciones de superficie de forma automática. Nota Técnica SMN 2026-212.

1. INTRODUCCION

1.1 Avisos a muy Corto Plazo

Los Avisos a muy Corto Plazo (ACP) componen el último eslabón del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina. Su propósito principal es advertir sobre la ocurrencia inminente de ciertos fenómenos meteorológicos que pueden generar daños socioeconómicos, con una antelación que, si bien limitada, permite a la población y a los organismos de respuesta adoptar medidas de prevención o mitigación adecuadas (Lohigorry y otros 2024).

Este tipo de aviso se emite cuando, mediante la observación de imágenes de radar y satélite, información de actividad eléctrica y proveniente de otras fuentes de observación, como Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) se detectan celdas de tormenta o sistemas convectivos que pueden generar lluvias intensas en cortos períodos de tiempo, caída de granizo, ráfagas fuertes y/o actividad eléctrica significativa. Los avisos son emitidos solamente en zonas del territorio cubiertas por radares meteorológicos (Figura 1), dado que esta es la única herramienta que permite realizar un análisis tridimensional de la estructura interna de las tormentas, según las directivas de la OMM (WMO, 2023-2025).

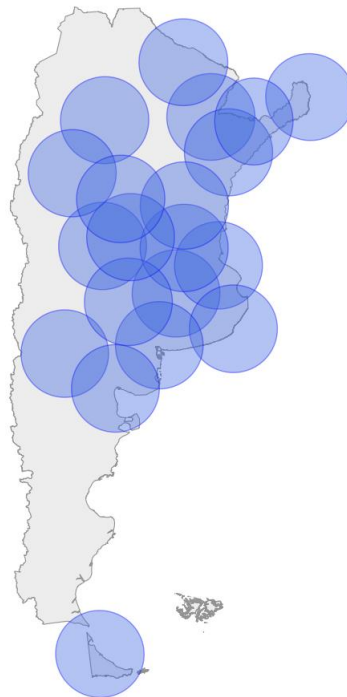


Fig. 1: Zona de cobertura de los 20 radares meteorológicos operativos al 28 de febrero 2026. Comprende los radares de INVAP: RMA 1 al 17, y los radares del INTA: Anguil, Paraná y Pergamino. El área sombreada corresponde a un radio de cobertura de 240 km.

Los ACPs en forma gráfica comenzaron a emitirse en noviembre de 2014. Desde noviembre de 2021, la duración de los avisos dejó de ser fija y pasó a tener una validez variable de 1, 2 o 3 horas, en lugar de la duración estándar de 3 horas que se utilizaba anteriormente (Ishikame y otros, 2022).

Para clasificar los fenómenos meteorológicos de los ACP, se establecieron umbrales específicos: se considera un evento fuerte cuando las ráfagas de viento superan los 60 km/h, la precipitación acumulada

alcanza o supera los 20 mm en 1 hora y el diámetro del granizo es menor a 2,5 cm. En el caso de un evento severo, las ráfagas deben ser superiores a los 90 km/h, la precipitación acumulada debe alcanzar o superar los 40 mm en 1 hora, y el diámetro del granizo debe superar los 2,5 cm.

El objetivo de este trabajo es documentar el proceso de automatización de la verificación de ACPs que, hasta fines del 2024, se realizaba de forma manual (San Martino y otros, 2019). De esta forma, se busca aumentar la eficiencia en la verificación de estos productos, con el fin de robustecer la significancia estadística de los resultados y encontrar oportunidades de mejora en el pronóstico a corto plazo de eventos meteorológicos que pueden resultar peligrosos para la sociedad.

1.2 Bases de datos utilizadas para la verificación

En el marco de la observación meteorológica a nivel global, la OMM ha establecido formatos estandarizados de mensajes para facilitar el intercambio eficiente y uniforme de información entre servicios meteorológicos. Para realizar la verificación de los ACPs descrita en este trabajo se han utilizado los mensajes SYNOP, METAR, SPECI, los reportes de la base de datos SAMHI (South American High-Impact Weather Reports Database; Salio y otros 2024) y las mediciones de diversas estaciones meteorológicas automáticas disponibles en la página web Wunderground.

En la Figura 2 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones utilizadas en este trabajo. La red oficial del SMN muestra una distribución heterogénea, con una marcada concentración en centros urbanos y regiones de alta densidad de población. Con el fin de mitigar la falta de datos en otras zonas del país, se incorporaron estaciones automáticas de la red Wunderground, extendiendo la cobertura hacia localidades donde las observaciones oficiales son escasas o inexistentes. No obstante, aún persisten áreas del territorio nacional con vacíos de información funcional a la verificación de ACPs.

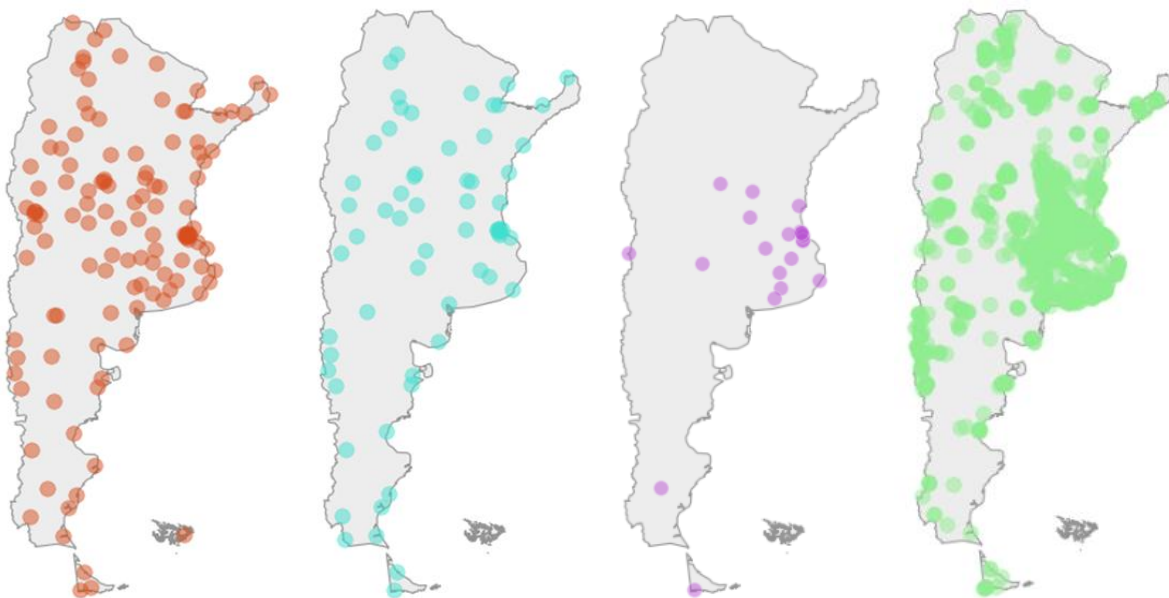


Fig. 2: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para la verificación automática de ACPs, 128 del SMN que emiten mensajes SYNOP (rojo, izquierda), 63 estaciones del SMN que emiten mensajes METAR y SPECI (centro-izquierda, celeste), 22 estaciones automáticas del SMN (centro-derecha, violeta) y 1730 estaciones automáticas de acceso público (derecha, verde).

El mensaje SYNOP (surface SYNOPTic observation) es un informe codificado con observaciones meteorológicas realizadas desde estaciones de superficie, en general de forma horaria. Incluye datos como temperatura, presión, viento, visibilidad, nubosidad, fenómenos presentes, entre otros.

El METAR (MÉTéorologique Aviation Régulière, en español, reporte meteorológico de aeródromo) es un mensaje aeronáutico que informa sobre el estado del tiempo en los aeropuertos. Se emite a cada hora y brinda información similar a la contenida en el SYNOP, aunque centrada en su uso aeronáutico.

El SPECI (SPECIal Weather Report, en español, reporte meteorológico especial) tiene el mismo formato que el METAR, pero se emite de forma no regular, cuando hay cambios meteorológicos repentinos que pueden afectar la seguridad de las operaciones aéreas, como una disminución significativa de la visibilidad, ocurrencia de tormentas o ráfagas fuertes.

La base SAMHI es un repositorio regional que integra y estandariza reportes de eventos meteorológicos ocurridos en países del Cono Sur de Sudamérica. Los datos están georreferenciados y se combinan registros provenientes de artículos de noticias, redes sociales y observaciones.

El SMN posee una red de estaciones meteorológicas automáticas en distintos puntos del país, en particular en la franja central. La frecuencia de toma de datos varía entre uno, cinco y diez minutos según cada estación y los períodos de disponibilidad de datos son diferentes ya que ninguna estación tiene datos de forma continua en el período completo de interés.

