



Servicio
Meteorológico
Nacional

Pronósticos a muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional

Nota Técnica SMN 2018-46

Pedro Lohigorry¹, Ramón de Elía², Germán Russián¹

¹ *División Vigilancia Meteorológica por Sensores Remotos, Centro Meteorológico nacional, Gerencia Servicios a la Comunidad, SMN*

² *Departamento de Investigación y Desarrollo, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, SMN*

Marzo 2018



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

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

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) monitorea las 24 horas del día los 7 días a la semana la evolución de los patrones meteorológicos para detectar lo antes posible situaciones que pueden poner en riesgo la vida de la población o producir daños materiales. El pronóstico de muy corto plazo es aquel que se ocupa de los fenómenos severos que sólo son predecibles en la escala de los minutos a unas pocas horas de antelación. Cuando los pronosticadores prevén la aparición de un fenómeno severo generalmente asociado con convección emiten un Aviso meteorológico a muy Corto Plazo (ACP) para informar a la población y a los responsables de la seguridad de las personas y de la infraestructura pública. En esta Nota Técnica se describe el proceso de emisión de estos ACPs y se discute su potencial y limitaciones.

Abstract

The National Weather Service of Argentina (Servicio Meteorológico Nacional, SMN in Spanish) follows and predicts the evolution of weather patterns on a continuous basis with the aim of detecting as early as possible those systems that can threaten life and property. Short-term forecasting focuses on those events that are particularly severe and have low predictability --from some minutes to a few hours. When forecasters anticipate the presence of a severe weather event related with convection, they issue a short term warning (Aviso meteorológico a muy Corto Plazo, ACP in Spanish) to inform the population and those responsible of the well-being of people and infrastructure. This Technical Note describes the process leading to the release of the ACP, and its potential and limitations are discussed.

Palabras clave: alertas meteorológicas, Aviso meteorológico a muy Corto Plazo, tormentas severas, radar, satélite

Citar como:

Lohigorry, P., de Elía, R., Russian, G., 2018: Pronósticos a muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2018-46.

1. INTRODUCCION

Existen diferentes tipos de pronósticos meteorológicos dependiendo del fenómeno a prever y de la distancia temporal al momento de ocurrencia del mismo. Por ejemplo, las olas de frío pueden preverse con varios días de anticipación mientras que la llegada de una tormenta eléctrica a una localidad dada puede conocerse en muchas circunstancias no más de una hora antes de que sus efectos comienzan a hacerse sentir. En el caso de las tormentas cabe agregar que el riesgo de ocurrencia en una determinada región sí puede pronosticarse con varios días de anticipación, pero prever la localización de una tormenta individual con un nivel de confianza alto sólo es posible cuando la tormenta ya existe y se desplaza amenazando nuevas localidades. Los pronósticos a muy corto plazo son precisamente aquellos que se interesan en el último tramo de la cadena de previsión, una vez que el análisis de resultados de modelos y observaciones indican la presencia de regiones con riesgos elevados de desarrollo de fenómenos fuertes o severos. Debido al tiempo breve que existe entre la detección de uno de estos fenómenos y su potencial efecto negativo, los pronósticos a muy corto plazo (también llamado nowcasting) se basan sobretodo en el uso de instrumentos de detección y simples algoritmos, dejando prácticamente de lado herramientas complejas de modelización.

2. INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA LOS PRONÓSTICOS A MUY CORTO PLAZO EN EL SMN

Los pronósticos a muy corto plazo sobre eventos severos como vientos fuertes, tormentas eléctricas, granizo, lluvias torrenciales, etc., son responsabilidad de la División Vigilancia Meteorológica por Sensores Remotos (DVMSR) del Departamento Centro Meteorológico Nacional (CMN) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Para cumplir su rol esta oficina cuenta con gran cantidad de información que le permite seguir el desarrollo de este tipo de fenómenos, siendo los más importantes los siguientes.

2.1 Información proveniente de la red de radares

La red de radares meteorológicos con que cuenta Argentina está descrita en detalle en de Elía y otros (2017). Esta cubre una parte importante del país sobre todo la centrada en la zona de producción agropecuaria. La DVMSR considera al radar como el instrumento número uno a la hora de realizar sus pronósticos por su capacidad de detectar las tormentas en su composición tridimensional del agua precipitante, independientemente de la hora del día, y disponibilizando nueva información con una frecuencia alta (por ejemplo, de 10 minutos). Esta alta frecuencia de actualización de la información permite tener una clara visión de su evolución temporal y proyectar sus próximos pasos. Algunos tipos de radar producen información adicional a través de sus variables relacionadas con la doble polarización que permiten el reconocimiento de la existencia de granizo antes de que éste precipite, y gracias a la medición Doppler, se puede conocer parcialmente el campo de vientos asociado a la tormenta, usualmente resultando en un buen indicio de la severidad de la misma. Los radares también tienen sus limitaciones: por ejemplo, la capacidad de inspección de una tormenta disminuye con la distancia al radar, particularmente perdiendo información en los niveles bajos, importantes estos tanto para evaluar la cantidad de precipitación caída como para detectar los inicios de las mismas. Además, la señal de radar de banda C, la de la mayoría de los radares existentes en Argentina y en muchos otros países del mundo, sufre de atenuación al atravesar zonas de precipitación intensa, lo que genera áreas donde la intensidad de las tormentas puede ser severamente subestimada (ver figuras 2.11 y

2.12 de Fabry 2015). En el caso de los radares cercanos a importantes centros urbanos, las interferencias ocasionadas por equipos de comunicación que trabajan en frecuencias cercanas ocasionan contaminaciones a la señal de radar que complican su interpretación (Saltikoff y otros 2016). La complejidad electromecánica del radar hace de este un instrumento que sufre interrupciones de su funcionalidad con relativa frecuencia (ver por ejemplo, Lohigorry y otros 2017).

2.2 Información satelital

Hoy día existe una gran abundancia de información satelital que tiene muy variado uso. Para pronósticos a muy corto plazo la DVMSR la utiliza para apreciar la situación general y analizar indicios de una posible evolución, por ejemplo en zonas donde se aprecia una estabilización o desestabilización de una masa de aire. Cuando las tormentas ya están en su estado maduro, las imágenes satelitales ayudan a detectar patrones propios del tiempo severo como los llamados “overshooting top” o “enhanced V” (Brunner et al 2007). Si la región bajo vigilancia no cuenta con radares meteorológicos se requiere extraer más información a partir de estas imágenes, como por ejemplo la localización exacta del evento. Sin embargo, la posición ecuatorial de los satélites dificulta estos intentos debido a su ángulo de visión de las latitudes medias. Además, los datos medidos de los toques nubosos no siempre se correlacionan con lo que sucede a nivel del suelo. Todos estos factores contribuyen a que no se emitan Avisos meteorológicos a muy Corto Plazo (ACP) en regiones donde no se cuenta con datos de los radares meteorológicos operativos (ver de Elía y otros 2017).

La puesta en funcionamiento del GOES-16 a fines de 2017 otorga una imagen de toda Argentina cada 15 minutos, es decir, cuatro veces más resolución temporal en todos sus canales respecto del GOES-13 en el centro y norte de Argentina, mientras que el aumento en la resolución temporal es de doce veces en el sur del país. La cantidad de canales se multiplicó aproximadamente por tres respecto del satélite anterior (de 5 a 16 canales). En particular, los nuevos canales permiten confeccionar productos que combinan la información de dos o más canales con el fin de detectar convección severa. Sin embargo, la ausencia de información en los canales reflectivos durante la noche sigue imponiendo un límite a los datos satelitales. La experiencia que se acumulará en los próximos años al utilizar los datos del nuevo satélite durante las operaciones permitirá reevaluar el rol que tiene hasta ahora la imagen satelital en el pronóstico a muy corto plazo.

