

Nociones básicas para la evaluación de un sistema de alertas: el caso de los Avisos a muy Corto Plazo

Nota Técnica SMN 2017-204

Ramón de Elía¹, Pablo Irurzun², Sebastián Pérez², y Melissa Patanella²

¹ *Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional*

² *Coordinación de Pronósticos Inmediatos, Dirección de Pronóstico del Tiempo y Avisos, Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, Servicio Meteorológico Nacional*

Noviembre 2025

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

Los sistemas de alerta actualmente en uso por la comunidad meteorológica incluyen variados tipos de eventos, desde tormentas severas a sequías. El crecimiento de la oferta de alertas meteorológicas es parte de un movimiento más general que se evidencia en el desarrollo de sistemas de alerta contra distintas amenazas naturales o antropogénicas. Si bien cada tipo de amenaza posee características propias, los sistemas de alerta comparten puntos en común, el principal siendo las tensiones a las que se ven sometidas las agencias emisoras para encontrar un equilibrio entre la anticipación suficiente a la posible ocurrencia del evento, y la performance de la alerta. Esta performance, fuertemente asociada a la predictibilidad de cada evento, está además condicionada por la llamada "dualidad del error", es decir la asimetría que existe para el público entre errores que se aprecian como "falsas alarmas" por un lado, y las ocurrencias de eventos sin preanuncios por otro.

El establecimiento de un sistema de alertas implica un compromiso institucional que no solo conlleva el desafío tecnológico de proveer un servicio en el estado del arte, sino también el desafío societal de conciliar las expectativas del público y autoridades con las limitaciones propias del sistema. Esta Nota Técnica discute en detalle estas características comunes a muchos sistemas de alerta, y las ilustra en relación con el Sistema de Alerta Temprana del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), particularmente los Avisos a muy Corto Plazo (ACPs).

Abstract

Alert systems currently used by the meteorological community include a wide range of events, from severe storms to droughts. This growth in the availability of weather alerts is part of a broader movement reflected in the development of various alert systems for different natural or anthropogenic threats. While each type of threat has its own specific characteristics, alert systems share many common features: mostly tensions faced by issuing agencies in finding a balance between providing sufficient lead time before a potential event occurs and the alert performance. This performance, which is closely linked to the predictability of each event, is also conditioned by the so-called "duality of error", the asymmetry perceived by the public between errors seen as "false alarms" and the events that occur without any warning.

The establishment of an alert system entails an institutional commitment that involves not only the technological challenge of delivering a state-of-the-art service, but also the societal challenge of conciliating public and authorities' expectations with the inherent limitations of the system. This technical note discusses in detail these common features shared by many alert systems, and subsequently illustrates them in relation to the Early Warning System of the National Meteorological Service (SMN) of Argentina, particularly the Short-Term Warnings (in spanish - Avisos a muy Corto Plazo, ACPs)

Palabras clave: sistema de alerta, ACPs, falsas alarmas, dualidad del error

Citar como:

de Elia, R., Irurzun P., Pérez S., Patanella M., 2025: Nociones básicas para la evaluación de un sistema de alertas: el caso de los Avisos a muy Corto Plazo. Nota Técnica SMN 2025-204.

1. INTRODUCCION

Los sistemas de alerta en la comunidad meteorológica son un protocolo de comunicación que se utiliza para transmitir información a la población de manera clara, rápida y directa con respecto a amenazas meteorológicas que pueden poner vida o bienes en peligro. Estos sistemas son parte integral de la familia de sistemas de alerta que existen en un gran número de disciplinas y que se ocupan de los temas más diversos. Entre ellos podemos nombrar los sistemas de alerta para terremotos (Wald, 2020), tsunamis (Selva y otros, 2021), seguridad nuclear (Min y otros, 2019), salud pública (Chromik y otros, 2022), defensa (Paté-Cornell y Neu, 1985), seguridad industrial (Hashim y otros, 2022), mercados financieros (Davis y Karim, 2008), y seguridad en el hogar (Festag, 2016). Con respecto a las alertas para seguridad pública, algunos países han unificado sus protocolos de difusión lo que permite tomar en cuenta una gran variedad de escenarios en un mismo sistema (ver OASIS, 2010). Además, en los últimos años se han dado pasos para incluso unificar los sistemas de transmisión en la llamada "última milla" utilizando los teléfonos celulares para los casos más graves (ver Mowbray y otros 2024).

En la actualidad la comunidad meteorológica está particularmente implicada en el desarrollo de este tipo de sistemas debido al proceso en marcha disparado por la iniciativa "Alertas tempranas para todos" de las Naciones Unidas, y que tiene como uno de sus actores principales a la Organización Meteorológica Mundial (ver <https://earlywarningsforall.org/site/early-warnings-all>). La expansión de los sistemas de alerta temprana en las últimas décadas fue estimulada por su potencial para salvar vidas y por nuevos desarrollos tecnológicos que los hacen cada vez más factibles.

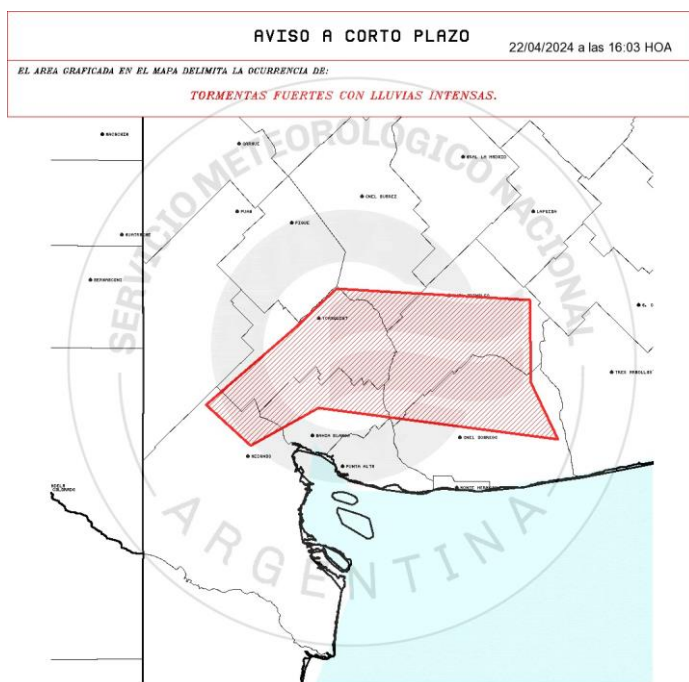
Es importante notar que detrás de la aparente simplicidad de los sistemas de alerta se esconden complejidades que es necesario conocer para apreciar sus limitaciones. Para una genuina comprensión del funcionamiento de un sistema de alertas es necesario conocer su nivel de performance en lo que respecta a: su nivel de acierto, su tiempo de anticipación al evento, su nivel de penetración y de credibilidad entre la población y autoridades, su capacidad de ser comprendido, y su efectividad en lo que refiere a lograr la respuesta deseada por parte de la población. Este análisis multinivel requiere mucha información no siempre asequible que usualmente es completada con conjeturas más o menos realistas.

En esta Nota Técnica se discutirán algunas de las limitaciones que afectan a los sistemas de alertas en general, ilustrándolos con ejemplos tomados del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del SMN, en particular analizando los Avisos a muy Corto Plazo (ACPs) emitidos al público. El SAT es uno de los productos públicos centrales del SMN y ha recibido mucha atención tanto en su desarrollo como en su evaluación (ver Herrera y otros, 2019 Anaya y otros 2020, Saucedo y otros 2021, de Elia y otros 2021, Saucedo 2022, Menalled y Chasco 2022, Herrera 2022, Herrera y otros 2022, D'Amen y otros 2023, Stoll Villarreal y otros 2023, Saucedo y otros 2023, D'Amen y otros 2024). Entre los trabajos exclusivamente dedicados a los ACPs se pueden mencionar Lohigorry y otros (2019), San Martino y otros (2019), Ishikame y otros (2022), Irurzun y otros (2022), Lohigorry y otros (2024).

2. PARÁMETROS CLAVE EN LA DEFINICION DE AVISO A MUY CORTO PLAZO

El ACP consiste en un mensaje al público conformado por un polígono demarcando una zona donde se espera la ocurrencia inminente de un evento meteorológico que puede poner vidas y/o bienes en riesgo, e incluye la hora de emisión de este polígono, el período de validez, el tipo de evento que se espera y una lista de medidas que el público puede tomar para protegerse (ver Fig. 1).

AVISO METEOROLÓGICO A MUY CORTO PLAZO N°2750 POR TORMENTAS FUERTES CON LLUVIAS INTENSAS.



PARA: BAHIA BLANCA – CNEL DORREGO – CNEL SUAREZ – CREL PRINGLES – TORNQUIST – VILLARINO.

VALIDEZ: DOS (2) HORAS POSTERIORES A LA EMISIÓN.
FUENTE SMN.

Medidas de protección:

- 1- Permanecé en construcciones cerradas como casas, escuelas o edificios públicos.
- 2- Mantenete alejado de artefactos eléctricos y evitá el uso de teléfonos con cable.
- 3- Evitá circular por calles inundadas o afectadas.
- 4- Si hay riesgo de que el agua ingrese en tu casa, corta el suministro eléctrico.
- 5- Evitá actividades al aire libre.
- 6- Para minimizar el riesgo de ser alcanzado por un rayo, no permanezcas en playas, ríos, lagunas o piletas.

Figura 1: Ejemplo de ACP emitido por el SMN el 22/04/2024, a las 16:03 hora local argentina. A la izquierda se aprecia el polígono al norte de Bahía Blanca, y a la derecha el texto que lo acompaña indicando región afectada, duración del Aviso, y medidas de protección sugeridas.

Este tipo de producto, que corresponde a la última etapa de información al usuario previo al eventual advenimiento del evento, es muy utilizado por los servicios meteorológicos del mundo (ver Fig. 2).

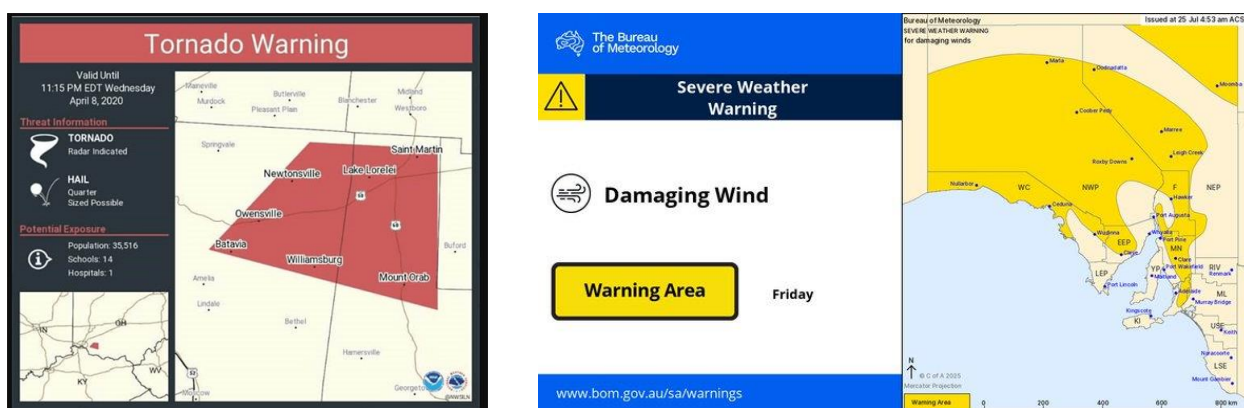


Figura 2: Ilustración de mensajes de alerta con similitudes a los ACPs producidos en el SMN presentado en la Fig. 1. A la izquierda se muestra el "Tornado Warning" del National Weather Service (Estados Unidos, EE.UU.), y a la derecha un caso de viento severo del Bureau of Meteorology (Australia).