Wunderground es una plataforma interactiva desarrollada por Weather Underground (www.wunderground.com/) que permite visualizar en tiempo real datos meteorológicos provenientes de un cuarto de millón de estaciones automáticas distribuidas globalmente, permitiendo el acceso a series temporales históricas, con un dato cada cinco minutos. Estas estaciones son de calidad muy variable ya que no existen requisitos para su incorporación en la base de datos. Para disminuir la probabilidad del uso de información incorrecta, se requiere que al menos dos reportes de estaciones automáticas diferentes alcancen el umbral de fenómenos fuertes o severos.

1.3 Formato Common Alert Protocol

El Common Alerting Protocol (CAP) es un formato estándar de datos basado en XML, desarrollado por la organización internacional OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards, en español, Organización para el Avance de los Estándares de Información Estructurada; OASIS, 2005). Su objetivo principal es unificar la creación y distribución de diversas alertas públicas, permitiendo su interoperabilidad a través de diversos canales de comunicación como aplicaciones móviles, redes sociales, televisión digital, radio y sistemas automáticos de emergencia. La gestión efectiva del riesgo meteorológico requiere sistemas de alerta temprana que sean confiables, fácilmente accesibles y compatibles con múltiples plataformas. En este contexto, el SMN ha adoptado el formato CAP para la emisión de los productos pertenecientes al Sistema de Alerta Temprana (SAT). En particular para la emisión de ACPs se adoptó el formato CAP en el año 2014, presentando un formato estándar de los productos emitidos contribuyendo a una comunicación más eficiente, ordenada y rápida del pronóstico de fenómenos meteorológicos que pueden representar un riesgo para la población.

El formato CAP proporciona una estructura estandarizada que incluye la siguiente información:

- Tipo de amenaza (por ejemplo, tormentas, vientos fuertes, granizo)
- Nivel de severidad, urgencia y certeza del pronóstico
- Ubicación geográfica precisa mediante coordenadas o polígonos

- Hora de emisión, inicio y duración esperada del evento
- Recomendaciones para la población.

1.4 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo establecer y documentar la metodología utilizada para la verificación de los ACPs, con el fin de utilizarlo como referencia en futuros informes y notas técnicas. Para ello, se automatizó el proceso de la comparación entre los avisos emitidos y las observaciones de superficie, integrando tanto la red oficial de estaciones como fuentes de datos complementarios para optimizar la cobertura espacial. Este trabajo propone garantizar la reproducibilidad y consistencia de los análisis de verificación de avisos que se desarrollen en el futuro.

2. TRABAJO PREVIO

Hasta el 2021, la carga de avisos para su verificación se realizaba de forma manual en una planilla de cálculo, donde se ingresaban datos como fecha, hora, título y duración del aviso. Aunque en ese año en la Coordinación de Pronósticos Inmediatos (CPI) se comenzó a desarrollar una carga automática de los ACPs en una planilla online, la información no se cargaba siempre correctamente, lo que requería una revisión puntual para asegurar su exactitud.

La verificación de los reportes de precipitación, granizo y ráfagas también se realizaba de forma manual, lo que generaba una carga de trabajo y una demanda de tiempo considerables.

Las bases de datos utilizadas en este proceso eran:

- SYNOP
- METAR / SPECI
- EMAs Wunderground
- Twitter
- Reportes periodísticos

Este proceso estaba limitado a los centros urbanos principales de Argentina: el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), Córdoba Capital, Corrientes-Resistencia, Mar del Plata, Rosario, y Paraná-Santa Fe (San Martino y otros, 2019). El resto del país quedaba fuera del alcance del proceso de verificación. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de un ACP que afectó cada uno de los seis centros urbanos que se verificaban originalmente mediante un proceso manual, sirviendo como base para la automatización de la verificación.

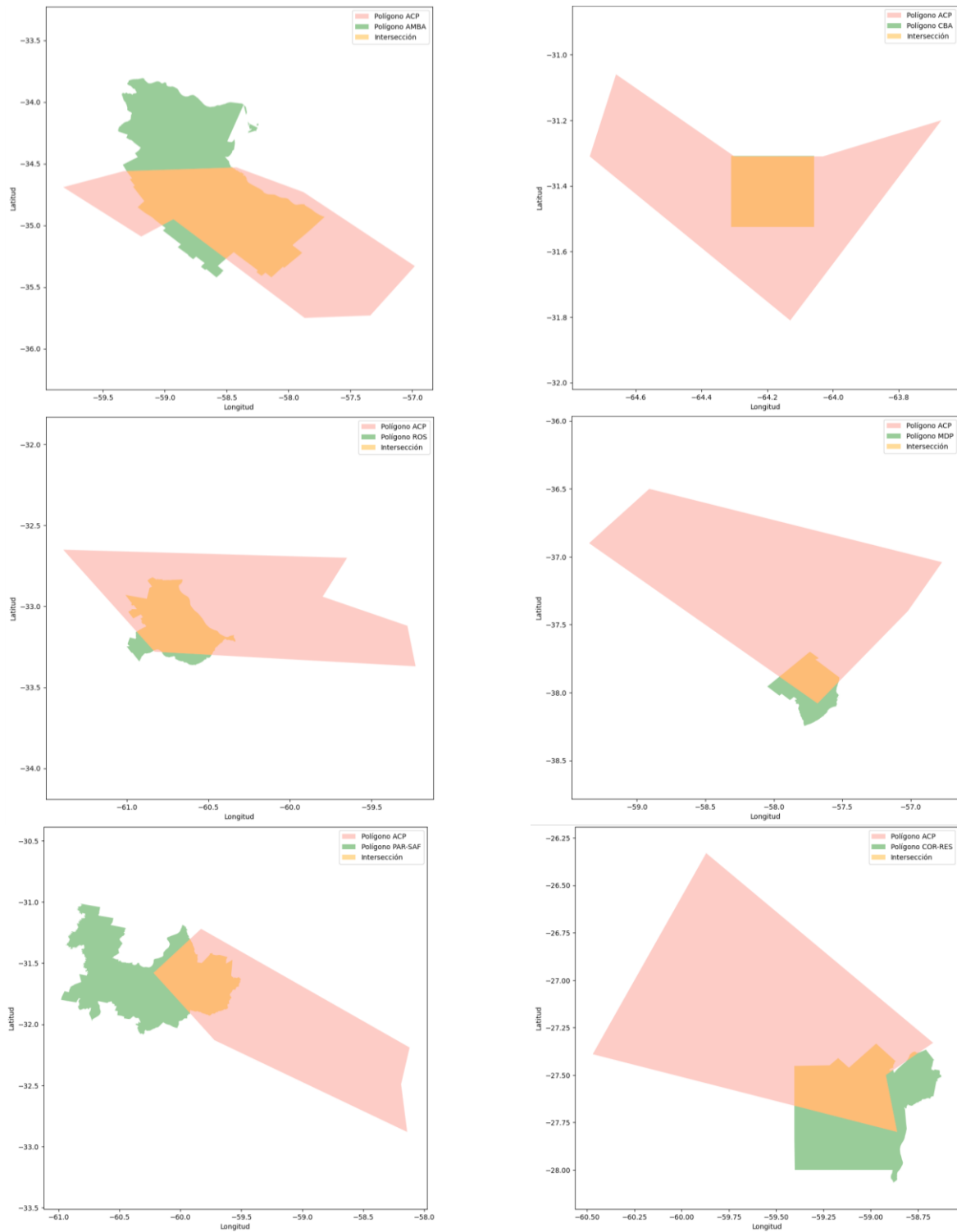


Fig. 3: Ejemplos de la intersección entre ACPs y los seis centros urbanos utilizados en la verificación previa. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: AMBA, Córdoba, Rosario, Mar del Plata, Paraná-Santa Fe y Corrientes-Resistencia. El polígono rosa representa un ACP, el verde el centro urbano y el naranja la intersección entre ambos.

3. TRABAJO ACTUAL

Desde enero 2025, los ACPs se cargan automáticamente de forma correcta en una planilla de cálculo, utilizando la información que aparece en el formato CAP. Esta automatización ha permitido agilizar y mejorar la precisión en la carga de los datos.

La verificación de los reportes de precipitación, granizo y ráfagas también se realiza de forma automática, eliminando la necesidad de revisión manual y optimizando los tiempos de trabajo.