2.3 Información sobre actividad eléctrica

La DVSMR tiene acceso a diferentes tipos de fuente de información relacionada con la actividad eléctrica. En la actualidad se considera a los obtenidos por la red de detección de rayos de Vaisala GLD360 como una de las informaciones más útiles. Su tasa de renovación de información del orden del minuto, su resolución espacial, y su capacidad de producir información independientemente de la hora del día o de la intensidad de la tormenta la hacen ideal para apreciar el momento en que un sistema comienza a mostrar signos de severidad. Sin embargo, existen dudas respecto a la tasa de detección en las distintas zonas del país, dado que la densidad de la red y la localización y el estado de los detectores es información que VAISALA no comparte con sus clientes. Además, al ser una red que solo puede detectar los rayos nube a tierra, es posible que algunos incrementos significativos en la actividad eléctrica no sean detectados (ver Schultz y otros 2011).

Existen otras redes gratuitas (ver <http://wwlln.net/>) pero su precisión no las hace ideal para tareas de vigilancia. Además, la ausencia de una visualización cómoda y ágil como la que tiene el sistema de VAISALA también impacta en el uso operativo de esta herramienta.

El GOES 16 también cuenta con el novedoso Mapeador Geoestacionario de Relámpagos (GLM por sus siglas en inglés). Este instrumento detecta la actividad eléctrica total (es decir, rayos nube a tierra y nube a nube) de las tormentas con una resolución espacial de 10 km y una resolución temporal de actualización en el orden de 1 minuto. Se espera un impacto positivo en el análisis de tormentas severas debido a su alta tasa de actualización.

Ante la ausencia de radar --o si estos se encuentran fuera de operación (ver Lohigorry y otros 2017) -- la información de la actividad eléctrica resulta un complemento fundamental a la información satelital. Sin embargo, cabe aclarar que si bien la combinación de la información satelital con la proveniente de la red de detección de rayos produce información muy rica en cuanto a la severidad de tormentas, por razones operativas y atendiendo a disminuir el número de falsas alarmas la DVMSR no emite ACPs en estas condiciones.

2.4 Información extraída de las redes sociales

Una de las necesidades clave de los pronosticadores trabajando en el corto plazo es la necesidad de verificar en tiempo real la aparición efectiva de los fenómenos pronosticados. Por ejemplo, las observaciones de los sensores remotos revelan *indicios* de fenómenos que se estarían produciendo, pero rara vez la certeza es del 100% con respecto a la intensidad de los mismos. Es por esto que la verificación en tiempo real es una gran ventaja cuando está disponible.

En el año 2015 el SMN estrenó la aplicación ALERTAMOS (ver Sacco y otros 2018, <http://alertamos.smn.gov.ar/>), cuyo objetivo es facilitar el acceso a invaluable información meteorológica provista por aquellos interesados en colaborar (incluyendo a los no profesionales). La experiencia ha mostrado que el uso por parte de la población de esta importante herramienta necesita de un trabajo permanente de difusión por parte del SMN para mantener su existencia presente en el imaginario de los ciudadanos. Este trabajo de difusión no ha sido del todo constante por lo que la aplicación se cree rinde por debajo de lo esperable. Además, como los reportes son anónimos no es posible realizar un análisis sobre la calidad de los reportes de un dado usuario. En el caso contrario, se podría diferenciar entre un grupo de usuarios productores de información confiable versus otro grupo de usuarios que merecen menos atención. La única manera de evitar este problema es hacer uso de la "ley de los grandes números", es decir, utilizar la cantidad de reportes de un fenómeno dado como índice de la confianza que merece.

Pero la dinámica de las redes sociales no se reduce a una colaboración directa con el SMN. Muchos internautas tienden a comunicar a sus pares por motivos variados la aparición de fenómenos llamativos como ráfagas severas y granizo. Unos de los típicos medios de comunicación hoy día es Twitter. A través de la búsqueda de palabras claves como "granizo", se puede obtener un mapeo de la localización de estos reportes. Si bien esta fuente de información está lejos de ser científicamente confiable, como se menciona en el párrafo

anterior, la ley de los grandes números tiende a ayudar al pronosticador que gana confianza en estos reportes cuando sus números son elevados. En la actualidad, además de Twitter se encuentra de utilidad en acercarse a Instagram y a ciertos foros como foro.gustfront.com.ar/.

2.5 Información proveniente de estaciones meteorológicas

El SMN cuenta con 125 estaciones meteorológicas de superficie cubriendo todo su territorio (incluyendo la Antártida), lo que equivale una estación por cada 20.000 km². Esta densidad, apropiada para muchas actividades, no es ideal para la detección y seguimiento de tormentas severas cuya característica es que ciertos fenómenos pueden aparecer de manera violenta en una escala muy reducida (por ejemplo, no es inusual que sectores con fuerte caída de granizo sean menores a 10 km²). La detección de fenómenos tan pequeños con una densidad de estaciones tan baja es equivalente a querer atrapar mojarritas con una red diseñada para atrapar peces espada. Además, el plan de labor de los observadores que allí trabajan no contempla el registro ni la transmisión de esta información en el momento que ocurre, sino a un ritmo horario. Otro factor importante a tener en cuenta son las limitaciones del código SYNOP (código estandarizado por la Organización Meteorológica Mundial para comunicar las observaciones). En particular, los observadores en las estaciones del SMN solo reportan los fenómenos fuertes o severos que ocurren entre el minuto 50 y 59 de cada hora. Si el fenómeno ocurrió durante los minutos 00 y 49 de cada hora, el observador sólo puede reportar que ocurrió una tormenta, pero no puede discriminar si fue una tormenta común o una tormenta fuerte. Sin embargo, *si la estación del SMN es además una estación de aeropuerto*, el observador emite un mensaje SPECI -- cuyo destinatario es el mundo aeronáutico civil -- en donde puede reportar la tormenta fuerte, y las ráfagas y granizo que hayan ocurrido. Este mensaje SPECI se lo emite a cualquier hora y lo más rápido posible. Por todos los motivos citados, las estaciones meteorológicas oficiales del SMN no son siempre de gran utilidad para detectar los fenómenos que se pretenden anticipar.

Otra es la situación de las estaciones automáticas. Si bien estas tienen grandes falencias para medir con precisión, su presencia cada vez más abundante en diversas instituciones (SMN, INTA, cooperativas agropecuarias, municipalidades, etc.) y su comunicación instantánea hacen de estas un insumo de información interesante. No obstante, esta información se encuentra muy dispersa en diferentes páginas web y hasta ahora no se ha desarrollado un sistema que las unifique y facilite su visualización en tiempo real.