Como todo pronóstico, estos productos necesitan ser evaluados para conocer su calidad y su utilidad, y en general se utilizan métodos basados en Tablas de Contingencia para este fin¹. La típica Tabla de Contingencia esta descripta en la Tabla I. Allí se puede apreciar con fondo blanco las cuatro categorías a las que es posible atribuir cada resultado de la muestra de casos disponible. Esas cuatro categorías provienen de estructurar los resultados en dos categorías para los Avisos (ACP o No ACP) y dos para las observaciones (Evento o No Evento).

Tabla I: Tabla de Contingencia para un caso general como usualmente se la presenta en la comunidad meteorológica.

		Observaciones		
		Evento	No Evento	
Avisos	ACPs	Aciertos	Falsas Alarmas	<u>Totales ACPs</u>
	No ACPs	Sorpresas	Aciertos negativos	<u>Totales No ACPs</u>
		<u>Totales Observados</u>	<u>Totales No Observados</u>	<u>Total muestra</u>

Los posibles resultados de esta Tabla de Contingencia están representados en la Fig. 3. Allí se puede ver arriba a la izquierda lo que llamamos *Acierto*, cuando una o más tormentas son detectadas dentro del área pronosticada (y dentro del intervalo de tiempo previsto), y los fenómenos asociados alcanzan, al menos, el umbral de severidad predefinido (para una discusión sobre definiciones de umbrales para alertas en el SMN ver Saucedo y otros 2021). Arriba a la derecha se ilustra el caso de *Falsa Alarma*, que ocurre cuando luego de la emisión de un Aviso no se detecta el evento, o este no alcanza el umbral esperado. Abajo a la izquierda se presenta el caso de la *Sorpresa*, que ocurre cuando se detectan eventos que sobrepasan el umbral y que no fueron informados a la población a través de un aviso. Por último, tenemos la categoría de *Acierto Negativo*, que corresponde a los casos donde no se enviaron Avisos y no se detectaron eventos.

¹ Notar que a raíz de los progresos en Machine Learning la terminología "Confusion Matrix" para denominar a la Tabla de Contingencia empieza a popularizarse. Si bien los términos derivados también son distintos, la problemática es la misma. Una discusión en ese contexto con semejanza a la que tiene lugar aquí puede verse en <https://mlu-explain.github.io/precision-recall/>.

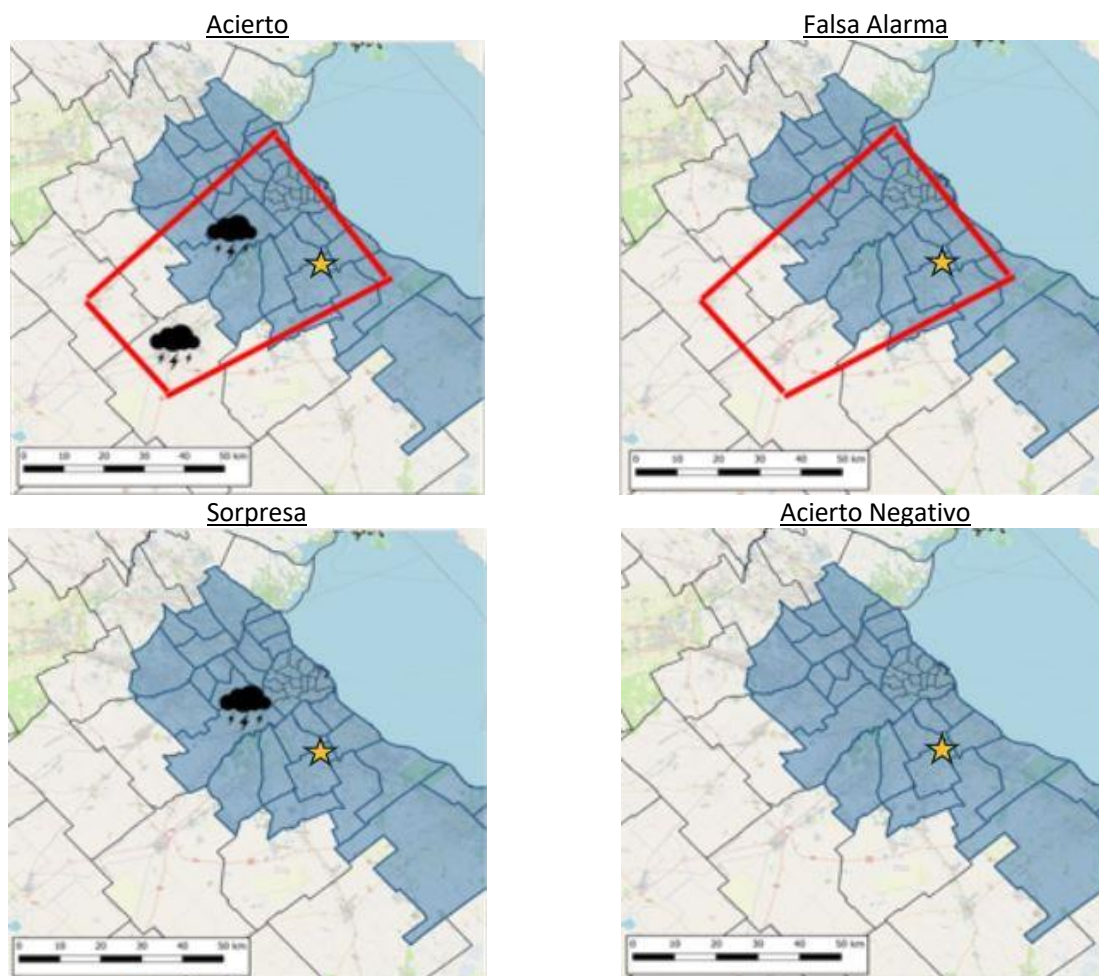


Figura 3: Diferentes resultados posibles asociados a un sistema de alerta para eventos severos. El polígono rojo refiere al área alertada por un ACP, el símbolo con forma de nube denota la ocurrencia de un evento severo, y la estrella amarilla indica una ubicación arbitraria que puede ser utilizada para verificación puntual (discutida en sección 6.2). El caso de arriba a la izquierda indica un Acierto, el de arriba a la derecha una Falsa Alarma, el de abajo a la izquierda una sorpresa, y el de abajo a la derecha un Acierto negativo.

Esta última categoría es particular en el sentido de que, si se habla de eventos extremos, el acierto negativo es un estado del sistema casi permanente, debido a que la mayoría del tiempo no hay ni Avisos vigentes ni se observan eventos severos. De la manera en que está definida, no es posible enumerar el número de casos que corresponde a esta categoría que designa la ausencia de avisos y de observaciones. Existen técnicas que se utilizan para estimar este número, pero más frecuentemente se toma la categoría como "vacía" y la Tabla de contingencia puede reescribirse como en la Tabla II. Para una discusión más detallada sobre la problemática asociada a la categoría "Aciertos negativos" ver Apéndice C en de Elia (2021).

Tabla II: Tabla de Contingencia para el caso en que la categoría Aciertos Negativos no se puede estimar.

		Observaciones		
		Evento	No Evento	
Avisos	ACPs	Aciertos	Falsas Alarmas	<u>Totales ACPs</u>
	No ACPs	Sorpresas		
		<u>Totales Observados</u>		

Asociados a esta versión de la Tabla de Contingencia se encuentran tres índices de verificación muy utilizados. El índice POD (Probability of Detection), también llamado Hit Rate, es definido como

$$POD = \frac{aciertos}{aciertos+sorpresas}.$$

Este índice toma el valor 1 cuando el sistema de avisos no sufre sorpresas (el mejor valor posible) y 0 cuando no existen aciertos (todas sorpresas). Es importante notar que este índice está definido para el caso de los *eventos observados*, es decir para los casos donde el fenómeno en cuestión efectivamente ocurrió.

El índice FAR (False Alarm Ratio, no confundir con False Alarm Rate) es definido como

$$FAR = \frac{falsas alarmas}{aciertos+falsas alarmas}.$$

Este índice toma el valor 0 cuando el sistema de avisos no sufre de falsas alarmas (el mejor valor posible) y 1 cuando no existen aciertos (todas falsas alarmas). A diferencia de POD, FAR se calcula únicamente cuando hubo *eventos avisados*, ya sean aciertos o falsas alarmas. La Fig. 4 describe estos dos "espacios" distintos que conviven en un sistema de alertas.



Figura 4: Descripción conceptual de los espacios de pronóstico y de observación, el primero compuesto por Falsas Alarmas y Aciertos (insumos para FAR), el segundo por Aciertos y Sorpresas (insumos para POD). Es importante notar que para completar la Tabla de contingencia se necesita no solo explorar el campo de los eventos pronosticados (Alertas) y verificar sus aciertos, sino que también se necesita inspeccionar los eventos observados que no tuvieron asociados una alerta.

Si bien este par de índices alcanza para definir la Tabla de contingencia en el caso de no contar con la categoría Aciertos negativos, el índice Bias en frecuencia (Bias) es de mucha utilidad para la interpretación de los resultados.

$$Bias = \frac{aciertos + falsas\ alarmas}{aciertos + sorpresas} = \frac{ACPs\ totales}{Eventos\ totales} = \frac{POD}{1 - FAR}$$

Este índice indica la proporción de Avisos con respecto a la de eventos ocurridos. Puede tomar valores entre 0 e infinito, y algunos autores recomiendan que su valor óptimo es 1 (ver, por ejemplo, <https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>). Esta recomendación se basa en que hay una cierta razonabilidad en querer tener el mismo número de eventos observados que de eventos pronosticados (por ejemplo, que la cantidad de días con precipitaciones mayores de 30 mm que pronostica un modelo numérico corresponda con la climatología), pero como se verá más adelante no es una recomendación a seguir en el caso de las alertas.

El diagrama de performance sugerido por Roebber (2009) es la herramienta ideal para analizar la verificación de sistemas de alerta como el presente cuando los aciertos negativos no tienen una presencia clara. Este consiste en un gráfico con la variable 1-FAR en la abscisa y POD en la ordenada. A esto se le suma isolíneas del Bias en frecuencia (líneas diagonales) y de Critical Success Index (CSI, hipérbolas en color azul. Ver Apéndice C en de Elia 2021). A la izquierda, en la Fig. 5, se muestran resultados para Avisos de tornados en EE.UU. y Canadá en un diagrama de performance presentado en Sills y Elliot (2024), y a la derecha la Tabla de contingencia correspondiente para una de esas verificaciones. Dadas las definiciones de POD y FAR los valores deseados de estas verificaciones se deberían encontrar en el extremo superior derecho del diagrama de performance, lo que se reflejaría en una Tabla de contingencia con cero sorpresas y cero falsas alarmas. Como se puede ver, la realidad de este tipo de verificaciones es muy distinta a la deseada, con valores altos en ambas categorías de error. El caso ilustrado en la tabla de contingencia tiene un Bias en frecuencia cercano a 1 (diagonal del diagrama) lo que equivale a decir que contiene un número similar de sorpresas y falsas alarmas. Este no es el caso de los otros resultados ilustrados que tienden a tener valores de Bias en frecuencia más altos (indicados en las diagonales), lo que se explica por un número más grande de falsas alarmas que de sorpresas.