Las bases de datos utilizadas en el proceso son:

- SYNOP
- METAR / SPECI
- Base de datos SAMHI
- EMAs SMN
- EMAs Wunderground

Con respecto a las fuentes de información mencionadas previamente, en esta nueva metodología no se hizo una búsqueda manual de reportes de redes sociales ni de noticias periodísticas. En su lugar, los reportes de granizo se extrajeron de la base SAMHI y de los mensajes METAR / SPECI y SYNOP. Además, este nuevo proceso de verificación abarca todo el territorio nacional, y no se restringe únicamente a los principales centros urbanos.

4. METODOLOGÍA

El proceso de verificación fue desarrollado íntegramente mediante el lenguaje de programación Python (Van Rossum y Drake, 2009). A través de la implementación de diversos scripts de desarrollo propio, se logró la automatización completa del flujo de trabajo, eliminando la necesidad de intervención manual y garantizando así la agilidad y precisión en el procesamiento de los datos.

4.1 Carga de ACPs en la base de datos

La carga de ACPs en una planilla de cálculo se realiza a través de un script que implementa un flujo de trabajo automatizado. Se utilizan las librerías *requests* y *BeautifulSoup* para adquirir los metadatos de los avisos en formato CAP publicados en la página web del SMN. La detección de los avisos emitidos se lleva a cabo a través del canal RSS (Really Simple Syndication) del organismo. Este protocolo, basado en el estándar XML, permite la actualización constante y continua del SAT.

El código realiza una normalización temporal que convierte horarios locales a UTC mediante *datetime*, permitiendo la recuperación precisa de metadatos desde archivos XML externos a través de la biblioteca *lxml*. Para el manejo de los polígonos, se emplea *shapely*, asegurando que las coordenadas extraídas sean legibles y utilizables. Finalmente, se utiliza la librería *Pandas* para darle estructura a la información y *odfpy* para la persistencia de datos en planillas de cálculo, garantizando que el repositorio esté continuamente actualizado.

En la planilla de cálculo se cargaron las siguientes variables:

- Número de ACP
- Fecha
- Hora de emisión (local)

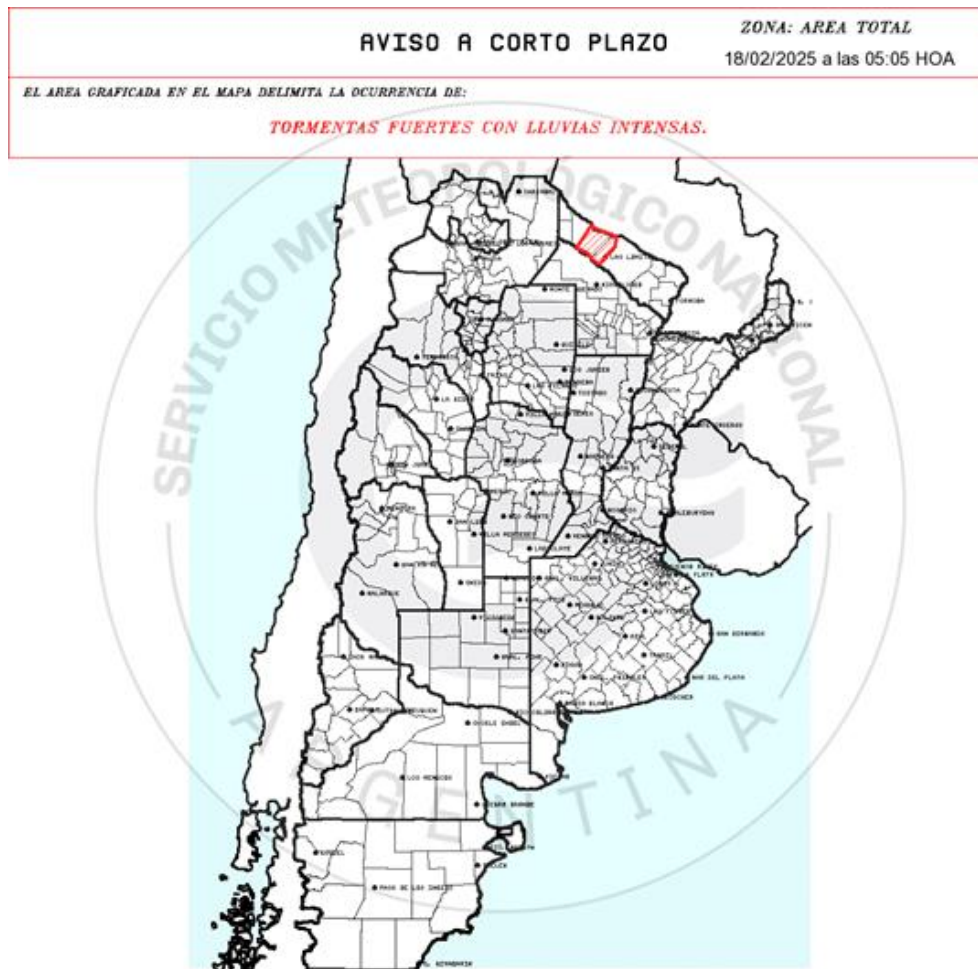


Fig. 4: Ejemplo de la visualización gráfica de un ACP emitido para la provincia de Formosa el 18 de febrero de 2025.

En las Figuras 4 y 5 se muestra, como ejemplo, un ACP emitido para la provincia de Formosa en el 2025. En este caso, en la planilla se cargarían los datos tomados del mensaje en formato CAP:

- Número de ACP: 1462
- Fecha: 18/02/2025
- Hora de emisión (local): 05:06:00
- Título: LLUVIAS INTENSAS.
- Validez (en horas): 1
- Polígono del área afectada (en longitud, latitud): (-61.33, -25.55), (-59.16, -25.56), (-59.2, -25.09), (-61.3, -25.15), (-61.33, -25.55)

Cabe destacar que la numeración de los avisos se implementó a partir del año 2016, reiniciándose el conteo de forma anual. Antes de este año, los ACPs no tenían un número de identificación asociado. Sin embargo, este número se utiliza exclusivamente como una referencia para facilitar la identificación visual y la trazabilidad de los avisos dentro de las bases de datos, sin un uso funcional en los algoritmos o procesos posteriores de la verificación.

AVISO NARANJA POR TORMENTAS FUERTES CON LLUVIAS INTENSAS

Resumen

Identificador: urn:oid:2.49.0.0.32.0.2025.02.18.08.05.00
 Remite: smn@smn.gov.ar
 Enviado: 2025-02-18T08:05:00-03:00 → **FECHA DE EMISIÓN**
 Estado: Actual
 Tipo de Mensaje: Alerta
 Alcance: Público

Detalles Adicionales

Categoría: Meteorológico
 Evento: TORMENTAS FUERTES CON LLUVIAS INTENSAS - AVISO NARANJA → **FENÓMENO PRONOSTICADO**
 Urgencia: Inmediato
 Severidad: Severo
 Certeza: Observado
 Expira: 2025-02-18T10:05:00-03:00 → **DURACIÓN**
 Nombre del Remite: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - ARGENTINA
 Título: AVISO NARANJA POR TORMENTAS FUERTES CON LLUVIAS INTENSAS
 Descripción: ---
 Instrucción: ---
 Web: https://ssl.smn.gov.ar/feeds/CAP/avisocortoplazo/2025_02_18_0805_cap_es.xml → **URL**

Descripción del Área: FORMOSA: BERMEJO - PATINO → **PROVINCIA/S: CIUDAD/ES**
Poligono: -24.44,-61.66 -24.59,-61.25 -24.82,-61.08 -24.98,-60.81 -24.41,-60.24 -24.05,-60.18 -23.76,-60.97 -23.65,-61.10 -24.44,-61.66 → **POLÍGONO (LAT, LON)**

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - ARGENTINA
 URL: CAP Feeds
 Información de Contacto: Contacto de Alerta CAP