3. OBJETIVO DEL AVISO METEOROLÓGICO A MUY CORTO PLAZO

Los ACP son el último eslabón de una serie de pronósticos que se emiten mejorando la precisión de los mismos a medida que el plazo de pronóstico se acorta. En sistemas de alerta temprana se suele usar el concepto “en sus marcas, listos, ya” (ver capítulo 6 de Hill y otros 2012). La intención principal de este enfoque es comunicar a través de distintos productos el aumento en el grado de certeza a medida que avanza el tiempo sobre una posible situación de tormentas peligrosas. Por ejemplo si nos interesa conocer un pronóstico de un día específico dentro de los próximos 14 días podemos utilizar la llamada “perspectiva semanal”, que corresponde a la categoría “en sus marcas”. La perspectiva semanal es generada a través del uso de diferentes modelos numéricos, considerando como input la situación actual (información de impacto, satélite, instrumentos de observación, entre otros). En este producto se delimitan regiones del país donde existe la

posibilidad de que ocurran eventos meteorológicos de alto impacto tales como tormentas, lluvias persistentes, temperaturas extremas, vientos, nevadas, entre otros. Este producto, que será discutido en una futura Nota Técnica, es generado en conjunto por los Departamentos de Hidrometeorología, Climatología, Agrometeorología y la División Pronóstico (DP) del CMN y abarca desde el momento de la emisión hasta los 14 días siguientes. Otro producto útil para la gestión del riesgo son los pronósticos rutinarios a 4 días. Estos productos se emiten todos los días a las 5:30 Hora Oficial de Argentina (HOA) y 17:30 HOA para el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) y a las 6:00 HOA y 18:00 HOA para todo el resto del país. Estos pronósticos discriminan la posibilidad y el tipo de precipitación (por ejemplo: “probabilidad de lluvias aisladas” o “probabilidad de lluvias y tormentas”).

En una escala de tiempo más cercana a un evento de tormentas (“listos”), la DP emite las alertas meteorológicas cuando el pronosticador tiene una confianza moderada o alta sobre la ocurrencia de fenómenos fuertes o severos. Debido a que las alertas se emiten entre 12 y 24 horas antes de que comiencen a desarrollarse los fenómenos, el área bajo alerta suele ocupar una o más provincias o partes de provincias (ronda generalmente los 400.000 km²). Las alertas meteorológicas por tormentas fuertes son en general un buen estímulo para llevar adelante una vigilancia muy activa a través de sensores remotos. Cuando el pronosticador de la DVMSR arriba a su puesto de trabajo debe ponerse al tanto de la situación meteorológica haciendo uso de la información producida en la DP. Además, debe analizar los modelos numéricos más actualizados y las últimas mediciones disponibles de todos los instrumentos discutidos en la sección 2 de la presente nota. Una vez que se construye el modelo mental sobre cómo evolucionará la situación meteorológica durante las 12 horas de la jornada de trabajo, comienza su vigilancia continua a través de los instrumentos disponibles, incluso sin descuidar las zonas donde la DP no ha previsto posibles fenómenos severos. En caso de verificarse fenómenos severos en regiones que no se encuentran bajo alerta, el pronosticador de la DVMSR le comunica la novedad a la DP a la máxima brevedad posible.

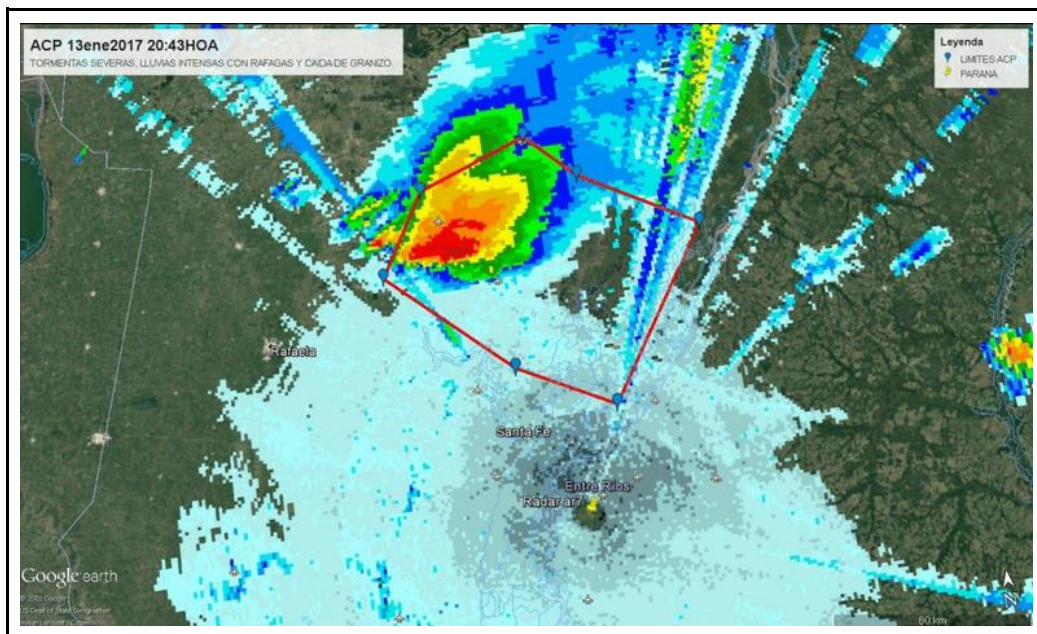
En general el sistema detector de rayos es el primero en indicar signos de severidad en las tormentas, ya que no solo los rayos son un fenómeno asociado comúnmente presente sino que además estos sistemas tienen una actualización cada 60 segundos. Cuando el sistema detector de rayos no está en funcionamiento o la tormenta tiene poco desarrollo eléctrico es el radar el instrumento que primero muestra signos de severidad en las tormentas en desarrollo. Si bien este último provee una información tridimensional muy completa, el tiempo que tarda en tomar la información del volumen es importante y a ello se le suma el tiempo del procesamiento y de la transmisión de esta voluminosa información. Por ejemplo, en el caso del radar de Ezeiza del SMN que comienza un volumen a las 14:00 HOA, lo termina a las 14:07 HOA y se lo puede ver en la DVMSR entre las 14:20 HOA y 14:25 HOA. Estos valores dependen de los radares y sus procesadores: en el caso de los radares del INTA la demora entre el inicio del escaneo y la visualización es de 15 min. Es decir, parte de la información que se está observando ya corresponde a lo que sucedió varios minutos antes.

Cuando el pronosticador detecta patrones de tiempo severo que se comprueban en otros instrumentos --por ejemplo la presencia de un “hook echo” (del inglés, patrón en forma de gancho) en la reflectividad que se confirma con el aumento de la actividad eléctrica en la red de detección de rayos-- debe entonces asegurar un seguimiento intensivo de estos sistemas. Una vez que el pronosticador tiene suficiente confianza en el carácter fuerte o severo de la tormenta (ver clasificación en apéndice), el pronosticador debe emitir avisos públicos para resguardar la vida y los bienes de la población. Esto lo hace a través de los llamados ACP que consiste en delimitar una región del país a través de un polígono encerrando la zona que el pronosticador

crece tiene posibilidades de ser afectada por determinados fenómenos (ver figura 1). Estos avisos tienen un período fijo de validez de tres horas y corresponden a la categoría “ya”.

4. EJEMPLOS

La Figura 1 muestra la evolución de una tormenta intensa al norte de la ciudad de Paraná --localidad donde está ubicado el radar-- durante el 13 de enero del 2017. Las tres imágenes sucesivas corresponden a las 20:10, 21:10 y 22:10 (todas en HOA). El ACP fue emitido a las 20:43 HOA y su área de cobertura está indicado por el polígono rojo que el pronosticador definió de acuerdo a su expectativa sobre la futura evolución de la tormenta. En este caso la tormenta tiene una estructura muy bien definida y un movimiento claro hacia el sudeste. El sistema recorre el polígono a alta velocidad y al salir del mismo todavía está bien formado. Sin embargo, las imágenes de radar siguientes (no mostradas aquí) indican que la tormenta perdió rápidamente intensidad (hacia las 22:40 HOA ya no presentaba peligro), motivo por el cual no se emitió un nuevo ACP. El objetivo del pronosticador es que el polígono contenga la región durante la cual la celda está asociada a fenómenos violentos. En el rincón superior izquierdo de cada imagen se aprecia la hora de emisión del ACP y los fenómenos asociados pronosticados, en este caso, lluvias intensas con ráfagas y caída de granizo. En este caso se puede ver que el polígono se ajusta bastante bien al recorrido tomado por la tormenta. Esto es posible gracias al comportamiento de este tipo de sistema meteorológico. La demora entre las imágenes de radar de las 20:10 HOA y la emisión del ACP fue de 33 minutos. Como se explicó más arriba, el pronosticador tiene la información del volumen de radar de las 20:10 HOA a las 20:25 HOA. Además, confeccionar el ACP (definir el polígono estimando el movimiento de la celda, definir los fenómenos y la intensidad de los mismos, etc.) demora unos minutos.