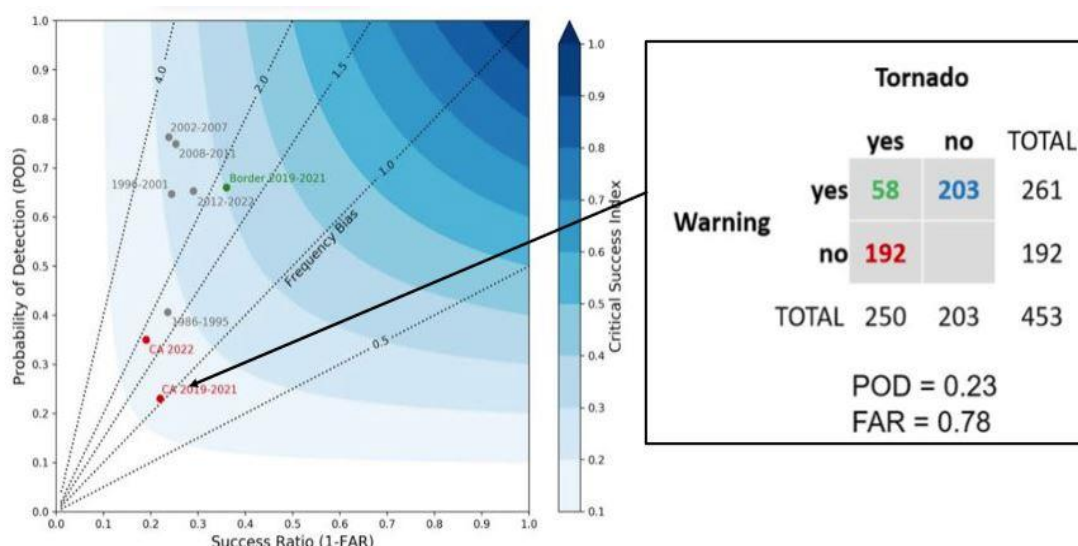


Figura 5: Diagrama de performance de verificación de alertas de tornado en EE.UU. (gris) y Canadá (rojo) presentados en Sills y Elliot (2024). La tabla de contingencia (derecha) muestra los detalles del caso señalado con la flecha.

Una conclusión importante que surge de la inspección de la Fig. 5 es que estos resultados se encuentran muy lejos de los valores más deseables (la esquina superior derecha del diagrama de performance), y que por lo tanto existe la necesidad de convivir tanto con falsas alarmas como con sorpresas. Pero ¿cuál sería el balance apropiado entre estas? ¿se puede "elegir" tener más de una que de otra, o es un hecho que no se controla? ¿se puede encontrar objetivamente el balance óptimo?

3. LA DUALIDAD DEL ERROR: EL DILEMA ENTRE SORPRESAS Y FALSAS ALARMAS

Hammond (1996), llama "dualidad del error" (duality of error) a esa irremediable bipartición del error de un pronóstico categórico (si o no) entre falsas alarmas y sorpresas. Esta dualidad tiene gran importancia para los pronosticadores y es por eso que será discutida con algún detalle.

En la parte izquierda de la Fig. 6 se muestra un diagrama de performance de Bentley y otros (2021) en donde se aprecia la verificación de un algoritmo de predicción de tornados basado en la velocidad de rotación de un mesociclón. Este mesociclón puede ser detectado por la componente Doppler del radar, que se muestra en la parte derecha de la Fig. 6. El algoritmo mencionado estima la velocidad de rotación V_{rot} del mesociclón como

$$V_{rot} = \frac{(V_{max\uparrow} - V_{max\downarrow})}{2},$$

que representa simplemente el promedio de las velocidades Doppler máximas hacia el radar y alejándose del radar. La hipótesis subyacente detrás de este algoritmo es que la presencia de un mesociclón está altamente correlacionada con la aparición de tornados. Una pregunta que surge naturalmente ante esta definición es cuál debería ser el umbral de la velocidad de rotación V_{rot} a partir del cual se emiten alertas de tornado.

En el diagrama de performance, a la izquierda de la Fig. 6 puede verse la verificación de este algoritmo para diferentes valores de umbral, con círculos celestes y la velocidad expresada en nudos (kts). Cuando los valores del umbral de velocidad de rotación son bajos, la verificación se encuentra a la izquierda y arriba en el diagrama, indicando altos valores de POD y altos de FAR (bajos de 1-FAR). Cuando se aumenta el umbral en etapas sucesivas se puede observar como el POD desciende al mismo tiempo que FAR y cuando se llega a valores muy altos de umbrales el sistema ya pierde casi toda capacidad de detección ($POD \ll 1$), pero produce pocas falsas alarmas. Esto muestra claramente que un umbral bajo (20 kts en el diagrama) para la emisión de alertas favorece la detección de tornados, pero pagando el precio de un alto número de falsas alarmas, mientras que un umbral alto (70 kts en el diagrama) tiene mucho menos falsas alarmas, pero tiene una capacidad de detección casi nula (casi todos son eventos sorpresivos). El equilibrio entre falsas alarmas y sorpresas se alcanza cuando el umbral es cercano a 40 kts (diagonal roja en diagrama que corresponde a Bias=1).

Esta relación inversa entre la capacidad de detección y el predominio de falsas alarmas ilustrada en la parte izquierda de la Fig. 6, obliga a una búsqueda de compromiso, o equilibrio, entre la capacidad de los usuarios de tolerar sorpresas o falsas alarmas. Desde esta perspectiva, la Fig. 5 indica que el equilibrio favorecido en EE.UU. se inclina por satisfacer a un usuario reacio a las sorpresas, y donde por lo tanto predominan las falsas alarmas.

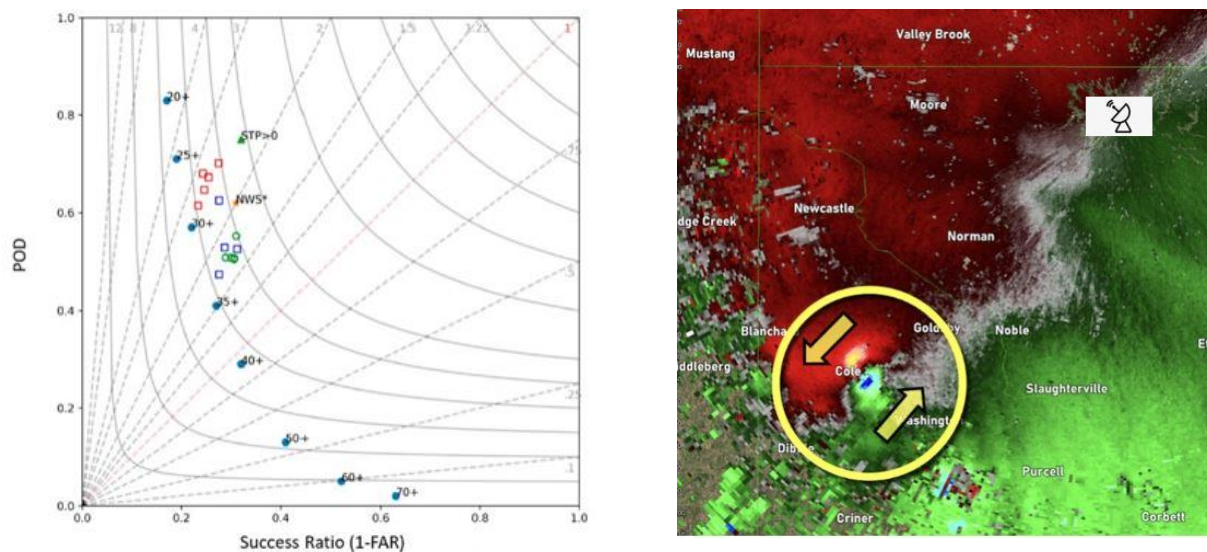


Figura 6: A la izquierda se ilustra el diagrama de performance para un sistema de alertas de tornado descrito en Bentley y otros (2021), basado en la velocidad de rotación detectada en mesociclones. Los círculos celestes indican la verificación de este algoritmo para diferentes valores de umbral con la velocidad expresada en nudos. A la derecha se muestra dentro del círculo amarillo un ejemplo de mesociclón donde las flechas señalan la dirección del viento. El ícono representando el radar indica la localización de este.

La preferencia de falsas alarmas en lugar de sorpresas es frecuente en los sistemas de alerta: las sorpresas significan que el público es sorprendido por un evento potencialmente letal, algo que la sociedad quiere evitar y contra lo cual invierte fondos y crea instituciones. Pero las falsas alarmas también tienen su obvio lado negativo: por un lado, la innecesaria toma de precauciones (que se reflejan en gastos, disrupciones o como mínimo en molestias) frente a un evento que eventualmente no ocurrirá, y por otro la merma de credibilidad del sistema favoreciendo la reticencia a tomar acciones en el futuro. Este último impacto suele denominarse en inglés "Cry Wolf effect", nombre inspirado en la fábula "El pastorcito mentiroso" de Esopo (siglo V AC, ver Fig. 7). Sobre este efecto hay incontables estudios, la mayoría confirmando su existencia, pero la resistencia a tomar acciones de precaución suele ser menor ante alertas de eventos muy peligrosos (ver, por ejemplo, Lim y otros, 2019).

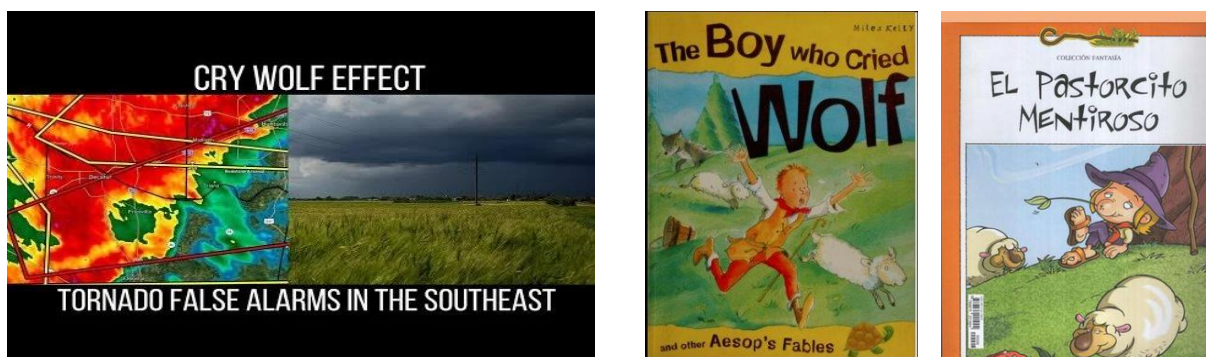


Figura 7: Resonancia en el mundo de las alertas de la fábula de Esopo que narra las desventuras de un pastor de ovejas poco convencido de la importancia de su trabajo. A la izquierda se puede ver una imagen sacada de la televisión de EE.UU. que indica con la expresión "Cry Wolf effect" la no aparición de la tormenta anunciada. A la derecha ediciones en inglés y español de la conocida fábula.

Más allá de lo que la verificación muestra en la práctica con respecto al equilibrio entre falsas alarmas y sorpresas, uno puede preguntarse si existe alguna manera objetiva de encontrar un balance óptimo entre estos dos tipos de errores. Existen varios estudios que discuten esta temática utilizando modelos económicos simples que dependen de los gastos asociados a eventuales medidas de protección y pérdidas asociadas al evento (ver de Elia y otros 2023, y referencias allí mencionadas), así como también considerando el efecto "Cry Wolf" (ver de Elia 2022). Los resultados generales indican que —como comúnmente es el caso— si las pérdidas ocasionadas por un evento sorpresa son más grandes que las pérdidas debidas a reacciones innecesarias provocadas por falsas alarmas, la solución óptima exige la predominancia de falsas alarmas. La proporción exacta entre falsas alarmas y sorpresas que sugiere el modelo es función del "modelo económico" de cada usuario ante el evento, y por lo tanto un servicio público que responde a muchos usuarios no se encontraría en condiciones de encontrar valores que satisfagan a todos los usuarios simultáneamente.