Accediendo a URL: http://ww3.smn.gov.ar/feeds/CAP/avisocortoplazo/2025_02_18_0806_cap_es.xml
 Contenido del XML:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="alerta_cap_es.xsl"?>
<cap:alert xmlns:cap="urn:oasis:names:tc:emergency:cap:1.2">
  <cap:identifier>urn:oid:2.49.0.0.32.0.2025.02.18.08.06.00</cap:identifier><cap:sender>smn@smn.gov.ar</cap:sender><cap:sent>2025-02-18T08:06:00-03:00</cap:sent><cap:status>Actual</cap:status><cap:msgType>Alert</cap:msgType><cap:scope>Public</cap:scope><cap:info>
    <cap:category>Met</cap:category>
    <cap:event>LLUVIAS INTENSAS - AVISO NARANJA</cap:event><cap:urgency>Immediate</cap:urgency>
    <cap:severity>Severe</cap:severity><cap:certainity>Observed</cap:certainity><cap:expires>2025-02-18T09:06:00-03:00</cap:expires><cap:senderName>SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - ARGENTINA</cap:senderName><cap:headline>AVISO NARANJA POR LLUVIAS INTENSAS</cap:headline><cap:description>---</cap:description><cap:instruction>---</cap:instruction><cap:web>https://ssl.smn.gov.ar/feeds/CAP/avisocortoplazo/2025_02_18_0806_cap_es.xml</cap:web><cap:area><cap:areaDesc>FORMOSA: PATINO. CHACO: GRAL GUENES. </cap:areaDesc><cap:polygon>-25.55,-61.33 -25.56,-59.16 -25.09,-59.20 -25.15,-61.30 -25.55,-61.33</cap:polygon>
  </cap:area>
</cap:info>
</cap:alert>
```

Fig. 5: Ejemplo de la visualización del ACP en formato CAP emitido para la provincia de Formosa el 18 de febrero de 2025, señalando la información utilizada para la verificación.

Una vez cargado un ACP, el script identifica cuántas estaciones meteorológicas se encuentran dentro del polígono, incluyendo tanto las estaciones oficiales del SMN (las convencionales que emiten mensajes SYNOP, METAR y SPECI, y las automáticas) como las estaciones automáticas disponibles en Wunderground y los reportes de la base SAMHI.

Para cada estación dentro del área del ACP, se revisan los datos disponibles en el intervalo comprendido entre los 15 minutos previos a la emisión y los 15 minutos posteriores al vencimiento del aviso, debido a la demora entre el inicio del escaneo del radar y la disponibilidad de su visualización, que ronda los 15 minutos (Lohigorry y otros, 2018). Se verifica si se cumplen los umbrales definidos para precipitación, ráfagas y granizo (el tiempo de procesamiento estimado es de entre 3 y 5 segundos por estación verificada).

4.2 Proceso de verificación

Para la verificación de ráfagas y granizo, se utilizan los mensajes SYNOP, METAR, SPECI y la información de la base SAMHI. Los datos de estaciones automáticas se utilizan para verificar ráfagas e intensidad de precipitación.

Los umbrales establecidos para la verificación son los siguientes:

- Ráfagas:
 - Fuerte: ≥ 60 km/h o 33 kt
 - Severo: ≥ 90 km/h o 48.5 kt
- Precipitación acumulada en una hora:
 - Fuerte: ≥ 20 mm
 - Severo: ≥ 40 mm
- Diámetro del granizo:
 - Fuerte: < 2.5 cm
 - Severo: ≥ 2.5 cm

4.2.1 Estaciones convencionales del SMN

Para la verificación de los fenómenos, se utilizaron las bases de datos internas del SMN, de las cuales se extrajeron los mensajes SYNOP, METAR y SPECI correspondientes a las estaciones convencionales con dotación de personal que emiten mensajes de forma horaria, o entre horas en el caso de los SPECI ante cambios significativos en las condiciones meteorológicas.

El uso de estos datos fue exclusivo para la verificación de granizo y ráfagas, debido a que no cuentan con registros de precipitación acumulada con resolución horaria.

SYNOP

Los mensajes SYNOP fueron suministrados por la Dirección de Operaciones y Comunicaciones (DOC) pertenecientes a la Dirección Nacional de Infraestructura Tecnológica y de Datos (DNITD) del SMN en formato CSV, abarcando el periodo 2015-2025 para la totalidad de las estaciones del país. Debido al volumen y la carga computacional que representa procesar una década de registros horarios, se desarrolló un script de preprocesamiento diseñado para separar la información en archivos anuales y luego, en mensuales. Este proceso utiliza la biblioteca *glob* para realizar una búsqueda indexada de los archivos que componen la serie histórica de los datos. Posteriormente, mediante el uso de la librería *pandas*, se realiza una normalización de la fecha con el formato día/mes/año. Además, se emplea la biblioteca *os* para la gestión de directorios. Como resultado, el script transforma archivos anuales en tablas individuales por mes, optimizando la consulta y el procesamiento de los registros históricos para la verificación de los avisos.

Para el trabajo con los datos SYNOP se utiliza la siguiente información:

- Fecha y hora en UTC
- N° de estación
- Intensidad de la ráfaga máxima
- Tiempo presente
- Primer tiempo pasado
- Segundo tiempo pasado
- Código de precipitación
- Duración de la precipitación

Para la verificación con estos mensajes se trabaja con la biblioteca *shapely* para determinar qué estaciones meteorológicas se encuentran geográficamente dentro del polígono de aviso al momento de su emisión. Se utiliza *pandas* y *datetime* para buscar reportes dentro de la vigencia del aviso con los registros de las bases de datos mensuales.

Verificación de granizo con datos SYNOP

Para el granizo se busca el código de tiempo presente (ww) en el grupo 7 de fenómenos significativos en la sección 1 (7wwW₁W₂):

- 27: Chaparrón (es) de granizo, o de pedrisco, granizo blando o de lluvia y granizo.
- 87: Chaparrón débil de granizo o de granizo blando, con o sin lluvia, o con lluvia y nieve.
- 88: Chaparrón moderado o fuerte de granizo o de granizo blando, con lluvia o sin ella o con lluvia y nieve.
- 89: Chaparrón débil de pedrisco, con lluvia o sin ella, o con lluvia y nieve, sin truenos.
- 90: Chaparrón moderado o fuerte de pedrisco con lluvia o sin ella, o con lluvia y nieve, sin truenos.
- 93: Caída débil de nieve o aguanieve, o granizo, granizo blando o pedrisco en el momento de la observación; tormenta durante la hora precedente.
- 94: Caída moderada o fuerte de nieve o aguanieve, o granizo, granizo blando o pedrisco en el momento de la observación; tormenta durante la hora precedente.
- 96: Tormenta débil o moderada, con granizo, granizo blando o pedrisco, en el momento de la observación.
- 99: Tormenta fuerte, con granizo blando o pedrisco en el momento de la observación.

Ejemplo: **AAXX 11234 87544 41505 71810 10278 20130 39988 40088 53021 79692 86920 333 56440 57900 86720 85540 81950=**

*Tormenta débil o moderada, con **granizo**, en el momento de la observación en el Aeródromo de Pehuajó el 11 de diciembre 2024 a las 23.00 UTC.*

Verificación de ráfagas con datos SYNOP

Para las ráfagas busca el código de ráfagas (ff) del grupo 9 de fenómenos especiales en la sección 3 (91xff):