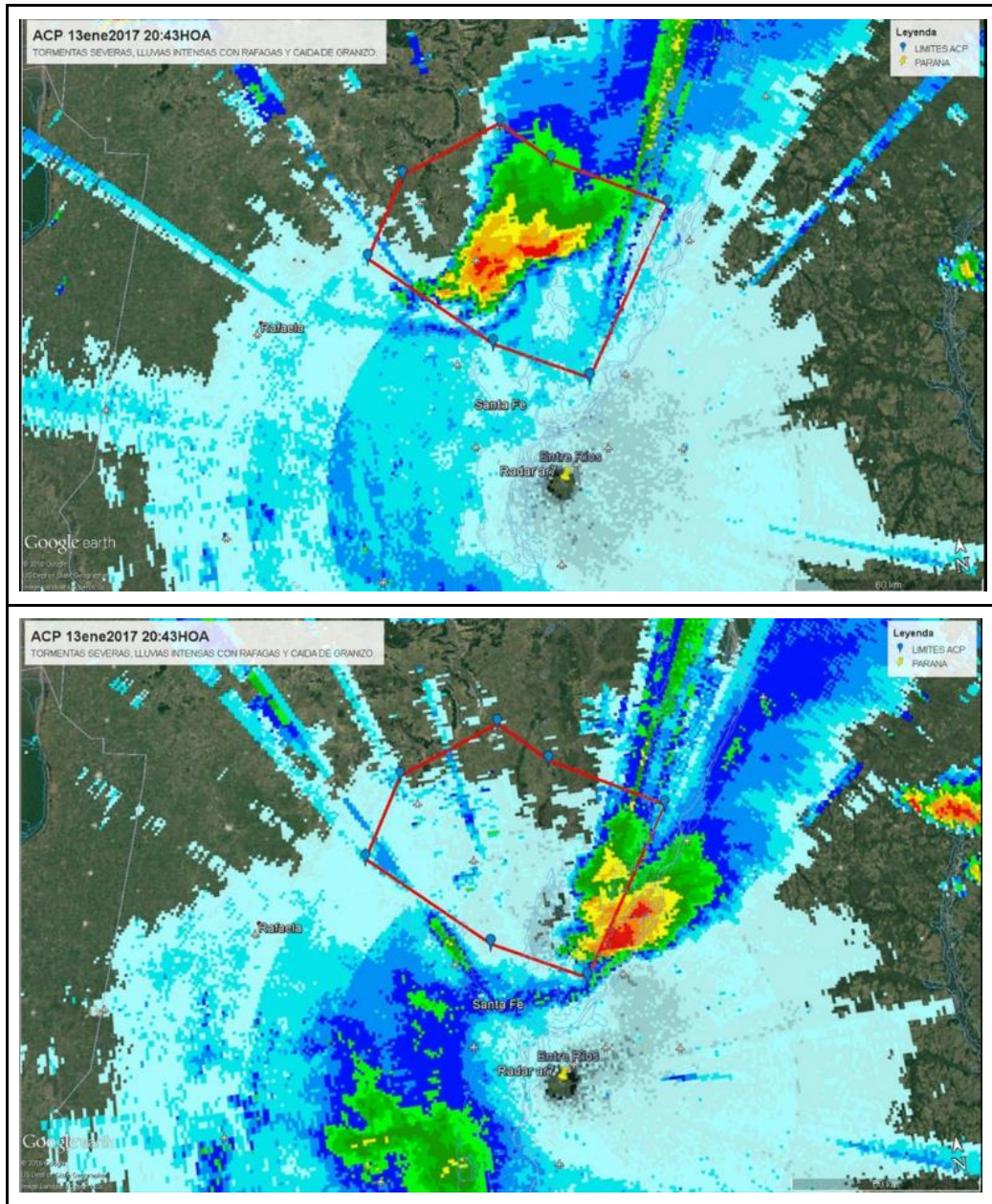
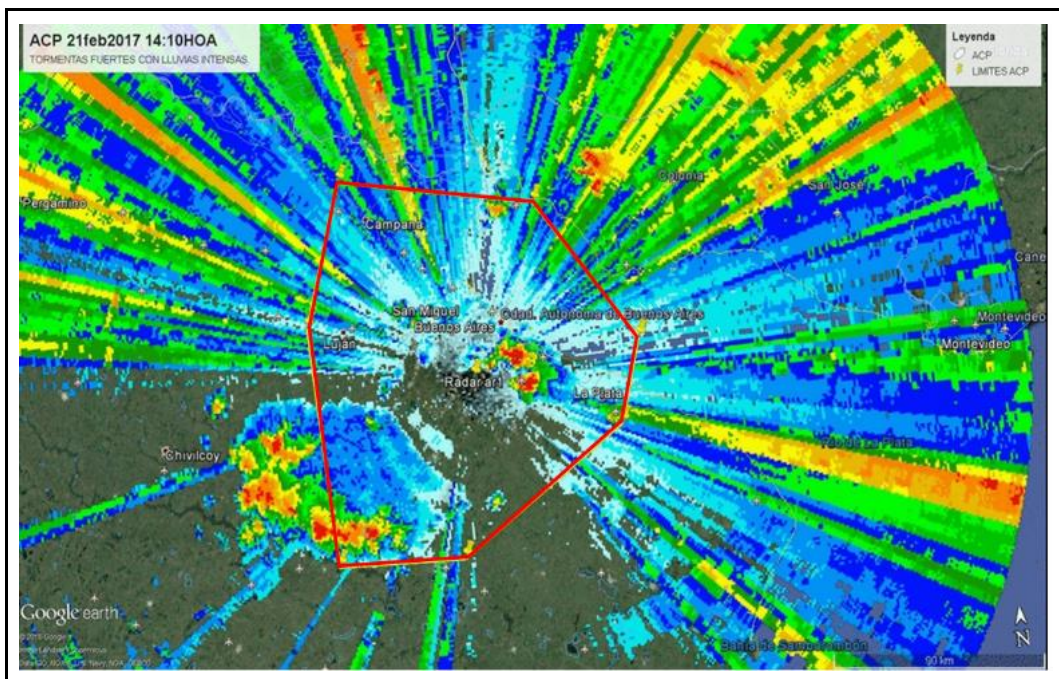


Figura 1: Evolución de una tormenta intensa al norte de la ciudad de Paraná durante el 13 de enero del 2017. Las tres imágenes sucesivas corresponden a reflectividad (COLMAX). La imagen superior es de las 20:10 HOA, es decir, unos 33 minutos antes de la emisión del ACP. La imagen del medio y la imagen inferior corresponden a las 21:10 HOA y 22:10 HOA respectivamente. El ACP fue emitido a las 20:43 HOA. El área de cobertura del ACP está indicada por el polígono rojo. En el rincón superior izquierdo de cada imagen se aprecia la hora de emisión del ACP y los fenómenos asociados pronosticados, en este caso, tormentas severas, lluvias intensas con ráfagas y caída de granizo.