Además, la visión economista de los estudios mencionados tiene como inconveniente que deja de lado los riesgos asociados a la pérdida de vidas, que no solo dificultan el tratamiento económico, sino que transforman el compromiso entre sorpresas y falsas alarmas en un problema de valores éticos propios de cada sociedad. Naturalmente, eventos potencialmente catastróficos no solo tienen un impacto socio económico sino también político. Knedlik (2014) en un estudio sobre alertas tempranas encontró que aquellos administradores que no tienen responsabilidad directa en la toma de medidas preventivas ante la emisión de una alerta tienden a favorecer el exceso de falsas alarmas. Desde otra perspectiva, Rothfus y otros (2018) comentan: "Cuando el pronosticador emite una alerta en lo que piensa es el momento "correcto", está presuponiendo conocimiento de las necesidades de los usuarios y sus tolerancias a riesgos, pero también respondiendo a una mezcla compleja de políticas de gobierno, relaciones entre pronosticadores y usuarios, diseño del software con el que trabajan etc.".

En definitiva, no existen recetas mágicas para encontrar el equilibrio entre sorpresas y falsas alarmas que protejan a la sociedad de manera uniformemente satisfactoria (ver Eiser y otros 2012), ni que garantice que un nuevo administrador de la cosa pública no encuentre intolerable hoy, lo que antes era aceptado implícita o explícitamente. Lo que quizás es aún más complejo, es hacer entender al público y autoridades sobre la necesidad de convivir con sorpresas y falsas alarmas, el "pecado original" de todo sistema de alerta.

Retomando los resultados de la Fig. 6 (izq.), allí podemos observar una línea imaginaria recorrida por el cambio del umbral en el diagrama de performance. Este cambio de posición implica una modificación en todos los parámetros discutidos, incluso del CSI (en azul), pero se podría argumentar que la línea imaginaria indicada por los puntos celestes representa una cierta propiedad que es inherente al sistema de alerta, independientemente de la decisión que se tome sobre el umbral y el equilibrio entre sorpresas y falsas alarmas. Doswell (2004) llama a este tipo de curva "state of the science" (estado de la ciencia), indicando que más allá del compromiso entre falsas alarmas y sorpresas esta curva marca el límite de nuestras capacidades predictivas (con las herramientas, los conocimientos, los recursos computacionales y humanos disponibles en ese momento). Este tipo de línea también tiene una relación con el llamado "Frente de Pareto" que delimita, en muchos tipos de sistemas en ingeniería y economía, áreas de performance que el sistema no puede superar. Mejoras efectivas en la capacidad del sistema de alertas deberían observarse no con una estimación de un índice arbitrario como el CSI, sino con estimaciones del desplazamiento de esta curva hacia la derecha de su posición actual. Cabe notar, no obstante, que la curva mencionada no siempre es de fácil obtención, particularmente cuando el sistema de alertas tiene una componente subjetiva y los pronósticos se utilizan de forma operativa. En estos casos, ya obtener verificaciones puntuales es un esfuerzo considerable.

4. EL DILEMA ENTRE ANTICIPACION Y CALIDAD

Además del dilema discutido en la sección anterior, existe otro relacionado con la anticipación de la alerta. Naturalmente cuanto más "temprana" la alerta más útil podría ser esta para los usuarios —les permitiría más tiempo para la toma de decisión y un accionar más organizado— pero al mismo tiempo más incierta sería esta. Por ejemplo, podríamos imaginar un sistema de alerta basado en otra característica de las tormentas tornádicas que permitiera una más temprana detección, pero con menor calidad que la presentada por el método de la Fig. 6 (izq.). En este diagrama de performance se la vería como una curva a la izquierda de la ya mencionada con círculos celestes.

En la práctica, la solución más utilizada para convivir con este dilema es el escalonamiento de la emisión de alertas de tal manera que el público reciba dos o tres llamadas de atención, con creciente grado de certidumbre y de urgencia. Este es caso de los sistemas de alertas meteorológicas en EE.UU. y Argentina. A la izquierda de la Fig.8 se ilustra el sistema de la NOAA en tres etapas, y a la derecha se presenta el sistema de alerta del SMN con las alertas (en color) y el polígono del ACP. Para más detalles sobre la alerta por colores en el SMN ver de Elia y otros (2021), y el sitio de preguntas frecuentes <https://www.smn.gov.ar/sites/default/files/PreguntasFrecuentes.pdf>.



Figura 8: Las diferentes etapas de un sistema de alertas por tormentas severas ejemplificadas con los casos de EE.UU. (izquierda) y el del SMN (derecha). El de EEUU consta de tres etapas que indican la proximidad del evento, mientras que el del SMN cuenta con dos (zonas coloreadas indicando la región alertada, y el polígono señalando el ACP). En el caso del SMN, el pronóstico a una semana (<https://www.smn.gov.ar/pronostico/>) puede dar cuenta de la probable ocurrencia de un evento, por ejemplo de tormentas con una anticipación máxima de 168 horas, pero no forma parte del Sistema de Alerta Temprana por sí mismo debido a la alta incertidumbre.

En los estudios iniciales sobre los sistemas de alertas, por ejemplo, en el emblemático trabajo de Paté-Cornell y Neu (1985), no se distingue entre los dos dilemas aquí mencionados, sino que se los reduce a uno solo entre anticipación y falsas alarmas, más natural al tipo de problema que se trataba (alerta de ataques nucleares). La transformación de dos dilemas en uno solo tiene razón de ser cuando el pronosticador controla el factor anticipación del envío de la alerta independientemente de las necesidades del usuario, que seguramente tendrá un tiempo mínimo a partir del cual no puede tomar acciones. En este caso, el pronosticador podría estirar su tiempo de reacción hasta llegar a la convicción de que el evento tendrá lugar. Si bien es posible que la alerta resulte en una falsa alarma, la calidad del pronóstico se mejora a costa de comprometer la anticipación necesaria para dar tiempo a las reacciones del usuario. En el caso en que una institución fije un periodo de anticipación mínimo, esta tentación de postergar la emisión no puede ser satisfecha. La Fig. 9 ilustra la evolución en los últimos años del tiempo de anticipación promedio en la alerta

de tornados en EE.UU. Sé puede apreciar que este valor se ha mantenido constante y que se ha evitado utilizar el atajo de reducir la anticipación para mejorar la performance general.

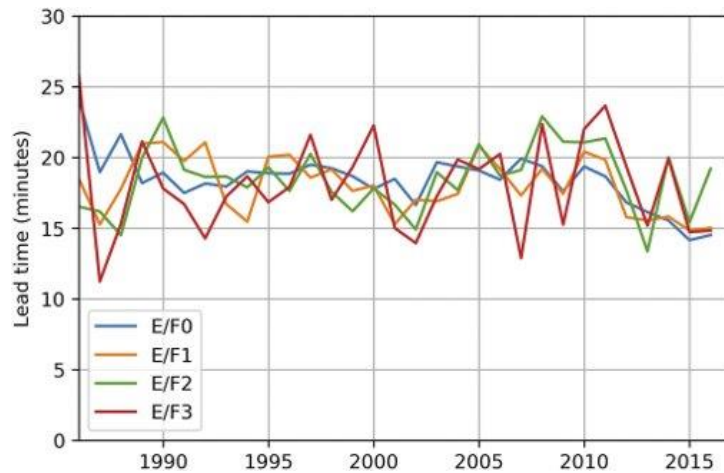


Figura 9: Evolución de la anticipación del pronóstico de tornado en EE.UU. según el estudio de Brooks y Correia (2018).

5. LA PERSPECTIVA INDIVIDUAL

En lo discutido hasta ahora se tomó como medida del éxito del Aviso la materialización de la amenaza dentro del polígono definido y no se mencionaron restricciones sobre su talla. Esta libertad en lo que respecta a su tamaño podría sugerir que la extensión de la superficie de los polígonos puede ser una estrategia (consciente o inconsciente) que podría utilizar el pronosticador para mejorar los índices de performance (disminuir las sorpresas y aumentar los aciertos sin ser afectado por el incremento de falsas alarmas).

Cuando se adopta la perspectiva del individuo que se encuentra dentro del polígono la situación se modifica: ya no alcanza con que la tormenta tenga lugar dentro del polígono para que sea considerado un acierto, sino que debiera ocurrir en el lugar donde se encuentra el individuo. La Fig. 10 ilustra este caso, mostrando lo que ahora sería una falsa alarma (izquierda) y un acierto (derecha). Naturalmente esta perspectiva evitaría un aumento "por precaución" de la talla de los polígonos.

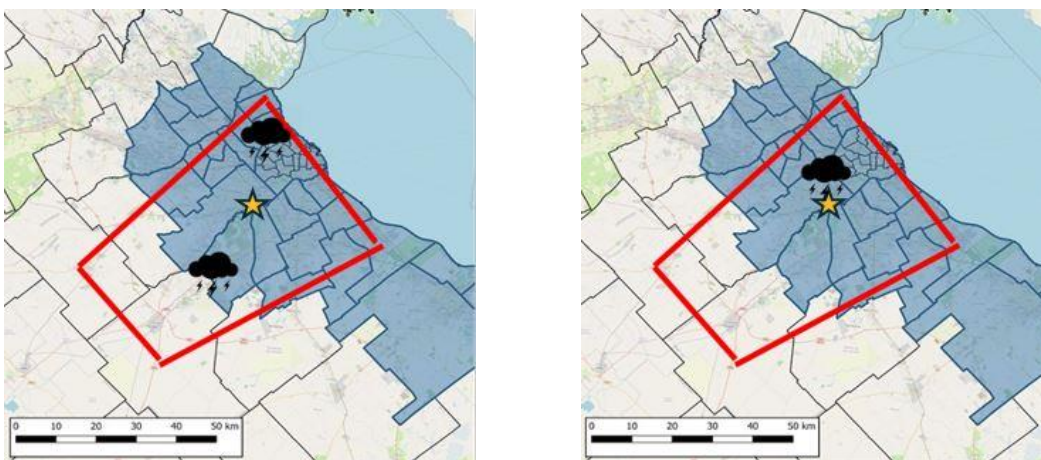


Figura 10: Acierto en un ACP, de acuerdo con una perspectiva areal (izquierda) o puntual (derecha).

Estos dos tipos de verificación —areal y puntual— tratan de capturar por un lado la perspectiva del emisor de la alerta, considerando al polígono como un área donde hay probabilidad de ocurrencia del evento, mientras que la puntual refleja los intereses propios del individuo afectado. De todas maneras, podría argumentarse que el individuo tiene una experiencia de los eventos más compleja que la simple verificación puntual demostraría. Por ejemplo, si alguien que se encuentre en un área bajo alerta de tiempo severo es informado de la destrucción por parte de un tornado de una parte de la ciudad a 1 km de distancia de donde reside, probablemente no dude en considerar que la alerta fue acertada, aunque su hogar no haya sido alcanzado. Quizás la misma impresión predomine si el tornado hubiera pasado a 2 km de distancia, pero esta convicción disminuiría si estuviéramos hablando de 10, 20 o 50 km de distancia. Tampoco sería sorprendente que, si el fenómeno fuera menos destructivo que un tornado, como una granizada, la sensación de falsa alarma se incremente con la distancia con mayor rapidez. La Agencia Meteorológica de Japón tiene una actividad proactiva para disminuir la percepción de falsa alarma cuando un evento severo ocurre: informan a la población de la ocurrencia y de esta manera transmiten a la población de los alrededores sobre la ocurrencia del evento en sus inmediaciones. Además, se encargan de capacitar continuamente a distintos sectores de la población para concientizar sobre los posibles impactos que implican los distintos eventos meteorológicos extremos a los que están expuestos. De esta manera, desde una temprana edad la población está en contacto con las medidas de mitigación del riesgo y reciben capacitación sobre su rol en una emergencia frente a una alerta o aviso meteorológico.