- 910ff: Ráfaga máxima durante los 10 minutos que preceden inmediatamente a la observación.
- 911ff: Ráfaga máxima durante la hora previa a la observación.

Ejemplo: **AAXX 12234 87444 42670 31416 10177 20110 39379 40073 52066 83300 333 56400 57991 83935 91046 95000=**

***Ráfaga** máxima de 46kt durante los 10 minutos que preceden inmediatamente a la observación en Santa Rosa De Conlara el 12 de diciembre 2024 a las 23.00 UTC.*

Para escribir los resultados, mediante las librerías *ezodf* y *shutil*, se realiza la copia y posterior escritura sobre las hojas de cálculo originales sin afectar el documento original, vinculando cada aviso con los reportes de superficie.

METAR

La DOC también proporcionó los mensajes de METAR y SPECI. Para trabajar con esta información se generó otro script que transforma los reportes METAR desde archivos CSV conteniendo las observaciones desde el 2015 al 2025, a planillas de cálculo separadas por año, con el fin de reducir su tamaño y permitir que la búsqueda de datos sea más rápida y eficiente. Además, se utiliza la biblioteca *re* para limpiar el texto eliminando caracteres y símbolos no imprimibles. Finalmente, a través de *pandas* y utilizando el formato *datetime*, se estandariza la fecha y hora de cada mensaje.

En cuanto a los datos de METAR, se utilizaron las siguientes variables:

- Tipo de mensaje (METAR o SPECI)
- Aeródromo
- Fecha, hora y minutos en UTC
- Mensaje en código

Tras la reestructuración de los datos y de manera análoga a lo realizado para los mensajes SYNOP, se procedió a identificar las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del polígono de cada aviso emitido. Una vez geolocalizadas, el programa verifica de forma automática la ocurrencia de fenómenos de granizo y ráfagas mediante la búsqueda de observaciones que hayan superado los umbrales, siguiendo el procedimiento detallado a continuación.

Verificación de granizo con datos METAR y SPECI

Para el granizo se buscan en el código de tiempo presente significativo (**w'w'**) las abreviaturas:

- GS: Granizo pequeño
- GR: Granizo

Ejemplo: **METAR SAAR 060500Z 26037G58KT 240V300 0200 R20/0550D +TSGRRA SCT004 BKN016 OVC041CB 20/19 Q1001=**

Tormenta fuerte con lluvia y granizo en el Aeródromo de Rosario el 06 de diciembre 2024 a las 05.00 UTC.

Verificación de ráfagas con datos METAR y SPECI

Para las ráfagas se busca la velocidad del viento máxima en superficie (si durante los 10 minutos precedentes a la hora de la observación la velocidad máxima del viento excede a la velocidad media en 10 kt o más) en el código de la intensidad y dirección del viento (**dddffGf_mf_mKT**).

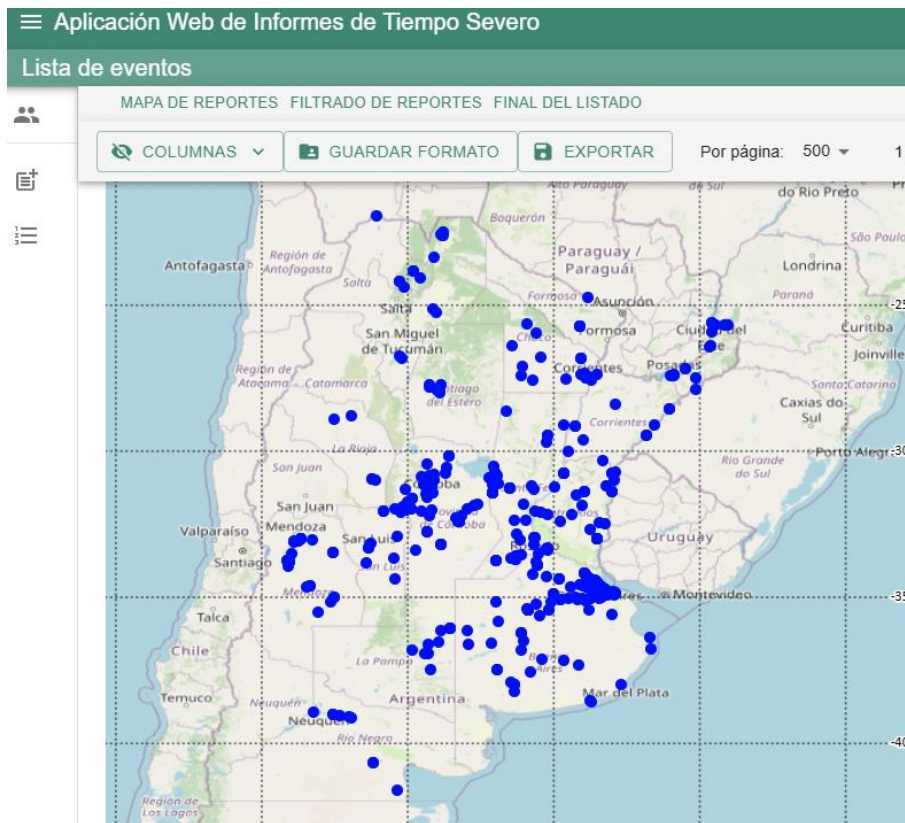
Ejemplo: **SPECI SACO 250108Z 20024G37KT 6000 TS SCT045 FEW050CB 26/21 Q1008 NOSIG=**

Ráfagas de 37 nudos en el Aeropuerto de Córdoba el 25 de noviembre 2024 a las 01:08 UTC.

Estos datos se almacenan en dos planillas de cálculo, una para los SYNOP, y una para los METAR y SPECI.

4.2.2 Base de reportes de tiempo severo SAMHI

A partir de los reportes de tiempo severo registrados en la página web (<https://baseseveros.cima.fcen.uba.ar/event/list>), se eligen aquellos que cuenten con un valor particular del diámetro de granizo, y del viento máximo / estimado, de modo tal de poder utilizar los umbrales para la clasificación de los reportes.



Listado de reportes

	Tipo de Evento	Latitud	Longitud	Hora ↓	Diáme...	Viento...	Viento...
	RAIN STORM WIND	-25.117	-64.125	2024-11-01T01:30:00.000Z			
	RAIN STORM WIND	-25.241	-64.037	2024-11-01T01:30:00.000Z			
	STORM WIND	-26.73	-65.263	2024-10-31T23:30:00.000Z			
	HAIL	-32.07735...	-65.22946...	2024-10-31T20:55:00.000Z			
	HAIL	-32.02646...	-65.03026...	2024-10-31T20:55:00.000Z			
	STORM WIND	-27.92531...	-63.89458...	2024-10-31T20:40:00.000Z			
	STORM WIND	-27.876	-63.976	2024-10-31T20:39:00.000Z		59	84
	STORM WIND	-27.875	-63.977	2024-10-31T20:35:00.000Z			
	RAIN STORM WIND	-27.728	-63.859	2024-10-31T20:30:00.000Z			
	HAIL	-27.731	-64.243	2024-10-31T20:30:00.000Z	20		
	STORM WIND	-27.938	-63.972	2024-10-31T20:30:00.000Z			
	STORM WIND	-27.987	-63.893	2024-10-31T20:30:00.000Z			
	STORM WIND	-27.788	-64.26	2024-10-31T20:15:00.000Z			
	HAIL	-31.92141...	-65.14656...	2024-10-31T15:15:00.000Z	40		

Fig. 6: Arriba: reportes de tiempo severo de la base SAMHI georreferenciados. Abajo: características de cada uno de los reportes visualizados en el mapa. Los reportes que aparecen en verde son los que han sido revisados y confirmados.

Los reportes de la base SAMHI se emplean para la verificación de eventos de granizo y ráfagas. Se desestima su uso para la verificación de lluvia debido a la ausencia de registros con una resolución temporal igual o inferior a una hora, lo cual impide establecer una correlación precisa con los umbrales establecidos.

Para este caso, el script implementa la gestión de archivos con los datos de los avisos y observaciones mediante *shutil* y *ezodf*. Se utiliza *pandas* para la carga y normalización de los reportes, filtrando de manera

espacial y temporal mediante la biblioteca *shapely*, si los eventos reportados ocurrieron dentro del polígono de alerta durante su periodo de validez. Se clasifica automáticamente la severidad de los fenómenos según los umbrales que se describen a continuación.

Verificación de granizo con reportes de la base SAMHI

Para el granizo se buscaron los reportes teniendo en cuenta el tamaño.

Verificación de ráfagas con reportes de la base SAMHI

Para las ráfagas se utilizó el viento máximo y el viento estimado.

Finalmente, el script escribe la cantidad de reportes válidos para cada aviso en las columnas de fuentes de datos en una planilla de cálculo aparte.

4.2.3 Estaciones automáticas del SMN

De forma complementaria, se integraron los datos provenientes de las 22 estaciones automáticas del SMN, distribuidas mayoritariamente en la franja central del territorio nacional. El acceso a esta información se realizó a través de los repositorios internos del organismo, permitiendo la recuperación de series históricas.

A partir de esto, se utilizó la biblioteca *shapely* para el filtrado espacial de las estaciones situadas dentro de los polígonos de los ACP. Mediante una lógica de búsqueda recursiva con *glob* y *os*, el sistema localiza y procesa los archivos específicos según la estación y periodo, encontrando reportes que se hayan dado durante la vigencia de cada aviso.

El algoritmo analiza las ráfagas y la lluvia acumulada en una hora. En cuanto a este último, se implementó un cálculo de intensidad de precipitación horaria móvil, tomando en cuenta la diferencia de precipitación en ventanas de 60 minutos. Finalmente, mediante el uso de *pandas* y *odf*, los resultados se guardan en otra planilla de cálculo, vinculando cada ACP verificado con la información recopilada de las estaciones automáticas.