La Figura 2 muestra la evolución en el tiempo de tormentas fuertes con una estructura espacial o nivel de organización menos claro en comparación con el caso anterior y que representa otro tipo de desafío para el pronosticador. El radar de Ezeiza muestra que a las 14:00 HOA del 21 de febrero de 2017 se comenzaron a

generar algunas tormentas y chaparrones aislados pero intensos. Esto convenció al pronosticador para emitir un ACP a las 14:10 HOA. Durante las siguientes horas se observan desarrollos intensos de tormentas pequeñas que se mueven a poca velocidad. Es importante notar que existe un aparente debilitamiento de los ecos en la última imagen, pero este en realidad es consecuencia de la atenuación de la señal de radar causada por precipitación muy intensa sobre el sitio del radar (efecto que resulta un importante desafío para el pronosticador, como fue mencionado brevemente en la sección 2.1). A diferencia de la Figura 1, el fenómeno convectivo de la Figura 2 tiende a ocupar espacios de manera mucho más aleatoria. Aquí el pronosticador debe prever la zona no solo hacia donde una tormenta puede desplazarse, sino también la región en donde una de estas tormentas puede aparecer sin preaviso. Para ello hay ciertos precursores que pueden ayudar, pero en general el pronosticador debe aceptar que deberá establecer en el ACP una región lo suficientemente grande como para cubrir los posibles incidentes, y donde debido a la baja predictibilidad de estos sistemas seguramente habrá muchas localidades donde no se registrarán estos fenómenos (falsas alarmas del ACP).

El ACP emitido a las 14:10 HOA fue por “Tormentas fuertes con lluvias intensas”. Este título fue elegido por el pronosticador teniendo en cuenta el lento desplazamiento de los sistemas y el medioambiente propicio para las lluvias intensas. Como las tormentas continuaron y se intensificaron, el pronosticador de la DVMSR emitió otro ACP (no mostrado) a las 16:25 HOA por “Tormentas severas, lluvias intensas con ráfagas y caída de granizo”.



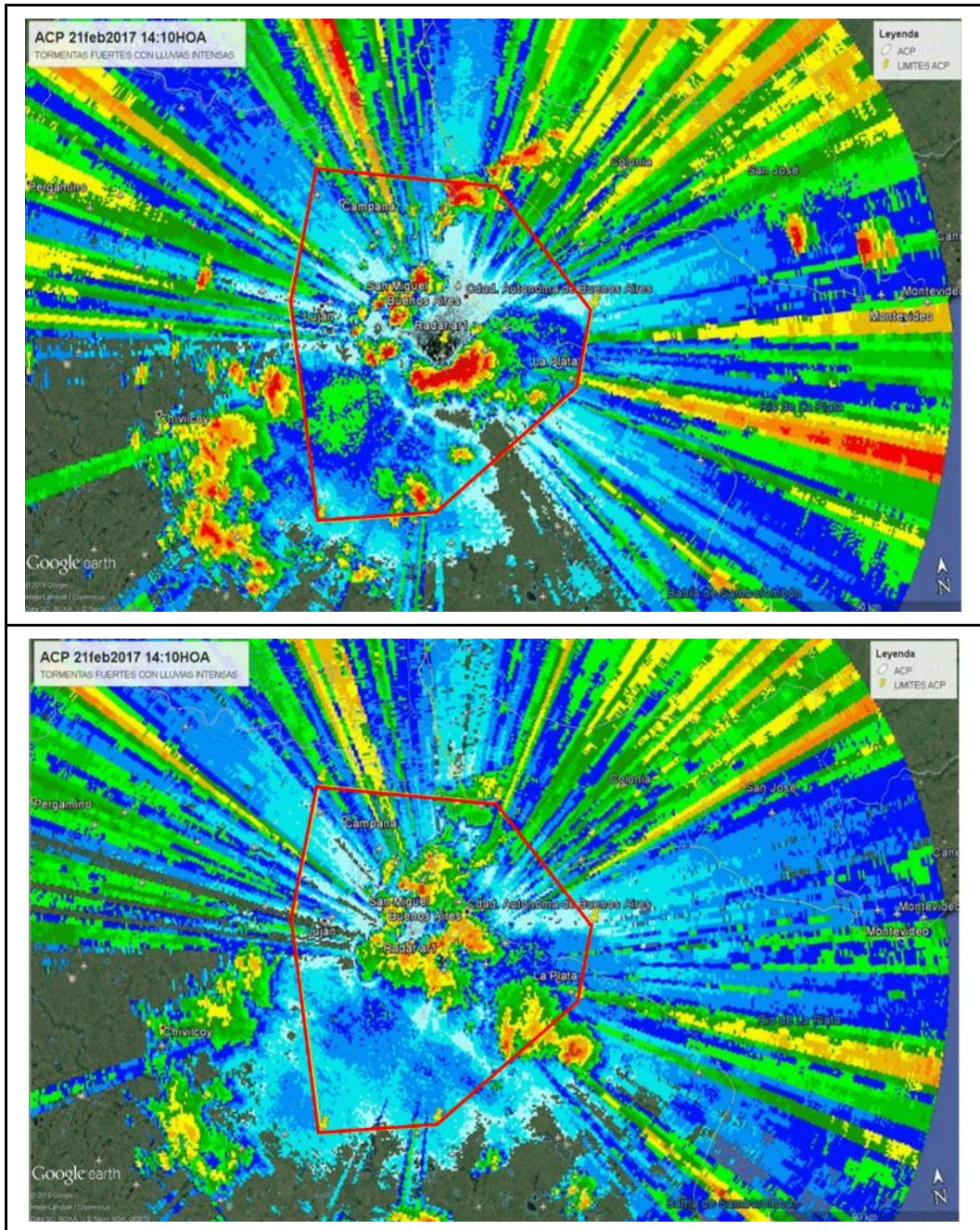


Figura 2: Evolución de convección profunda alrededor de la ciudad de Buenos Aires (con el radar ubicado en la localidad de Ezeiza) durante 21 de febrero de 2017. Las tres imágenes sucesivas corresponden a reflectividad (COLMAX) de las 15:00, 16:00 y 17:00 HOA respectivamente. El ACP fue emitido a las 14:10 HOA. El área de cobertura del ACP está indicada por el polígono rojo. En el rincón superior izquierdo de cada imagen se aprecia la hora de emisión del ACP y los fenómenos pronosticados asociados, en este caso, tormentas fuertes con lluvias intensas.

Algunas líneas rectas con orientación radial se observan extenderse en la figura, mientras que en la figura 2 son mucho más abundantes. Estas líneas son producidas por las interferencias electromagnéticas nombradas en el punto 2.1. Las mismas representan una dificultad extra a la tarea del pronosticador de la DVMSR dado que complican la posibilidad de discernir correctamente las regiones con precipitación.

5. LOS DESAFÍOS EN LA EMISIÓN DE LOS ACP

La primera acción que debe tomar un pronosticador es analizar las imágenes de radar rápidamente buscando cuál tormenta es la más intensa. Cuando la detecta, se encuentra con tres posibilidades:

- La situación más sencilla ocurre cuando las tormentas son comunes, es decir, no son fuertes ni severas. Ante esta situación el pronosticador no debe emitir ACP. Sí debe continuar realizando la vigilancia constante por si alguna tormenta se intensifica.
- Otra situación consiste en que la tormenta presente indicios claros de tiempo severo. Por ejemplo, si en la animación del radar observa una tormenta que se divide en dos y la tormenta del lado norte se intensifica, se mueve anómalamente respecto del flujo atmosférico medio y presenta patrones de tiempo severo en el radar, el pronosticador deducirá que se encuentra en presencia de una supercelda. En este tipo de situaciones que no dejan lugar a duda se procederá a emitir un ACP lo antes posible. El título del ACP será probablemente fácil de determinar. Por ejemplo, “Tormentas severas con ráfagas, lluvias intensas y caída de granizo”.
- La situación más complicada es aquella de características intermedias. Es decir, cuando no es obvio que la tormenta es común o que la tormenta es severa, entonces el pronosticador necesitará realizar un análisis más profundo de toda la información disponible. Ante este escenario, el problema principal es la falta de tiempo: los fenómenos siguen desarrollándose, por lo que el tiempo para realizar el análisis es acotado a unos pocos minutos. Si la decisión se demora mucho tiempo, el ACP puede emitirse demasiado tarde. Y si no se analiza lo suficiente la tormenta, puede emitirse el ACP prematuramente y causar una falsa alarma en caso que la tormenta no sea fuerte ni severa.