Trainor y otros (2015) discuten la notable diferencia que hay entre falsas alarmas como estimación objetiva y la percepción de estas por parte de la población. Esta diferencia es clave porque el "Cry Wolf effect" —que tanto disminuye las acciones ante las alertas, como afecta el prestigio institucional— depende sobre todo de la percepción. Para ayudar en un acercamiento entre falsas alarmas percibidas y verificadas algunos autores proponen el concepto de "close call" o "near miss" (ver Barnes y otros 2007), que consiste en darles estatura conceptual a aquellos casos que si bien en un discreto si/no análisis debieran ser catalogados como falsas alarmas se acercan bastante en sus características a un acierto. De esta forma obtienen las categorías: acierto, falsa alarma, sorpresa, evento subestimado, evento sobreestimado. Con la misma idea, Sharpe (2016) introdujo en el Met Office verificaciones que contienen nuevas categorías que flexibilizan la drástica clasificación si/no discutida hasta aquí. Por ejemplo, entre otros cambios, la categoría Acierto es complementada con Acierto tarde, Acierto temprano, Acierto tarde y subestimado, Acierto temprano y subestimado. Aquí la componente temporal refiere a que el evento ocurrió antes (Acierto tarde) o después (acierto temprano) de lo pronosticado.

6. VERIFICACIÓN PRELIMINAR DE ACPs EN EL SMN

A diferencia de otros tipos de pronósticos —como por ejemplo los de temperatura máxima en una ciudad determinada—, los ACP transmiten información sobre fenómenos complejos de baja predictibilidad y estructura espacial de pequeña escala a tener lugar en un cierto periodo de tiempo y en lugares no exactamente determinados. De la misma manera que la temperatura máxima en una ciudad puede verificarse con la lectura del termómetro de máximas y mínimas en una estación del SMN, la verificación de los fenómenos anunciados en un ACP requeriría de una vasta red de estaciones de medición distribuidas por el país y con instrumentos capaces de detectar caída de granizo o periodos intensos de lluvia. Estas capacidades están más allá de los recursos de incluso los más grandes servicios meteorológicos del mundo, y es por ello que la verificación de los ACP es una actividad que requiere una variedad de fuentes de información no tradicionales. Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías es posible tener acceso ahora a información que hace las veces de observaciones "in situ" a través de las redes sociales como Twitter, Facebook, publicaciones en internet de diarios locales, foros de aficionados a la meteorología, etc.

En diversos países del mundo existen productos similares a los ACP del SMN (como se menciona en la Fig. 2) y estos también han encontrado de utilidad este tipo de información que, si bien imperfecta y lejos de ser estandarizada, contiene información muy valiosa (ver, por ejemplo, Hyvärinen y Saltikoff, 2010).

Como primera experiencia de verificación de ACPs se verificaron los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2017. Se compararon dos metodologías diferentes de verificación en área de los polígonos. En la primera, todo reporte dentro del área encerrada por el aviso que cumplía los parámetros de calidad era utilizado como input en la verificación. En la segunda solo se permitía tomar los reportes encontrados dentro de cinco grandes centros urbanos del país, donde se concentra aproximadamente el 40% de la población total. Estos centros urbanos son, AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires), Mar del Plata, Rosario, Sante Fe - Paraná y Córdoba Capital (ver San Martino y otros 2019, Irurzun y otros 2022).

Para realizar esta verificación inicial, se utilizaron dos fuentes de información principales:

1. Noticias publicadas en diarios locales, provinciales y nacionales. Esta fuente de información es muy importante dado que la búsqueda avanzada de Google permite encontrar rápidamente noticias relacionadas con eventos de tiempo severo en cualquier parte del país y en el intervalo de tiempo que se desee. Si ocurrió un evento de tiempo severo, ya sea durante el día o en horas de la madrugada, muy probablemente habrá una noticia al respecto, incluso en pueblos pequeños o zonas no tan densamente pobladas como las grandes ciudades. Cabe destacar que al no ser absolutamente segura la existencia de noticias relacionadas a eventos meteorológicos, esto induce a una potencial subestimación de los eventos registrados (ver en Apéndice I el impacto de la subestimación de eventos registrados en la verificación de las alertas). Es por eso que se necesitan otras fuentes de información complementarias.
2. Reportes de usuarios de redes sociales, principalmente Twitter (actualmente X). La herramienta TweetDeck (ver <https://en.wikipedia.org/wiki/TweetDeck>), llamada X Pro desde 2023, permitía buscar tweets dentro de un radio seleccionado por el usuario desde cualquier punto y en un período temporal determinado. Si bien es una fuente de información muy valiosa, en ocasiones los reportes son escasos y se ven sesgados por factores como la densidad de población o la hora en la que ocurrió el evento. Si una tormenta severa azota a una ciudad durante la madrugada y en zonas con bajo índice poblacional, la probabilidad de encontrar un reporte es menor.

Como resultado de esta metodología se decidió sistematizar la verificación de ACPs solo para estos grandes centros urbanos, dado que, al involucrar zonas con mayor densidad poblacional, era más factible encontrar reportes en redes sociales o medios periodísticos válidos para esta verificación. Además, dado que la búsqueda de reportes para la verificación se hacía de manera manual, la verificación en todo el territorio implicaba una dedicación que excedía las posibilidades de los recursos humanos disponibles.

A partir de esta elección, en el año 2020 se empezaron a emitir informes para presentar ante la Dirección del SMN de forma sistemática, donde se verificaban los ACPs que afectaban de manera total o parcial alguno de los centros urbanos mencionados. Además, se incorpora el uso de estaciones meteorológicas de terceros, principalmente participantes de la red Wundermap, para cubrir el faltante de datos en la zona y así aumentar la probabilidad de encontrar reportes durante eventos de tiempo severo. Cabe destacar que a partir de la incorporación de Wundermap como fuente de información se comenzaron a verificar los acumulados de precipitación (ver Irurzun y otros 2022), algo que no se tuvo en cuenta en la metodología inicial abordada en San Martino y otros (2019). En la Figura 11 se resume el criterio para la verificación de ACPs durante el período comprendido entre 2020 y 2023.

Fenómeno	Fuente de verificación	Validación
Granizo	Mensajes METAR/SPECI	Al menos un reporte
	Reportes de Redes sociales	1 publicación incluyendo una foto del granizo o al menos 2 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 Wundermap	Al menos 2 mediciones con ráfagas iguales o mayores a 60 km/h
	Noticias locales utilizando la búsqueda avanzada de Google	Al menos un reporte
Lluvia intensa	Reportes de Redes sociales	Al menos una publicación en foto/video con anegamientos
	Mediciones de EMAs automáticas no oficiales en Wundermap	Al menos dos estaciones cercanas con acumulados igual o mayores a 20 mm/h

Figura 11: Criterio de verificación de ACPs para grandes centros urbanos entre 2020 y 2023.

En la actualidad se está trabajando en la automatización de los procesos de verificación, para poder verificar la base de ACPs en su totalidad mediante la incorporación de redes de estaciones meteorológicas de terceros. Además, la búsqueda de reportes en redes sociales y medios periodísticos para la verificación de granizo fue reemplazada por la consulta de los reportes disponibles en la Base de Datos de Amenazas Meteorológicas y sus Impactos de América del Sur (SAMHI, Salio y otros 2024), por lo que la metodología mencionada anteriormente quedaría descontinuada.

6.1 Anticipación

En la Fig. 12 se muestra un caso real con la línea de tiempo marcada desde que las tormentas desarrollan características severas. Estos patrones son escaneados por el radar, transmitidos, procesados, interpretados por el pronosticador de turno y finalmente, tiene lugar la emisión del ACP avisando de los fenómenos esperados (para una discusión en detalle de esta línea de tiempo ver Apéndice II).

Como puede verse en el desglose temporal, existe un retraso de 20 a 30 minutos desde que el patrón de tiempo severo se desarrolla hasta que se emite el ACP, asociado a las sucesivas etapas que necesariamente insumen su propio tiempo: en el caso mostrado, se puede ver que hay un retraso de hasta 10 minutos desde que las tormentas desarrollan el patrón de tiempo severo, hasta que este es detectado por el radar y la información es procesada. Este retraso es propio del radar y se debe al tiempo que le toma a este realizar un escaneo completo y procesar la información para poder ser utilizada por el pronosticador. En la última etapa antes de la emisión, el pronosticador de turno realiza el análisis exhaustivo de la situación retomando lo explicado en la sección 4 de esta nota técnica. Lo que se busca en este análisis, es el punto justo entre calidad y anticipación, para que la población que va a ser afectada y los organismos de respuesta estén preparados con el mayor tiempo de preaviso posible, sin delimitar un área demasiado extensa como para poder efectuar una acción efectiva.

La carga laboral que experimenta el pronosticador durante su turno también tiene un impacto en el tiempo de envío de un ACP. El pronosticador no solo debe prestar atención a un solo radar, sino que debe atender a la red completa de 18 radares que existe en la actualidad. Cabe aclarar que no es común tener situaciones de tiempo severo que involucre a la totalidad de la red de radares en simultaneo, sin embargo,

el pronosticador de guardia debe estar atento a estos por si se presenta algún tipo de falla o faltante de imágenes para avisar al equipo técnico y que este actúe en consecuencia. En situaciones de tiempo severo generalizado, se opta por aumentar el tiempo de anticipación en la emisión de los ACPs y graficar polígonos de mayor tamaño, realizando además un análisis menos riguroso con el fin de evitar eventos de sorpresa. Esta decisión trae aparejada un ineludible aumento en la tasa de falsas alarmas.

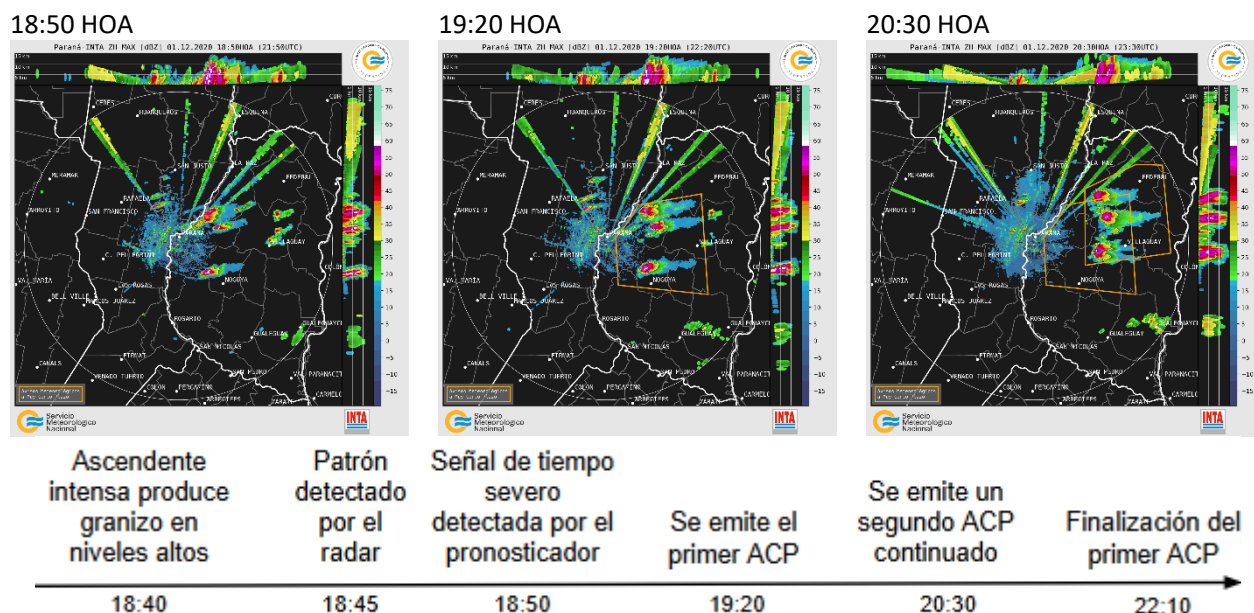


Figura 12: Línea de tiempo de la emisión de ACPs por tormenta severa. Es importante destacar el "período ciego" ocupado por el periodo de escaneo del radar, transmisión y preparación de los datos, posterior análisis por el pronosticador de turno y envío del ACP. Este período ciego, inevitable en los sistemas de alertas, coloca usualmente a los primeros minutos del desarrollo de un evento severo en el inevitable terreno de la sorpresa. En general este defecto lo suple el preanuncio en el sistema de alertas de la etapa anterior correspondiente. En el SMN este rol lo cumplen las Alertas por colores que se emiten con mayor anticipación.