El algoritmo de detección de reportes a partir de las estaciones automáticas del SMN es similar al utilizado con los datos de las estaciones de la página Wunderground, proceso descrito a continuación.

4.2.4 Estaciones automáticas de Wunderground

Para la integración de la red de EMAs de terceros, se realizó un relevamiento inicial de los identificadores de cada estación en la página web Wunderground (<https://www.wunderground.com/wundermap>). A partir de esto, se seleccionaron estaciones que se encuentren en Argentina, basadas en su ubicación geográfica y disponibilidad de datos históricos.

Una vez identificadas las EMAs, se procede a extraer su latitud y longitud desde la plataforma. El agrupamiento de las coordenadas asociadas a los datos de reportes utilizados en este trabajo permite mantener un registro actualizado y accesible, facilitando su posterior uso en la verificación de los ACPs.

A través de un script se automatiza la extracción de datos meteorológicos históricos mediante la API de Weather Underground, procesando la lista de estaciones definidas previamente. Se utilizan las librerías *requests* para las peticiones *HTTP* y *datetime* para la gestión de fechas, realizando consultas diarias con resultados en *JSON*. Luego, son transformados a un formato apto para una planilla de datos mediante

pandas. Los datos se exportan a archivos individuales de Excel organizados jerárquicamente por carpetas de año y mes.

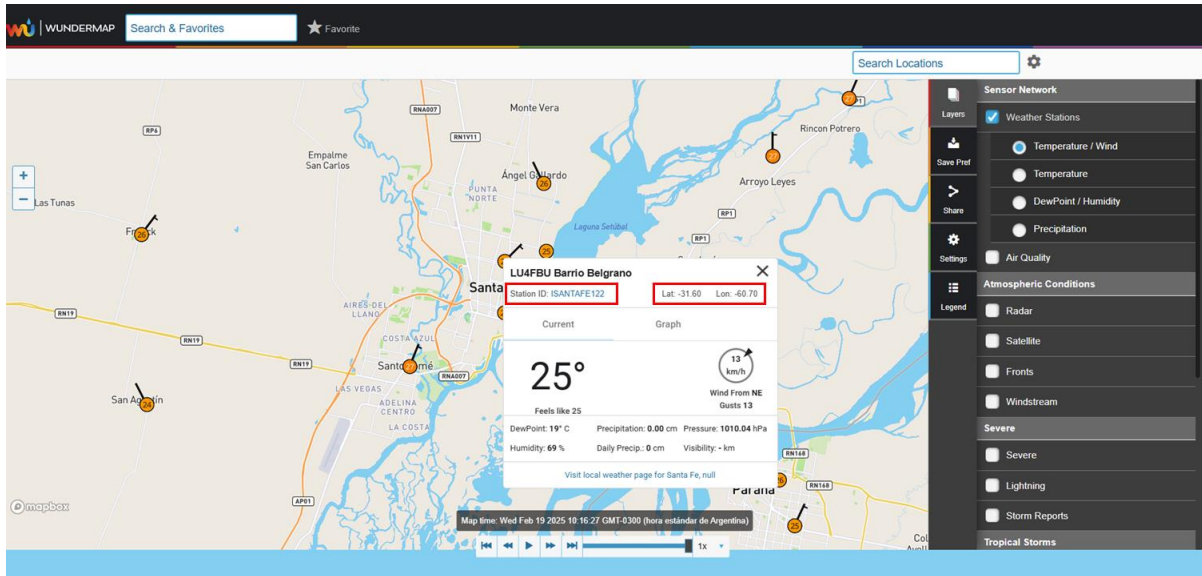


Fig. 7: ID y coordenadas geográficas de una EMA disponible en Wunderground.

Para el análisis de los reportes, se desarrolló un script que realiza una conversión de unidades del sistema anglosajón al métrico, es decir, de pulgadas a milímetros y de millas a kilómetros, y aplica una lógica de ventanas móviles de 60 minutos para inducir intensidad de precipitación en una hora a lo largo del día. Mediante *shapely*, solo se procesan estaciones con reportes dentro del aviso, y tras verificar la ocurrencia del fenómeno dentro del periodo de validez, el script inserta automáticamente los enlaces con los datos en una planilla de cálculo.

Verificación de lluvia con datos de EMAs

Para la verificación de la precipitación en las estaciones automáticas, se realiza la resta móvil de lluvia acumulada cada uno, cinco o diez minutos en ventanas de una hora, y se busca que se cumplan los umbrales.

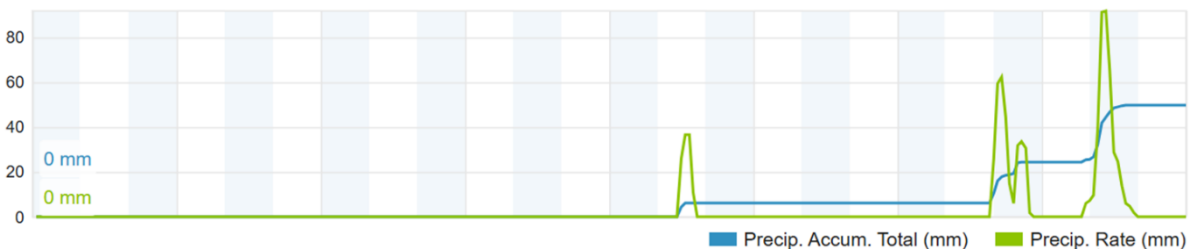


Fig. 8: Evolución temporal de la tasa de precipitación (línea verde), y de la precipitación acumulada (línea azul), registradas por una EMA de Wunderground.

En este ejemplo, para la estación de Benito Juárez (IBENIT16) correspondiente al 31 de diciembre de 2024, se observan varios momentos en los que la intensidad de precipitación supera los 20 mm/h. Sin embargo, no se toma esta variable de forma directa como criterio, ya que no representa necesariamente la cantidad

total de lluvia caída. En su lugar, se calcula la diferencia entre valores acumulados para corroborar que efectivamente hayan precipitado 20 mm o más en el transcurso de una hora.

Verificación de ráfagas con datos de EMAs del SMN y Wunderground

En cuanto a la verificación de las ráfagas, se busca en los datos disponibles cada uno, cinco o diez minutos que se cumplan los umbrales.

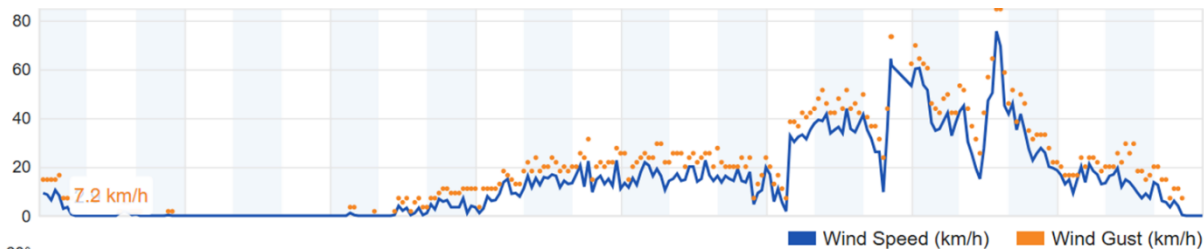


Fig. 9: Evolución temporal del viento medio (línea azul), y de las ráfagas (puntos naranjas) registradas por una EMA disponible en Wunderground.

En el ejemplo de la Figura 9, para la estación de Presidente Roque Sáenz Peña (IPRES118) correspondiente al 12 de diciembre de 2024, se registraron varios momentos en los que las ráfagas de viento superaron los 60 km/h.

Existe una diferencia en la resolución temporal de los datos de las estaciones automáticas utilizadas en este trabajo. Mientras que las estaciones de Wunderground tienen una frecuencia de toma de datos constante de cinco minutos, las estaciones automáticas del SMN presentan una frecuencia variable de entre uno, cinco y diez minutos, dependiendo de la configuración de cada estación y del periodo de registro analizado. Esta alta densidad temporal en ambas redes permite la implementación de las ventanas móviles para el cálculo de intensidades de precipitación.

4.3 Planillas de cálculo con reportes

Al verificar los avisos, los reportes se almacenan en las cinco bases de datos por tipo de fenómeno: una columna para granizo, otra para lluvia, y otra para las ráfagas. Si no se cumple ningún umbral ni se da la ocurrencia de los fenómenos, se saltea el ACP y se continúa con el siguiente. En cambio, si se cumple al menos una de las condiciones, se guarda la información en la planilla, y si hay más de un reporte del mismo tipo, se los separa por coma.

Se generan cinco planillas independientes pero análogas, una para los datos SYNOP, otra para los METAR/SPECI, otra con los datos de las estaciones automáticas del SMN, otra con los reportes obtenidos de Wunderground y una quinta con los reportes de la base SAMHI.

Luego, a través de otro script se unifican los resultados de las cinco fuentes de reportes en una única planilla de cálculo. Mediante el uso de *pandas* y *os*, se combinan de datos preservando la trazabilidad de cada reporte y eliminando redundancias. Se implementa un análisis comparativo que utiliza *re* para comparar el fenómeno pronosticado en el título de la ACP con los resultados obtenidos de cada una de las bases de reportes individuales. Para esto, se crean varias columnas de verificación:

- Una columna que indica si hubo al menos un reporte.
 - Sí: hubo uno o más reportes.
 - No: no hubo ningún reporte.

- Una columna de comparación entre el pronóstico de tormenta fuerte o severa y si se superan o no los umbrales.
 - Fuerte/Fuerte: se pronosticó tormenta fuerte y el reporte fue fuerte.
 - Fuerte/Severo: se pronosticó tormenta fuerte pero el reporte fue severo.
 - Severo/Fuerte: se pronosticó tormenta severa pero el reporte fue fuerte.
 - Severo/Severo: se pronosticó tormenta severa y el reporte fue severo.
- Tres columnas adicionales que comparan si los fenómenos pronosticados (lluvia intensa, ráfagas, granizo) efectivamente se registraron.
 - N/N: no se pronosticó el fenómeno y tampoco ocurrió alguno.
 - G/N: se pronosticó granizo pero no cayó granizo.
 - G/G: se pronosticó granizo y cayó granizo.
 - N/G: no se pronosticó granizo pero cayó granizo.

Lo mismo se realizó con la lluvia y las ráfagas, colocando una L y R respectivamente.

Además, se realiza un cálculo de densidad total estaciones dentro de cada polígono mediante *shapely*, cruzando los polígonos de los avisos con las estaciones georreferenciadas. Por lo tanto, se crea otra columna que indica cuántas estaciones había dentro del área del ACP vs cuántas superaron los umbrales.