Una vez que terminó de analizar la tormenta más intensa, el pronosticador debe continuar con la siguiente tormenta en el ranking mental que se elaboró. Este proceso continúa hasta que todas las tormentas sospechosas tengan o no su ACP emitido.

Lo que sigue a continuación es una discusión sobre algunas de las preguntas esenciales que debe hacerse un pronosticador cuando realiza la vigilancia meteorológica.

- a) ¿Es el evento lo suficientemente fuerte o severo como para advertir a la población?

Si bien el radar es un instrumento que puede medir variables de interés con precisión (por ejemplo reflectividad), su información puede estar afectada por varias fuentes de error, como fue discutido en la sección 2. Es por eso que la decisión sobre la severidad se basa además en experiencia previa, en el uso de modelos conceptuales que ayudan a asociar patrones en las imágenes de radar con fenómenos percibidos por los usuarios, en oportunas informaciones sobre fenómenos ya detectados, en patrones en la información satelital, etc.

La aparición conjunta de fenómenos que incrementan la confianza de la existencia de fenómenos severos inclina la decisión del pronosticador por la emisión de un ACP.

Esta decisión debe tomarse en un tiempo muy corto y teniendo en cuenta por un lado el riesgo de que ocurran eventos con consecuencias serias que no fueron anunciados y por otro el costo no despreciable, tanto en lo económico como en la credibilidad del SMN y de las instituciones que retransmiten esta información, de la emisión de falsas alarmas. Como en la fábula del lobo y las ovejas, si se emiten ACPs por eventos sin demasiada importancia su emisión ante los fenómenos más severos quedaría desdibujada. Sólo un estudio verificando los resultados asociados a cada ACP pueden en definitiva confirmarle al pronosticador si su manera de trabajar cumple con este delicado equilibrio.

Es importante recalcar que en esta etapa el pronosticador evalúa la severidad del fenómeno, pero no la predice. Es la mera existencia de este fenómeno --que el pronosticador sospecha que se sostendrá en el tiempo-- lo que se avisa. Este criterio es también utilizado en otros países del mundo, por ejemplo los Estados Unidos (National Weather Service, 2005).

b) ¿Qué región va a ser afectada?

La respuesta a esta pregunta ya requiere del pronosticador un juicio sobre la futura evolución del mismo: si se moverá en una dirección dada, si otras tormentas se desarrollarán en su alrededor, si se dividirá en dos, si el sistema está bien organizado, etc. Cualquiera de estas apreciaciones va a afectar la impresión del pronosticador que tenderá a hacer un polígono alrededor de la posible trayectoria de la tormenta si esta se mueve de forma clara (ejemplo mostrado en la figura 1) o un polígono más bien centrado en la misma si otras tormentas parecen formarse a su alrededor (ejemplo mostrado en la figura 2).

Como en el caso anterior, aquí también el pronosticador se encuentra ante un compromiso. El tamaño de la región encerrada por el polígono implica que esta área está sujeta a acciones por parte de los receptores de la información (población en general, Protección Civil y otros organismos de respuesta, municipalidades, etc). Una región demasiado grande comparada con lo que después es afectada es una forma de generar falsas alarmas. Regiones demasiado pequeñas de las que las tormentas finalmente excedan sus límites son aún peores para la población. Como fue discutido arriba, solo la verificación ayuda a los pronosticadores a acercarse a un compromiso que minimiza los dos riesgos lo más posible.

c) ¿Por cuánto tiempo?

Los ACP para ser efectivos no solo tienen que ser emitidos cuando corresponde, en el área que corresponde, sino también tienen que tener una duración apropiada. Es decir, no deben cesar antes que se termine la actividad de fenómenos severos, ni extenderse más allá del fin de estos. En la actualidad los ACP tienen una duración de tres horas. Cuando las tormentas severas duran más de 2 horas, es una práctica usual emitir otro ACP cuya área se superponga parcialmente con el ACP vigente, de manera tal de darle un tiempo de preaviso a las localidades que están fuera del área del ACP vigente pero que probablemente sean afectadas por las tormentas en las próximas 3 horas.

Tanto la elección de la región como del período de que será impactado resulta de gran complejidad debido a la baja predictibilidad de estos sistemas meteorológicos. Incluso ejercicios numéricos completamente controlados muestran que la capacidad de predecir de estos sistemas va desde los 15 min a unas pocas horas (Cintineo y Stensrud 2013).

Existen sistemas precipitantes severos con mayor predictibilidad, pero estos no abundan en Argentina. Por ejemplo, en la predicción de los huracanes que afectan el sureste de los EEUU se ha logrado un nivel de acierto del orden de los varios días.

d) ¿Cuáles son los fenómenos asociados más probables?

Como se vio en la sección 2, la mayoría de la información con que cuenta el pronosticador proviene de sensores remotos. Pero usualmente esta se combina con la información sobre el entorno en el cual se están dando las tormentas (por ejemplo, para el granizo es importante conocer las alturas de las isotermas de -10°C y -30°C , para las lluvias fuertes son importantes el agua precipitable y la cantidad de energía potencial convectiva disponible, entre muchas otras variables medioambientales). Por último, la combinación de la información de los sensores remotos junto con la información del entorno debe contrastarse con patrones y modelos conceptuales. El resultado de este análisis resulta en un pronóstico donde se indica la posibilidad de fenómenos existentes o inminentes, pero la comprobación de los mismos solo puede darse a través de información de terreno (por ejemplo, la información vía Twitter mencionada en el punto 2.4, o evaluaciones sobre consecuencias observadas a posteriori de los eventos --caídas de árboles, inundaciones, etc.). Es por ello que el pronosticador se encuentra frente a un importante ejercicio de inferencia: mismo si él o ella hicieran un excelente trabajo de predicción en lo que respecta a los puntos anteriores --por ejemplo, que la alta reflectividad indicada por el radar desaparezca antes de llegar al extremos del polígono de demarcación del ACP-- lo realmente relevante son los fenómenos meteorológicos asociados de los que en general no está informado a tiempo.

Con la ayuda de modelos conceptuales y algunas mediciones más informativas --de los vientos violentos a través de la medición Doppler, de la actividad eléctrica a través de la red de detección de rayos-- es posible anticipar algunos fenómenos con cierta precisión. Pero otros, como la presencia de granizo muy grande (de 4 o más cm), pueden pasar completamente desapercibida al pronosticador.

Es importante remarcar que los fenómenos advertidos en los ACP se limitan a aquellos que son competencia del SMN, es decir a los que son de origen atmosférico, como vientos fuertes, tormentas eléctricas, granizo o lluvias torrenciales. Esto significa que los fenómenos advertidos no toman en cuenta otros fenómenos naturales o que son consecuencia de los fenómenos mencionados en un ACP. Por ejemplo las inundaciones repentinas, que son una consecuencia de lluvias torrenciales cuando afectan una geografía y un estado de suelo en condiciones específicas, no pueden ser incluidas en los ACPs.