6.2 Verificación de polígonos

En la Figura 13 se resumen los resultados de la verificación de la misma muestra de ACPs, pero desde dos perspectivas diferentes. Una utilizando la metodología areal descrita en la sección anterior para la zona del AMBA, la cual se puede considerar que toma la perspectiva de un organismo encargado de la defensa de la población, y la otra, considerando el punto de vista de un usuario puntual del producto. Para este usuario hipotético, el ACP solo será considerado como un acierto si el evento pronosticado sucede exactamente en el punto donde se encuentra al momento de recibir el aviso.

Al considerar esta perspectiva puntual, lo que estamos haciendo es reducir nuestra red de detección de eventos para concentrarnos solo en el punto donde se encuentra el usuario. Para este análisis se tomó el Aeroparque Jorge Newberry (SABE) como punto, ya que tenemos la garantía de que existe personal capacitado haciendo guardia las 24 horas del día, durante los 365 días del año con instrumental calibrado, y cuenta además con un sistema AWOS (Automated Weather Observation System). Por lo que en caso de que suceda algún evento meteorológico en este punto, existe instrumental y personal en condiciones de detectarlo.

La Fig. 13 muestra resultados de ambos tipos de verificación. A la izquierda se ilustran los ACP considerados, cuya condición es que todos incluyan al SABE. A la derecha se muestran diagramas de torta para la verificación sobre centros urbanos (arriba) y puntual (abajo). Los diagramas de la izquierda representan los casos de ráfagas, mientras que los de la derecha ilustran la verificación de granizo. Comparando los resultados de ambas perspectivas, puede notarse que el número de falsas alarmas aumenta considerablemente cuando se toma el punto de vista de un usuario puntual. Esto tiene sentido, dado que estamos reduciendo considerablemente la cantidad de observaciones disponibles para la verificación en comparación con la perspectiva areal.

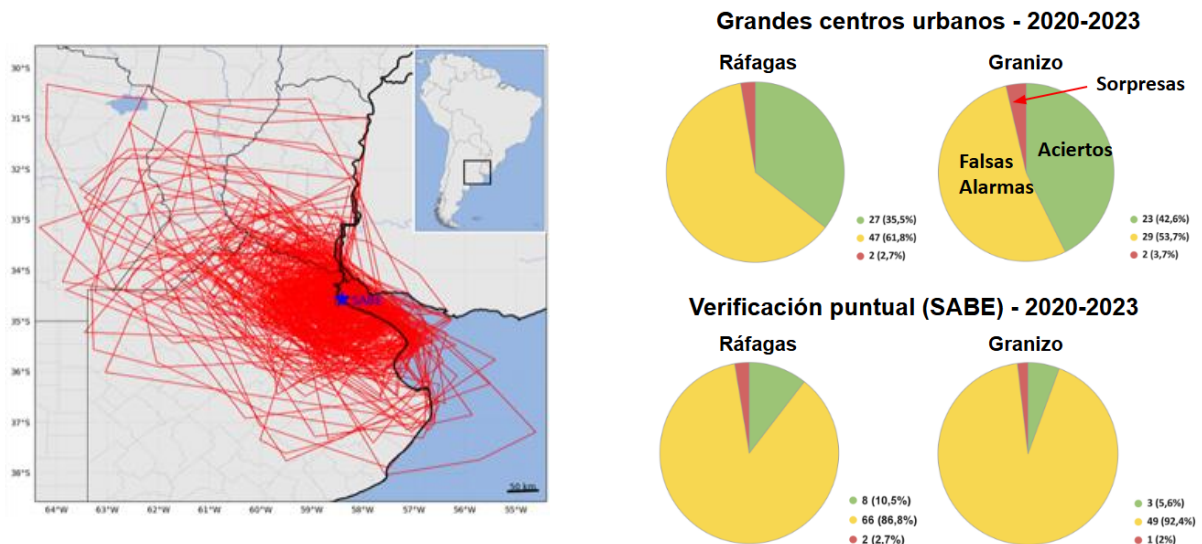


Figura 13: Comparación de resultados de la perspectiva areal (centro urbano) vs. puntual para los ACPs emitidos entre 2020 y 2023 que involucraron al Aeroparque Jorge Newberry (SABE). A la izquierda se puede notar que algunos ACPs tienen una gran superficie, correspondiendo estos a los primeros años de emisión de ACPs. La evolución de los tamaños junto con otras características esta descrita en Ishikame y otros (2022). A la derecha se presentan diagramas de torta para la verificación sobre centros urbanos (arriba) y puntual (abajo). Los diagramas de la izquierda representan los casos de ráfagas, mientras que los de la derecha, los de granizo.

Si miramos en detalle los índices de performance en la Fig. 14 vemos que, para ambas perspectivas, el POD se mantiene alto con valores entre 0.75 y 0.9, lo que indica un bajo número de sorpresas. Pero al considerar FAR en la perspectiva areal (centro urbano) este índice ronda el 50-60% frente a un 90% de la perspectiva puntual (SABE). Esto quiere decir que, para un usuario individual, solo en uno de cada diez avisos que lo involucran se logra detectar un fenómeno.

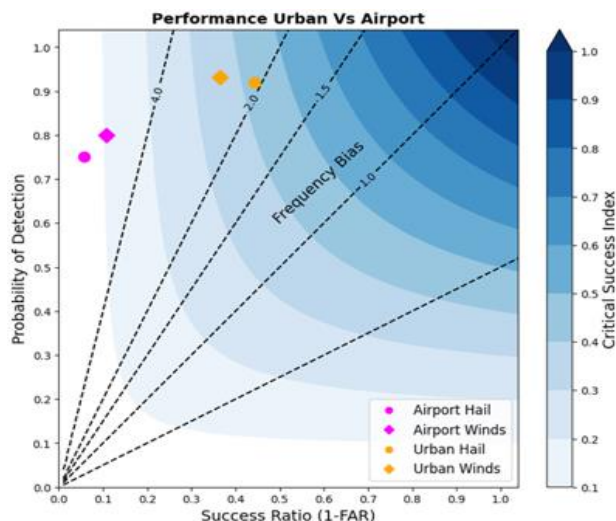


Figura 14: Diagrama de performance comparando perspectiva areal vs. puntual para los ACPs emitidos entre 2020 y 2023 que incluyeron al Aeroparque Jorge Newberry (SABE). Los valores de POD y FAR fueron calculados con datos provenientes de la Fig. 13.

Las verificaciones de ACPs de manera puntual no son frecuentes, sin embargo, representan una parte importante de la experiencia del usuario. Uno de los pocos casos similar al discutido aquí lo proponen Kuligowski y otros (2014) donde analizan las alertas en Joplin, Missouri, luego de que esta localidad sufriera un devastador tornado el 22 de mayo del 2011 que dejara 160 muertos. Este evento fue recientemente recordado en un documental llamado *Twister: caught in the storm* (ver <https://www.imdb.com/es/title/tt35882698/>). En el reporte de Kuligowski y otros (2014) se estudia la reticencia de los pobladores a tomar medidas de protección a pesar de la información clara de que disponían. Con el fin de analizar el potencial rol de las falsas alarmas, el estudio muestra que desde el inicio de las alertas 7 años antes, solo 4 de las 18 alertas de tornado que incluían la ciudad de Joplin fueron preanuncio de auténticos tornados ($FAR=0.78$, ver Fig. 15). Este alto nivel de falsas alarmas se agudizaba si solo se consideraban los últimos 5 años previos al evento: hubo 12 alertas con un solo tornado confirmado ($FAR=0.92$).

Es importante notar que en el caso de Joplin la verificación era considerada "acierto" si el tornado tocaba algún sector de la ciudad que cubre 100 km². La verificación aquí descripta sobre el Aeroparque Jorge Newberry es mucho más demandante ya que se basa en un registro puntual ubicado dentro del Aeroparque.

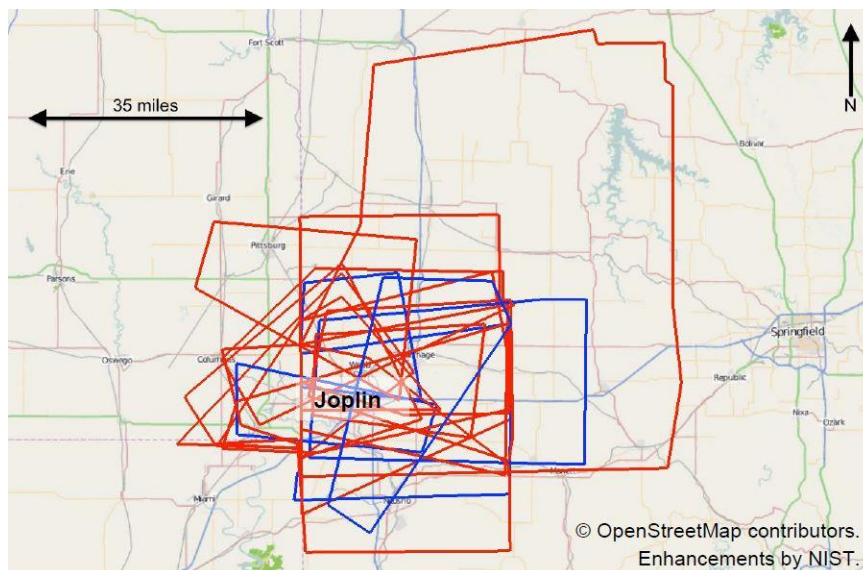


Figura 15: Polígonos de alertas de tornado que incluyen a la ciudad de Joplin, Missouri en EE.UU. (emitidos entre el 1 de Julio 2005 y el 25 de mayo de 2011). En rojo los polígonos que resultaron falsas alarmas, en azul aquellos que incluyeron un tornado. Tomado de Kuligowski y otros (2014).

En lo que respecta a los "Convective Outlooks", emitidos con 24-horas de anticipación por la NOAA, el significado de la verificación puntual queda más explícito. Como se puede ver en el sitio web https://www.spc.noaa.gov/misc/SPC_probotlk_info.html, si existe una chance de tornados del 15% esto debe interpretarse como que hay un 15% de probabilidades de que ocurra un tornado dentro de 40 km (25 millas) de donde uno se encuentra. Es interesante ver que los valores de probabilidades con las que comienzan a informarse al público son (aparentemente) bajos. Ya arriba del 2% merita una mención (color verde) y arriba del 5% ya un amarillo (ver Fig. 16). Desde la perspectiva que se discute arriba, una chance del 5% correspondería a una cantidad de falsas alarmas del 95%. Notar que a diferencia de los casos anteriores este refiere a un pronóstico de 24 horas. Una pregunta natural que surge de las probabilidades mostradas es si estas son calibradas o solo representan la opinión subjetiva de los pronosticadores. El trabajo de Herman y otros (2018) muestra que estos valores, si bien contienen ciertos desvíos, no están lejos de ser calibrados. Es decir, aquellos eventos que se pronostican con 5% de probabilidades ocurren en alrededor de un 5% de los casos.