- Estaciones verificadas/Estaciones dentro del polígono: por ejemplo, 2/5.

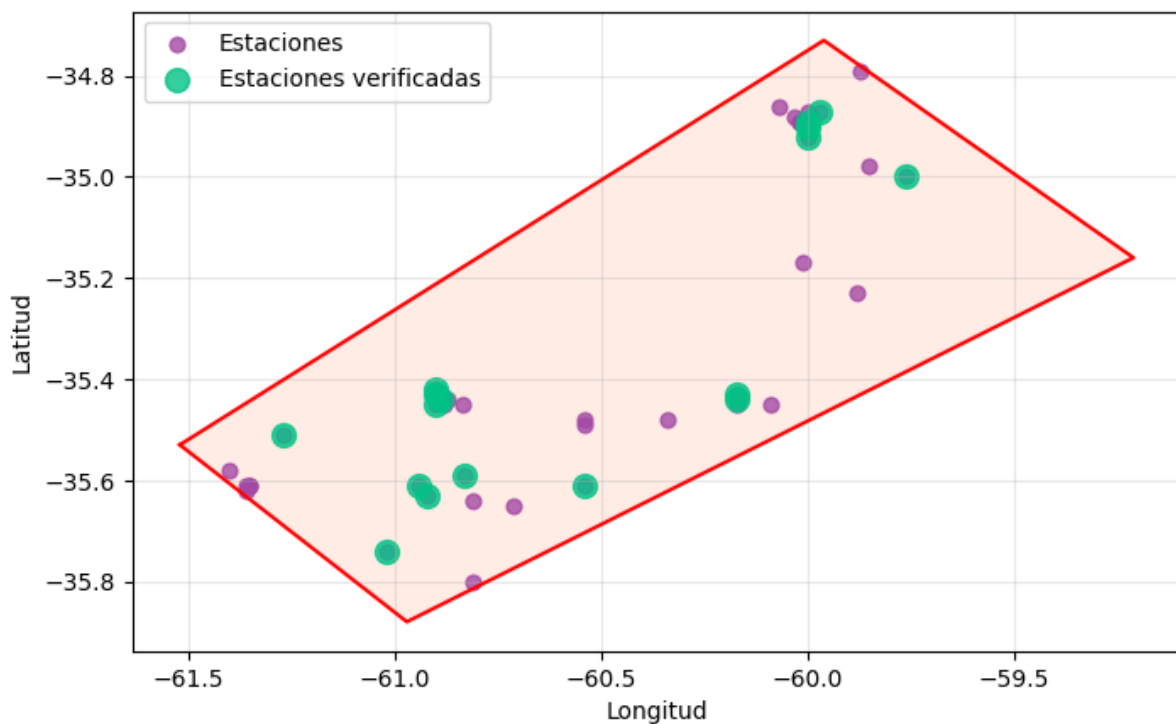


Fig. 10: Polígono correspondiente al aviso a muy corto plazo emitido el 24 de enero de 2025 a las 04:52 HOA. En violeta se muestran las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro del ACP y en turquesa las que cumplen los umbrales de verificación del aviso.

Como ejemplo, en la Figura 10 se muestra el polígono de un aviso con las estaciones que se encontraban dentro y cuales tuvieron al menos un reporte que cumplió el umbral. En este caso, serían 38 estaciones en total, de las cuales 17 tuvieron reportes y 21 que no tuvieron.

Por último, se calcula también el área de superficie afectada por cada aviso, lo que permite dimensionar espacialmente cada evento y vincularlo con la presencia (o no) de reportes observados.

Para el cálculo de superficies, se adoptó el elipsoide de referencia WGS84 (EPSG:4326) a través de la librería *PyProj*. En este sistema se define un modelo matemático de la Tierra que aproxima su forma a un esferoide oblatado, permitiendo que el cálculo de áreas considere la curvatura terrestre. Es el estándar global utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y garantiza la interoperabilidad de los datos espaciales. La medición de áreas mediante el modelo WGS84 supera las limitaciones de las proyecciones planas tradicionales (como Mercator), las cuales tienden a distorsionar las dimensiones a medida que nos alejamos del ecuador. Al operar de esta manera, los resultados obtenidos en kilómetros cuadrados reflejan la extensión real sobre el terreno con precisión geodésica.

5. TRABAJO A FUTURO

Actualmente, se utilizan sólo cinco fuentes principales de datos para la verificación de los ACPs. Esto limita el porcentaje de aciertos, ya que muchos eventos podrían no ser detectados por la falta de reportes disponibles en esas bases de datos.

Se elaborarán y publicarán diversas notas técnicas orientadas a la verificación de ACPs, en las cuales se presentarán de manera sistemática los resultados obtenidos utilizando la metodología desarrollada en este trabajo.

Entre las mejoras previstas a futuro se incluyen:

- Incorporar nuevas bases de datos para ampliar la cobertura y representatividad de las verificaciones, por ejemplo, sumar los datos de otras estaciones automáticas de la red interna del SMN (AWOS) ampliaría la cobertura geográfica y temporal de las observaciones de superficie.
- Activar la verificación automática de forma continua para poder verificar los avisos en tiempo real, sirviendo de ayuda al pronosticador de turno para la emisión o renovación de los ACPs.
- Generar una interfaz gráfica que permita visualizar los reportes encontrados de forma georreferenciada.
- Calcular nuevas métricas al proceso de verificación, como la cantidad de sorpresas en el período, es decir, los reportes que superaron umbrales y estuvieron fuera de la cobertura espacio-temporal de los ACPs.

Se evaluará el impacto de estas implementaciones en los resultados en futuras etapas del análisis.

En paralelo, se está trabajando en el desarrollo de un sistema automático para la verificación de alertas, siguiendo una lógica similar a la implementada para los ACPs.

6. REFERENCIAS

- De Elía, R., Vidal, L., Lohigorry, P., Mezher, R., & Rugna, M. (2017). *El SMN y la red argentina de radares meteorológicos (Nota Técnica SMN 2017-39)*. Servicio Meteorológico Nacional.
- International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) (2024). *WGS 84 - World Geodetic System 1984. EPSG Dataset v11.0, EPSG:4326*. https://epsg.org/crs_4326/WGS-84.html
- Ishikame, G., Lohigorry, P., & Pappalardo, L. (2022). *Caracterización a los avisos a muy corto plazo en el período 2014 - 2020 (Nota Técnica SMN 2022-134)*. Servicio Meteorológico Nacional.
- Irurzun, P., San Martino, F., Pérez, S., Patanella, M., Emperador, A., Lohigorry, P. (2022). *Verificación de Avisos a corto Plazo en el Servicio Meteorológico Nacional*. Servicio Meteorológico Nacional.
- Lohigorry, P., De Elía, R., & Russián, G. (2018). *Pronósticos a muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional (Nota Técnica SMN 2018-46)*. Servicio Meteorológico Nacional.
- Roebber, P. J., (2009) *Visualizing Multiple Measures of Forecast Quality*. *Wea. Forecasting*, 24, 601–608, <https://doi.org/10.1175/2008WAF2222159.1>
- Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) (2005). *Common Alerting Protocol Version 1.2*. <https://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2-os.html>
- Salio, P., Bechis, H., Ribeiro, B. Z., de Lima Nascimento, E., Galligani, V., Garcia, F., Alvarenga, L., Alvarez Imaz, M. d. I. M., Baissac, D. M., Barle, M. F., Bastías-Curivil, C., Benedicto, M., Cancelada, M., Carvalho da Costa, I., D'Amen, D., de Elía, R., Diaz, D. E., Duarte Páez, A., González, S., Goede, V., Goñi, J., Granato, A., Machado Lopes, M., Mederos, M., Menalled, M., Mezher, R., Mingo Vega, E. J., Nicora, M. G., Pini, L., Rondanelli, R., Ruiz, J. J., Santayana, N., Santos, L., Schild, G., Simone, I., Valenzuela, R., Velazquez, Y. R., Vidal, L., & Villagrán Asiares, C. I. (2024). *Toward a South American high-impact weather reports database*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105(7), E1204–E1217. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0063.1>
- San Martino, F., Pérez, S., & Russián, G. (2019). *Verificaciones de pronósticos a muy corto plazo en el SMN (Nota Técnica SMN 2019-64)*. Servicio Meteorológico Nacional.
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.
- World Meteorological Organization (WMO) (2023). *Guide to operational weather radar best practices (WMO-No. 1257)*. World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/idurl/4/68834>

ANEXO I

Documentación del Entorno de Desarrollo y Librerías en Python

1. Especificaciones de las Librerías Utilizadas

El sistema de verificación automatizada de ACPs fue desarrollado íntegramente en el lenguaje de programación Python, seleccionando un conjunto de librerías especializadas que permiten el manejo de gran cantidad de datos, información georreferenciada, el procesamiento de series temporales, y la evaluación y el filtrado por umbrales. Se especifican en la Tabla I.

Tabla I: Especificaciones de las librerías de Python utilizadas en el sistema de verificación.

Librería	Función técnica
<i>Pandas</i>	Utilizada para la estructuración de tablas de datos (<i>DataFrames</i>). Permite la normalización de fechas y la ejecución de cálculos de ventanas móviles para la intensidad de precipitación.