Los tornados son un caso aparte que merece una explicación. Por un lado hay que considerar que la vida media de este tipo de fenómenos es de aproximadamente 15 minutos, aunque los más severos pueden ser más duraderos (ver http://www.crh.noaa.gov/image/dvn/downloads/quickfacts_Tornadoes.pdf). Como se discutió previamente en el punto 3, las demoras en la recepción de los datos de radar oscilan entre 15 y 25 minutos. Por lo tanto, en una gran cantidad de casos se obtendría la información cuando el tornado ya se disipó. La escala espacial de este fenómeno es otro aspecto a considerar. La circulación tornádica tiene típicamente menos de un kilómetro de diámetro, lo cual los hace difíciles de detectar con radares de uso operacional. Una metodología actualmente en uso se apoya en variables polarimétricas que detectan las partículas y objetos arrastrados por los tornados. Como es de esperar estos dejan una traza muy pequeña --no más de unos pixeles en los visualizadores-- y difícil de apreciar con certeza (ver por ejemplo Figura 7 en Kumjian (2013)). Para que una detección con este tipos de metodologías sea realista sería necesario contar con una mayor cantidad de pronosticadores analizando dicha información. Todos estos factores hacen que el aviso de tornados sea un objetivo deseable en la DVMSR, pero que solo se planea alcanzar en el largo plazo.

6. HISTORIA DEL ACP EN EL SMN

A partir del año 1999, el CMN contó con una computadora a la cual llegaba la información del radar de Ezeiza. Para poder utilizar esta información, el SMN creó la División Satélite (que luego pasó a llamarse DVMSR) con pronosticadores dedicados exclusivamente a observar los sensores remotos. Gracias al radar de Ezeiza, durante reiteradas oportunidades, los pronosticadores de la División observaron tormentas severas dirigirse a ciudades dentro del área de cobertura del radar y, aunque el área ya estuviese bajo alerta por tormentas severas, sintieron que debían realizar un aviso más pormenorizado a dichas ciudades. Fue así que hacia el año 2001 Gabriel Damiani, pronosticador de la División Satélite, emitió el primer ACP. En realidad, no se llamó ACP en aquel entonces, pero sí consistió en un aviso basado en la información aportada por el radar de Ezeiza. Lamentablemente no se encontraron registros escritos sobre dicho aviso, por lo que esta historia fue reconstruida en base a los relatos de la pronosticadora de la DVMSR Ximena Calle y del propio Gabriel Damiani.

En los años que siguieron se facilitó la emisión de los ACP mediante un desarrollo web que automatizó su confección y estandarizó su formato. El polígono se delimitaba indicando las ciudades que se encontraban en los vértices (ver figura 3). Si bien los registros históricos de los ACP que posee el SMN comienzan a partir de mayo de 2007, el producto comenzó a elaborarse como tal hacia el año 2003.



MENSAJE URGENTE - DAR PRIORIDAD

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - CENTRO METEOROLOGICO NACIONAL
 DIVISION VIGILANCIA METEOROLOGICA POR SENSORES REMOTOS
 011-5167-6767 INT 18103

AVISO METEOROLOGICO A MUY CORTO PLAZO - ARGENTINA (mensaje de emision unica)

FECHA Y HORA DE EMISION	VALIDEZ HASTA
2010-04-18	TRES (3) HORAS. posteriores a la emision
18:56 HOA	

POR OCURRENCIA DE: Tormentas Fuertes con Ráfagas y Ocasional caída de Granizo

AFECTANDO PARCIALMENTE EL AREA DELIMITADA POR LAS SIGUIENTES LOCALIDADES : Mercedes - Escobar - Cdad Auton Bs As - La Plata - Cnel Brandsen - San M. del Monte - Lobos - Mercedes.- -

Figura 3: ACP emitido el 18 de abril de 2010 a las 18:56 HOA. 50 minutos luego de la emisión del ACP se registró granizo de 6 cm de diámetro aproximadamente en la zona norte del Gran Buenos Aires. La falta de mapa y su diseño basado solo en el listado de las localidades resultaron ser un obstáculo para la comprensión.

En noviembre de 2014 se implementó una versión gráfica del ACP que continúa vigente hasta la actualidad. El cambio principal consistió en que el polígono ya no se definía a partir de las ciudades de su vértice sino que el polígono podía graficarse en cualquier lugar del país que el pronosticador considere. Este cambio

permitió mayor versatilidad y rapidez al momento de generar el ACP. También permitió disminuir el tamaño de los ACP (en provincias como La Pampa las ciudades son escasas, por lo que delimitar polígonos utilizando ciudades y cuidando que los mismos no sean exageradamente grandes es una tarea ardua). Además, el sistema informático utilizado para delimitar gráficamente el polígono identifica los municipios y departamentos contenidos en su interior. Toda esta información se volcó en un nuevo formato, como se puede ver en la figura 4. Notar que se muestra dos veces el polígono del ACP: el mapa del centro y norte de Argentina permite localizar rápidamente qué región de Argentina está siendo afectada por las tormentas mientras que el segundo mapa permite precisar qué partes de partidos y departamentos provinciales están siendo afectados.



Figura 4: ACP emitido el 1° de enero de 2015 a las 7:16 HOA por tormentas severas con ráfagas. En esa región de Entre Ríos y Santa Fé se registraron daños como voladuras de techos y caídas de árboles.

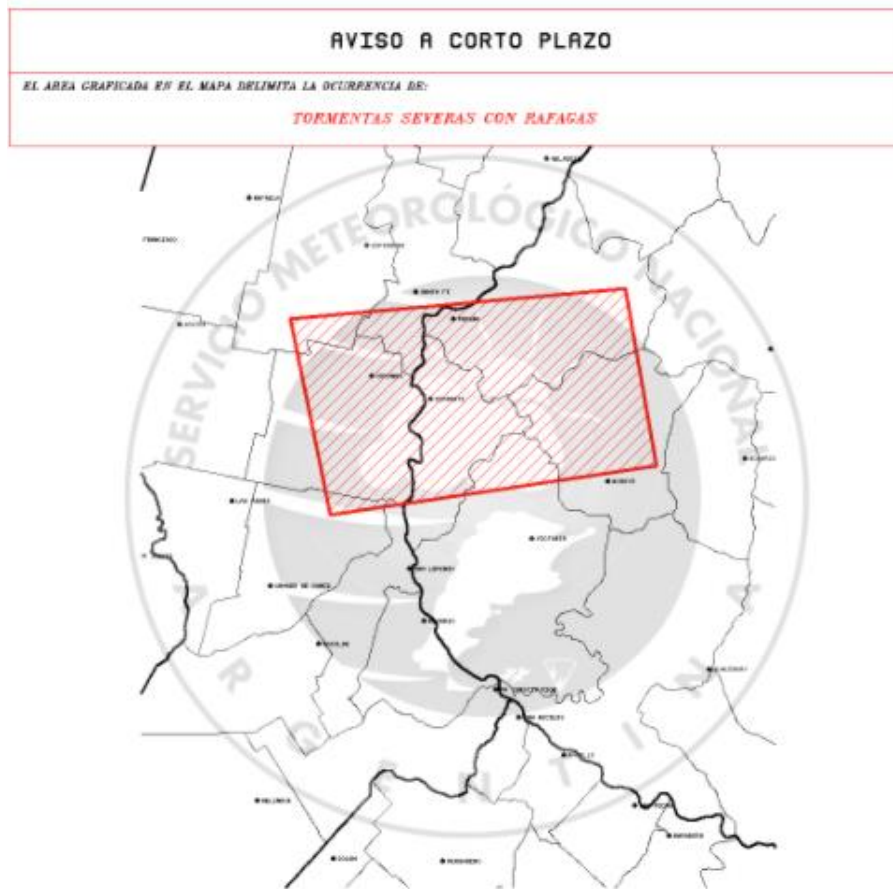


Figura 4: continuación.