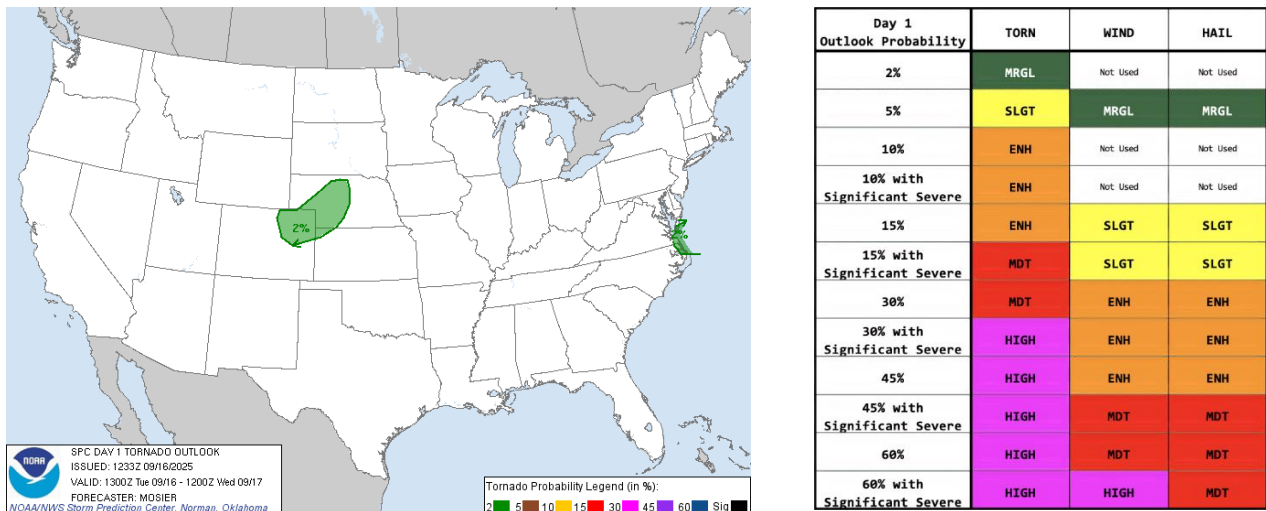


Figura 16: Imagen del "Convective Outlook" de 24 horas (para Tornado) de la NOAA del 16 de septiembre de 2025 (izquierda), A la derecha la tabla de equivalencias en uso.

Una muy esclarecedora ilustración de la proporción de falsas alarmas dentro de los polígonos de alertas de tornados en los EE.UU. se muestra en la Fig. 17 (tomada de Rothfus y otros 2018). Allí se puede ver una representación normalizada del área ocupada por las alertas por tornado en EE.UU. (rojo) y el área ocupada por daños reales ocurridos por tornados (amarillo). El área amarilla representa un 0.2% del total. Es conveniente tomar estos valores de manera ilustrativa y no al pie de la letra, porque dependen en gran medida de cómo se definen las variables involucradas

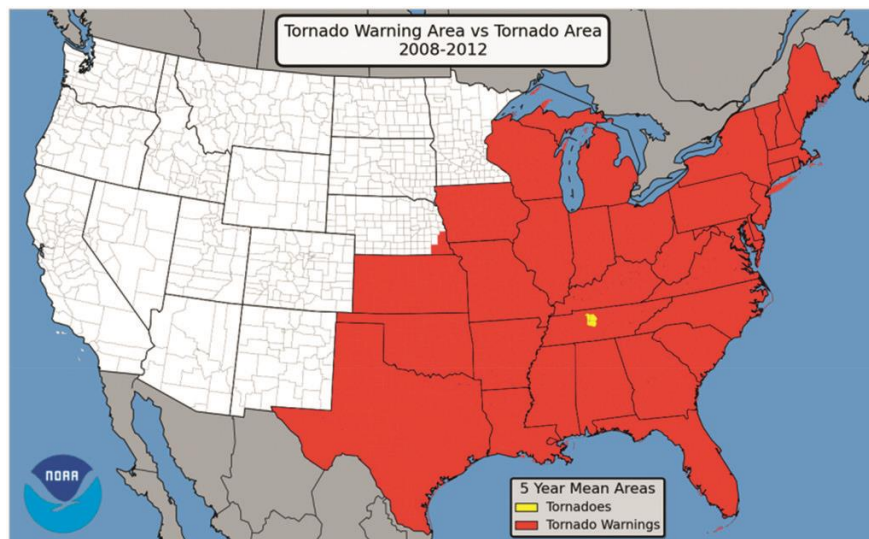


Figura 17: Representación normalizada del área ocupada por las alertas por tornado en EE.UU. (rojo) y el área ocupada por daños reales ocurridos por tornados (amarillo). Valido para los años 2008-2012. Tomado de Rothfus y otros (2018).

Desde otra perspectiva también es de interés mencionar el caso de las alertas por inundaciones repentinas (FFW) producidos por la NOAA. Como indican Martinaitis y otros (2023), el tamaño del polígono típico de FFW es de 2000 km² mientras que la típica inundación repentina ocupa un área de alrededor de 100 km². (un área 20 veces más pequeña), lo que puede tener implicancia en la percepción puntual de falsas alarmas.

7. CONCLUSION

Los sistemas de alerta son herramientas que han utilizado las sociedades a través de la historia para disminuir los riesgos de amenazas conocidas. En la actualidad, las posibilidades que han abierto la ciencia y la tecnología en conjunto con el empoderamiento de la sociedad civil hacen de estos sistemas un elemento clave en la lucha contra los riesgos de diferente tipo. Un ejemplo de esto es la iniciativa de la Naciones Unidas "Alertas tempranas para todos" mencionada en la introducción, a lo que se suma la nueva metodología de difusión de alertas a través de teléfonos celulares (cell broadcast; ver en Apéndice III las semejanzas con las problemáticas de los ACPs aquí discutidas).

Un elemento importante de estos sistemas de alerta es su relación con la incertidumbre. Por un lado, todo predictor de amenaza puede jugar un rol importante en el diseño de un sistema de alerta (como el detector de humo en la alerta de incendio, o la reflectividad en el radar para tiempo severo). Por otro lado, estos predictores tienen usualmente una anticipación y una correlación limitada con el evento, por lo cual sus roles como parte de un sistema de alerta conllevan una incertidumbre intrínseca. Esta se refleja naturalmente como un limitante en la anticipación y la incapacidad de evitar errores en la forma de sorpresas y/o falsas alarmas.

La performance no es usualmente parte de la descripción de los sistemas de alertas —como si estos fueran destinados a ser perfectos—, ni tampoco lo son las decisiones tomadas por las instituciones con respecto a los dilemas aquí mencionados: anticipación vs calidad, y sorpresas vs. falsas alarmas. Por esta razón, los responsables de emitir estas alertas deberían realizar un gran esfuerzo de comunicación para hacer llegar a los usuarios y responsables políticos las limitaciones de estos sistemas y moderar las expectativas que se debe poner sobre ellos.

Para poner en contexto lo mencionado, es interesante conocer los desafíos con que se enfrentan otros sistemas de alerta. Un caso extremo por su bajo poder de anticipación y el poder destructor de la amenaza es el Alerta para terremotos. Wald (2020) discute la problemática de tener un sistema de alerta con tan alto nivel de promesa que en la práctica esconde muchos obstáculos. Entre sus conclusiones dice: "Lo que se requiere, entonces, es transparencia y equilibrio en el debate sobre la Alerta Temprana de Terremotos (AET): junto con su potencial, es necesario reconocer sus limitaciones inherentes y prácticas. Reconocer estas limitaciones podría, de hecho, hacer que la implementación de la AET sea más exitosa como parte de una estrategia integral de mitigación de terremotos" (*nuestra traducción*).

8. REFERENCIAS

- Anaya, D., D'Amén, D., Chasco, J., Saucedo, M. 2020: Generación de umbrales meteorológicos para la emisión de alertas en el Servicio Meteorológico Nacional: Lineamientos para avanzar en el pronóstico por impacto. Nota Técnica SMN 2020-69
- Baccelli, F., B. Błaszczyzyn, 2006: The World a Jigsaw: Tessellations in the Sciences. Lorentz Center, Leiden University, 6–10 March 2006.
- Barnes, L. R., E. C. Gruntfest, M. H. Hayden, D. M. Schultz, and C. Benight, 2007: False Alarms and Close Calls: A Conceptual Model of Warning Accuracy. *Wea. Forecasting*, **22**, 1140–1147, <https://doi.org/10.1175/WAF1031.1>.
- Bentley, E. S., R. L. Thompson, B. R. Bowers, J. G. Gibbs, and S. E. Nelson, 2021: An Analysis of 2016–18 Tornadoes and National Weather Service Tornado Warnings across the Contiguous United States. *Wea. Forecasting*, **36**, 1909–1924, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0241.1>
- Bopp, E. y otros, 2024: Spatial (in)accuracy of cell broadcast alerts in urban context: Feedback from the April 2023 Cannes tsunami trial. *Computers, Environment and Urban Systems*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971523001187>
- Brooks, H. E., and J. Correia, 2018: Long-Term Performance Metrics for National Weather Service Tornado Warnings. *Wea. Forecasting*, **33**, 1501–1511, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0120.1>.
- Chromik, J., Klopfenstein, S. A. I., Pfitzner, B., Sinno, Z. C., Arnrich, B., Balzer, F., & Poncette, A. S., 2022: Computational approaches to alleviate alarm fatigue in intensive care medicine: A systematic literature review. *Frontiers in Digital Health*, **4**, 843747. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2022.843747>
- D'Amén, D., J. M. Goñi, M. E. Menalled, N. S. Garcilazo, 2023: Relevamiento de usos y valoraciones de usuarios de Gestión de Riesgo de Desastres sobre el Sistema de Alerta Temprana, Pronóstico Semanal, Pronóstico Climático Trimestral, Informe ENOS y aplicación móvil del Servicio Meteorológico Nacional 2023. Nota Técnica SMN 2024-177.
- D'Amén, D., M. Vilariño, M. Menalled, N.S. Garcilazo, 2024: Implementación del relevamiento con usuarios de GIRD receptores de Alerta Rojo. Nota Técnica SMN 2024-176.
- de Elía, R., Lohigorry, P., Guerrieri, J., Chasco, J., Saucedo, M., Cerrudo, C. y Anaya, D., 2021: El uso de código de colores en alertas meteorológicos. Nota Técnica SMN 2021-108.
- de Elía R., 2021: Plan transversal de verificación de pronósticos del SMN. Nota Técnica SMN 2021-84.
- de Elía, R., 2022: The False Alarm/Surprise Trade-off in Weather Warnings Systems: An Expected Utility Theory Perspective, *Environ. Syst. Decis.*, **42**, 450–461, <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09863-1>, 2022
- de Elía, R., Ruiz J.J., Francce V., Lohigorry P., Saucedo, Marcos A., Menalled M., D'Amén D., 2023: Early warning systems and end-user decision-making: A risk formalism tool to aid communication and understanding. *Risk Analysis*; **9-2023**; 1-15