<i>Shapely</i>	Es la base para el análisis espacial. Permite definir los polígonos de los ACP e identificar las estaciones que se encuentran dentro de cada uno de ellos.
<i>Requests / BeautifulSoup</i>	Gestiona la comunicación con los servidores del SMN para la descarga de información estructurada desde XML en formato CAP, y para la consulta de datos mediante la API de Weather Underground.
<i>PyProj</i>	Proporciona las herramientas geodésicas necesarias para calcular el área real de los polígonos (en km ²) utilizando el elipsoide WGS 84 (EPSG:4326).
<i>Lxml</i>	Permite una lectura rápida y eficiente de la estructura jerárquica de los ACPs que es proporcionada por el formato CAP.
<i>Shutil</i>	Permite la gestión de archivos realizando copias de las planillas y moviendo los reportes procesados entre ellas.
<i>Ezodf / Odffpy</i>	Aseguran la compatibilidad con formatos de software libre (.ods), permitiendo que el script escriba los resultados directamente en las planillas de verificación.
<i>Datetime</i>	Utilizado para la sincronización temporal de avisos y reportes, gestionando la conversión de horarios locales (HOA) al estándar internacional UTC.
<i>Re (Regex)</i>	Implementa expresiones regulares para la limpieza de cadenas de texto en mensajes METAR/SPECI y para la lógica de comparación de fenómenos pronosticados.
<i>Glob / os</i>	Proveen las funciones necesarias para la navegación en el sistema de archivos, permitiendo el procesamiento recursivo de bases de datos segmentadas por mes y año.

2. Referencia Espacial

Para garantizar la precisión de los cálculos realizados por las librerías mencionadas en la primera parte del anexo, todos los datos espaciales (coordenadas de estaciones y vértices de polígonos) se procesan bajo el estándar EPSG:4326. Esto asegura que la integración entre los polígonos, las estaciones oficiales y de terceros sea geográficamente consistente.

ANEXO II

Metodología de verificación previa

Para contextualizar la nueva metodología propuesta en este trabajo, resulta indispensable describir el esquema de verificación de ACPs que el SMN ha utilizado con anterioridad. Este sistema se ha fundamentado en la detección y validación manual de reportes de tiempo severo en superficie, conforme a los lineamientos de Irurzun et al. (2022).

1. Definición de umbrales

La verificación comenzaba con la categorización de los fenómenos. Se consideraba que un reporte era válido para la evaluación de un ACP si cumplía con los criterios de intensidad asociados a tormentas fuertes o severas. En la Tabla I se detallan los umbrales específicos para cada fenómeno.

Tabla I: Umbrales de intensidad para la clasificación de fenómenos asociados a tormentas fuertes y severas.

Fenómeno	Umbral	
	Fuerte	Severo
Granizo	≤ 2 cm	> 2 cm
Ráfagas	≥ 60 y < 90 km/h	≥ 90 km/h
Lluvia intensa	≥ 20 mm/h y < 40 mm/h	≥ 40 mm/h

2. Criterios de verificación y validación

Dada la naturaleza diversa de los datos, el proceso de verificación exigía criterios de validación rigurosos para evitar datos erróneos o falsos. En la Tabla II se listan los requisitos utilizados para transformar un reporte no oficial en un dato verificado.

Tabla II: Criterios de validación de fenómenos meteorológicos según fuente de información y umbrales de severidad.

Fenómeno	Fuente de información	Validación
Granizo	Mensajes METAR/SPECI	Al menos un reporte
	Reportes de redes sociales	Una publicación incluyendo una foto del granizo o al menos dos publicaciones reportando el fenómeno
	Noticias locales utilizando la búsqueda avanzada de Google	Al menos un reporte
Ráfagas	Mensajes METAR/SPECI	Al menos un reporte
	Mediciones de EMAs automáticas no oficiales en Wunderground	Al menos dos mediciones con ráfagas iguales o mayores a 60km/h
	Noticias locales utilizando la búsqueda	Al menos un reporte

	avanzada de Google	
Lluvia intensa	Reportes de redes sociales	Al menos una publicación en foto/video con anegamientos
	Mediciones de EMAs automáticas no oficiales en Wunderground	Al menos dos estaciones cercanas con acumulados igual o mayor a 20mm/h

3. Métricas de desempeño

El análisis de la calidad de los ACPs se realizaba bajo un enfoque de verificación por eventos. Para ello, se organizaron los resultados en una Tabla de Contingencia (Roebber, 2009) (Tabla III), que permitía cruzar lo pronosticado con lo observado.

Tabla III: Tabla de contingencia.

		Observado	
		Si	Severo
Pronóstico	Si	Aciertos (A)	Falsas alarmas (B)
	No	Sorpresas (C)	Aciertos negativos (D)

El valor D representa los casos donde no se pronosticó ni ocurrió el evento, y aunque se incluye en la tabla, no afecta el cálculo de las métricas seleccionadas.

A partir de esta matriz, se calculaban los índices estadísticos que medían la efectividad del sistema (Tabla IV). Estos indicadores permiten entender no solo cuántas tormentas se detectaron, sino también qué tan confiable fue la alarma emitida.

Tabla IV: Umbrales de intensidad para la clasificación de fenómenos asociados a tormentas fuertes y severas.

Métrica	Definición	
Probabilidad de Detección	Fracción de los eventos de tiempo severo que fueron pronosticados por un ACP.	$POD = \frac{A}{A + C}$
Relación de Falsa Alarma	Proporción de casos en los que se emitió un ACP pero el fenómeno no llegó a ocurrir en superficie.	$FAR = \frac{B}{A + B}$
Tasa de Éxito (Success Ratio)	Porcentaje de las ACPs emitidos que resultaron en un acierto.	$SR = \frac{A}{A + B}$
Valor Crítico de Éxito (Threat Score)	Evalúa la precisión del sistema penalizando tanto las sorpresas como la emisión de falsas alarmas.	$TS = \frac{A}{A + B + C}$
Sesgo del Pronóstico	Establece si existe una inclinación a sobreestimar o subestimar la ocurrencia de fenómenos severos en relación a los reportes observados.	$BIAS = \frac{A + B}{B + C}$

4. Limitaciones

Resulta fundamental reconocer que la metodología de verificación manual previa descrita en este anexo presenta una dependencia fuerte con la densidad de la red de observación y de la disponibilidad de reportes en redes sociales. Esto genera un sesgo geográfico inevitable, donde la falta de datos en zonas rurales o fuera de los núcleos urbanos puede interpretarse erróneamente como una ausencia del fenómeno, afectando la representatividad de las métricas obtenidas. Por lo tanto, esta verificación se utilizaba únicamente para las principales zonas urbanas del país.

La suma de bases de datos mucho más extensas y la extensión a todo el país, además de la alta carga de trabajo que demanda el procesamiento de verificación manual, son los factores que motivan el desarrollo de la nueva técnica presentada de verificación en el cuerpo principal de esta nota técnica. Por lo tanto, se busca proporcionar una evaluación del desempeño de los ACPs más robusta, objetiva y espacialmente continua.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).