7. COMUNICACIÓN DE LOS ACPs

El usuario de los ACPs es la población general, pero este no es un grupo homogéneo, sino que presenta una cierta disparidad en cada una de las siguientes características: nivel de vulnerabilidad, capacidades financieras, nivel educativo, creencias religiosas, capacidades físicas, experiencia ante eventos pasados, etc. Todos estos factores impactan en dos sucesos críticos: la diseminación del ACP (es decir, la recepción física del mensaje) y la notificación del ACP (que la persona que recibe el mensaje sepa interpretar la información y actuar en concordancia). Todos estos conceptos son discutidos ampliamente en la bibliografía sobre el tema (ver por ejemplo capítulo 6 de Hill y otros 2012). La difusión del ACP fue evolucionando conforme pasaron los años. Inicialmente se difundieron a través de la página web del SMN, enviando fax directamente a unos pocos organismos (Defensa Civil de la provincia de Buenos Aires, Defensa Civil de Capital Federal, entre otros) y con llamadas telefónicas a usuarios específicos.

Cuando en el año 2007 se implementó el sistema web de generación de ACP, la distribución automática a una lista finita de correos electrónicos fue posible. Esta lista tenía una longitud de 30 a 50 destinatarios de organismos nacionales, provinciales y municipales y algunos medios de comunicación.

En el año 2014, con la llegada del nuevo sistema gráfico de generación del polígono, se incorporó la distribución a través de los sistemas RSS (Real Simple Syndication). Además, se disponibilizó una versión del ACP acorde a parámetros internacionales: el formato CAP (Common Alert Protocol por sus siglas en inglés).

Durante el año 2015 se comenzó a difundir los ACP a través de Twitter y Facebook. Esta distribución es irregular ya que consiste en envíos no automatizados por lo que depende de la disponibilidad del difusor del Departamento de Prensa y Difusión.

En el año 2016 se modificó la distribución por correo electrónico de los ACP: el sistema informático identifica que provincias y municipios están involucrados en el ACP y solo envía los correos electrónicos a los destinatarios de esas regiones. Una excepción son los organismos nacionales, los cuales siguen recibiendo todos los ACP que se emiten para cualquier región de la República Argentina.

Al momento de escribirse este texto no se conoce el nivel de notificación de los ACP. En pos de aumentar la comprensión del ACP por parte de los distintos usuarios, el SMN ha realizado talleres con defensas civiles municipales y provincias en donde se abordan los distintos productos del sistemas de alertas (ver <https://www.smn.gov.ar/noticias/trabajo-colaborativo-con-proteccion-civil> y <https://www.smn.gov.ar/noticias/taller-%E2%80%9Cmeteorolog-%C3%ADa-para-la-reduccion-de-riesgo-de-desastres%E2%80%9D>). Además, se ha generado un video corto destinado a la población general que ha sido difundido a través de redes sociales (ver <https://youtu.be/X3roOt3MPKs>).

8. PRÓXIMOS DESARROLLOS

Se planean realizar varias modificaciones a los ACP. A continuación se describen brevemente los cambios que están siendo analizados:

- Nombre: la Ley Nacional N°27.287 (2016) establece en su artículo 2 inciso a) que las alarmas son “avisos o señales por los cuales se informa acerca de la existencia de un peligro y sirve para que sigan instrucciones específicas de emergencia debido a la presencia real o inminente de un evento adverso”. Por este motivo se cambiará el nombre Aviso meteorológico a muy Corto Plazo por Alarma Meteorológica.
- También debido a la ley indicada en el punto anterior las futuras Alarmas incluirán medidas de prevención por cada fenómeno meteorológico para que la población tenga una rápida referencia sobre cómo actuar. Las medidas de prevención a ser utilizadas fueron autorizadas por la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes del Ministerio de Seguridad de la Nación.
- Como se explica más arriba, el ACP actual incluye un mapa con un recorte de Argentina con un polígono que indica la región donde se encuentran las tormentas en el momento de la emisión del ACP, y el área que puede ser afectada debido al desplazamiento de las tormentas en las próximas 3 horas. En la futura alarma se mantendrán este gráfico, pero se agregará un polígono más. Este nuevo polígono indicará la región que se encuentra siendo afectada por tormentas al momento de emitir el ACP. Además, se incluirá una flecha que indica la dirección aproximada de desplazamiento de la o las tormentas involucradas en el ACP.

- Se modificará la presentación de la información contenida en el ACP de manera tal de facilitar la interpretación por parte de los distintos usuarios. Por ejemplo, en la versión actual del ACP la intensidad del fenómeno puede ser “fuerte” o “severa”. Esta distinción solo se muestra en el título del ACP al intercambiar una u otra palabra (ver figura 4). Además, la mayor parte de la población no conoce la diferencia entre las dos categorías. En la futura Alarma Meteorológica se planea explicar qué diferencia hay entre un fenómeno fuerte y otro severo. Para facilitar la comprensión, se analiza la posibilidad de utilizar colores como el amarillo, naranja y rojo.

9. REFERENCIAS

Brunner, J. C., S. A. Ackerman, A. S. Bachmeier, and R. M. Rabin, 2007: A quantitative analysis of the enhanced-V feature in relation to severe weather. *Wea. Forecasting*, 22, 853–872.

Cintineo, R.M. and D.J. Stensrud, 2013: On the Predictability of Supercell Thunderstorm Evolution. *J. Atmos. Sci.*, 70, 1993–2011.

de Elía R., Vidal L., Lohigorry P., Mezher R., Rugna M., 2017: Red de radares meteorológicos de Argentina. Nota Técnica SMN 2017-39.

Fabry, F., 2015: Radar meteorology, principles and practice. Cambridge University Press, Reino Unido, 256 pp.

Kumjian, M. R., 2013: Principles and applications of dual-polarization weather radar. Part II: Warm- and cold-season applications. *J. Operational Meteor.*, 1 (20), 243-264.

Lohigorry P., Pappalardo L., de Elía R., Vidal L., Mezher R., 2017: Reporte de disponibilidad de datos de radares pre-RMA durante el año 2015. Nota Técnica SMN 2017-9.

National Weather Service, 2005: National Weather Service Instruction 10-511, 35pp. (disponible en línea en <http://www.nws.noaa.gov/directives/sym/pd01005011curr.pdf>)

NOAA, 2012: Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. University Corporation for Atmospheric Research: Denver, USA.

Sacco, M., García Skabar Y., Salió P., Vidal L., 2018: Aplicación Alertamos. Nota Técnica SMN 2017-44.

Saltikoff, E., J. Cho, P. Tristant, A. Huuskonen, L. Allmon, R. Cook, E. Becker, and P. Joe, 2016: The Threat to Weather Radars by Wireless Technology. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-15-00048.1

Schultz, C.J., W.A. Petersen, and L.D. Carey, 2011: Lightning and Severe Weather: A Comparison between Total and Cloud-to-Ground Lightning Trends. *Wea. Forecasting*, 26, 744–755.

10. APÉNDICE

La definición de tormenta fuerte y de tormenta severa adoptada en el CMN se describe a continuación.

Tormenta fuerte:

- Ráfagas entre 60 y 90 km/h y/o
- Granizo entre 0,1 y 2,0 cm y/o
- Acumulados de lluvia entre 20 y 40 mm en una hora

Tormenta severa:

- Ráfagas superiores a los 90 km/h y/o
- Granizo superior a los 2,0 cm y/o
- Acumulados de lluvia superiores a los 40 mm en una hora

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 Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, 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).