- Davis, E. P., D. Karim, 2008: Comparing early warning systems for banking crises. *Journal of Financial Stability*, 4(2), 89–120. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2007.12.004>
- Doswell, C.A., 2004: Weather Forecasting by Humans – Heuristics and Decision Making, *Wea. Forecasting*, 19, 1115-1126.
- Eiser, J.R., Bostrom A., Burton I., Johnston D.M., McClure J., Paton D., van der Pligt J., White M.P., 2012: Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 1: 5–16.
- Festag, S., 2016: False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany—A meta-analysis. *Fire Safety Journal*, 79, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.11.010>
- Gonzales, D. y otros, 2016: Geo-Targeting Performance of Wireless Emergency Alerts in Imminent Threat Scenarios – Volume 1: Tornado Warnings. Washington, DC: Department of Homeland Security.
- Hammond, K.R., 1996: Human Judgment and Social Policy: Irreducible Uncertainty, Inevitable Error, Unavoidable Injustice. New York: Oxford University Press.
- Hashim, H., Clifford, E., Ryan, P. C., 2022: False alarm moderation for performance monitoring in industrial water distribution systems. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101592. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101592>
- Hauri A., K. Kohler, B. Scharte, 2022: A Comparative Assessment of Mobile Device-Based Multi-Hazard Warnings: Saving Lives through Public Alerts in Europe. Zürich, March 2022 Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich.
- Herman, G. R., E. R. Nielsen, and R. S. Schumacher, 2018: Probabilistic Verification of Storm Prediction Center Convective Outlooks. *Wea. Forecasting*, 33, 161–184, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-17-0104.1>.
- Herrera, N., M.M. Skansi, M.A. Berón, C. Campetella, A. Cejas, J. Chasco, F. Chesini, E. de Titto, M. Gatto, M. Saucedo y M. Suaya, 2018: Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor y Salud (SAT-OCS). Nota Técnica SMN 2018-50.
- Herrera N. y otros, 2022: Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío). Nota Técnica SMN 2022-125.
- Herrera, N., 2022: Verificación del Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Calor (SAT-TE Calor). Nota Técnica SMN 2022-129.
- Hyvärinen, O., E. Saltikoff, 2010: Social Media as a Source of Meteorological Observations. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3175–3184, <https://doi.org/10.1175/2010MWR3270.1>.
- Irurzun P., San Martino F, Perez S., Patanella M., Emperador A., Lohigorry P., 2022: Verificación de Avisos a corto Plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. CONGRMET 2022. Buenos Aires, Argentina. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2403>
- Ishikame, G., P. Lohigorry, y L. Pappalardo, 2022: Caracterización a los avisos a muy corto plazo en el período 2014 - 2020. Nota Técnica SMN 2022-134.

- Knedlik, T., 2014: The impact of preferences on early warning systems - The case of the European Commission's Scoreboard. *European Journal of Political Economy*, 34, 157-166.
- Kuligowski, E. D., F. T. Lombardo, L. Phan, M. L. Levitan, and D. P. Jorgensen, 2014: Final report, National Institute of Standards and Technology (NIST) technical investigation of the May 22, 2011, tornado in Joplin, Missouri. National Construction Safety Team Act Reports (NIST NCSTAR-3), 494 pp., <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/NCSTAR/NIST.NCSTAR.3.pdf>.
- Lenormand, M. y otros, 2014: Cross-checking different sources of mobility information. *PLoS ONE* 9, e105184. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105184>
- Lim, J. R., B. F. Liu, and M. Egnoto, 2019: Cry Wolf Effect? Evaluating the Impact of False Alarms on Public Responses to Tornado Alerts in the Southeastern United States. *Wea. Climate Soc.*, **11**, 549–563
- Lohigorry P., R. de Elia, G. Russian, 2018: Pronostico de muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2018-46. Lohigorry, P., M. Patanella, M. Saucedo, S. Perez, 2024: El pronóstico inmediato de tormentas severas en el mundo y las posibilidades en Argentina. Nota Técnica SMN 2024-175.
- Martinaitis, S. M., y coautores, 2023: A Path Toward Short-Term Probabilistic Flash Flood Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 104, E585–E605, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-22-0026.1>.
- Menalled, M. y J. Chasco, 2022: Relevamiento de los usos y valoraciones del Sistema de Alerta Temprana en el sector de emergencias y gestión del riesgo de desastre entre 2020-2021. Nota Técnica SMN 2022-123.
- Min, J. H., Kim, D.W., Park, C. Y., 2019: Demonstration of the validity of the early warning in online monitoring system for nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*, 349, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.04.028>
- Mowbray, F., Mills F., Symons C., Amlôt R., James Rubin G., 2024: A systematic review of the use of mobile alerting to inform the public about emergencies and the factors that influence the public response. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 32, e12499. 10.1111/1468-5973.12499
- OASIS, 2010: Common Alerting Protocol. Version. 1.2. Organization for the Advancement of Structured Information Standards, Woburn, Massachusetts, EE.UU.
- Paté-Cornell, M.E., Neu J.E., 1985: Warning systems and defense policy: a reliability model for the command and control of U.S. nuclear forces. *Risk Analysis*, 5, pp. 121-138.
- Roebber, P. J., 2009: Visualizing Multiple Measures of Forecast Quality. *Wea. Forecasting*, **24**, 601–608.
- Rothfusz, L. P., R. Schneider, D. Novak, K. Klockow-McClain, A. E. Gerard, C. Karstens, G. J. Stumpf, and T. M. Smith, 2018: FACETS: A Proposed Next-Generation Paradigm for High-Impact Weather Forecasting. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99, 2025–2043, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0100.1>.
- Salio, P., and Coauthors, 2024: Towards a South American High Impact Weather Reports Database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 105, E1204–E1217, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0063.1>
- San Martino F., S. Pérez, G. Russián, 2019: Verificaciones de pronósticos a muy corto plazo en el SMN. Nota Técnica SMN 2019-64.

Saucedo, M., Campetella C., Cejas A., Cerrudo C., Amorin I., Stella J.L., 2021: Definición de umbrales meteorológicos para el nuevo sistema de alertas del SMN. Nota Técnica SMN 2021-109.

Saucedo, M., 2022: Implementación del sistema PIMET: un cambio de paradigma en el SMN. Nota Técnica SMN 2022-124.

Saucedo, M., Bertinetti, A., D'Amen, D., Menalled, M., Lohigorry, P., De Diego M., Fernandez, C., 2023: Relevamiento de los usos y valoraciones del Sistema de Alerta Temprana a través la página web del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2023-138.

Selva, J., y otros, 2021: Probabilistic tsunami forecasting for early warning. Nature Communications, 12(1),1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25815-w>

Sharpe, M. A., 2016: A flexible approach to the objective verification of warnings. Meteor. Appl., 23, 65–75, <https://doi.org/10.1002/met.1530>

Sills D.M.L., L. Elliott, 2024: Assessment of Tornado Alerting Performance for Canada, Atmosphere-Ocean, 62:2, 135-144, DOI: 10.1080/07055900.2023.2257163

Stoll Villarreal, L., D. D'Amen, P. Salio, 2023: Percepción de los usuarios de Defensas Civiles acerca de los productos del Sistema de Alerta Temprana (SAT) e información probabilística. Nota Técnica SMN 2023-140.

Menalled, M. y D. D'Amen, 2023: Relevamiento de los usos y valoraciones del Sistema de Alerta Temprana en el sector de emergencias y gestión del riesgo de desastre entre 2021 y 2022. Nota Técnica SMN 2023-144.

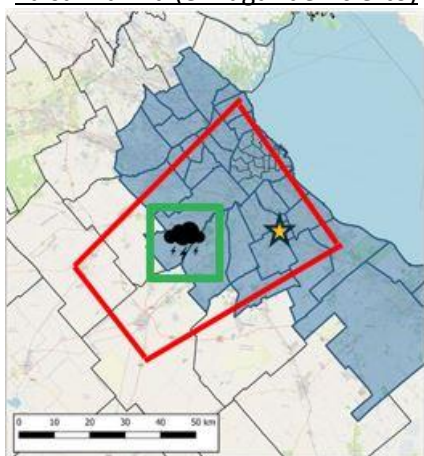
Trainor, J. E., D. Nagele, B. Philips, and B. Scott, 2015: Tornadoes, Social Science, and the False Alarm Effect. Wea. Climate Soc., 7, 333–352, <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00052.1>.

Wald, D. J., 2020: Practical limitations of earthquake early warning. Earthquake Spectra, 36(3), 1412–1447.

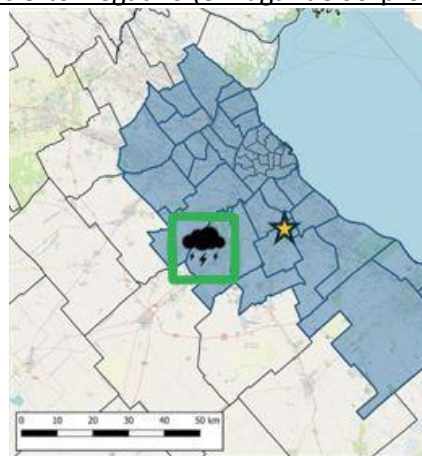
APÉNDICE I: IMPACTO DE UNA RED DE OBSERVACIONES DE BAJA DENSIDAD EN LA VERIFICACION DE ACPs

En la Sección 2 se asume que el evento meteorológico, cuando ocurre, es detectado y los que tienen a su cargo la verificación acceden a esas observaciones. Este no es siempre el caso, particularmente en zonas rurales. La baja densidad de una red de observación tiene como efecto en la etapa de verificación disminuir la cantidad de eventos observados (comparado con los que realmente ocurrieron). En el caso de aquellos que ocurren dentro de un polígono de ACP, lo que hubiera sido un Acierto, se transforma en Falsa Alarma. Es decir, se convierte en erróneo un ACP que si se hubiera contado con una red adecuada de información sería acertado. Por otro lado, en el caso de aquellos que ocurren en un área no comprendida por un polígono de ACP, lo que hubiera sido un Sorpresa, se transforma en Acierto Negativo (ver Fig. AII.1).

Falsa Alarma (en lugar de Acierto)



Acuerdo Negativo (en lugar de Sorpresa)



		Observaciones		
		Evento	No Evento	
Avisos	ACPs	Aciertos	Falsas Alarmas	<u>Totales ACPs</u>
	No ACPs	Sorpresas		
		<u>Totales Observados</u>		

Figura AI.1: Impacto de una pobre red de observación en la evaluación de un sistema de alerta. En la fila superior, el símbolo de la nube negra denota un evento ocurrido, mientras que el recuadro verde indica que no fue detectado por una red de observación. La imagen de abajo muestra como la Tabla de contingencia es afectada cuando se cuenta con una red que no es capaz de captar todos los eventos.

Es importante preguntarse cuál es el impacto de este efecto en los resultados de verificación obtenidos, ya que es de destacar que el efecto neto de aumentar Falsas Alarmas y disminuir Sorpresas coincide con el balance de repartición de errores deseado por muchas instituciones (ver Sección 3).

APÉNDICE II: Etapas vinculadas a la emisión de un ACP

El proceso de emisión de un ACP implica la realización de un número de etapas que deben tener lugar en el mínimo tiempo posible. Algunas de ellas están estrictamente limitadas por la naturaleza del radar (insumo principal), otras por las soluciones tecnológicas en uso, otras por el tipo y cantidad de eventos meteorológicos simultáneos que ocupan la atención de los pronosticadores.

Tabla AII.1: Etapas y línea de tiempo de la emisión de un ACP. Los números entre corchetes representan variaciones en los tiempos dependiendo de la situación encontrada.

Hora	Descripción evento	comentarios
X (por ejemplo 14:30 HOA)	Inicio barrido del radar con la estampa de tiempo X	El radar inicia su barrido circular desde el nivel más bajo y lo termina en el nivel más alto.
X+ [1-5] min	El radar <u>captura</u> una señal distintiva que será de interés para los pronosticadores	Típicos señales son: valores muy intensos de reflectividad (indicando granizo o un conjunto de gotas grandes de lluvia), velocidades Doppler altas (indicando ráfagas intensas), o patrones particulares en los campos observados relacionados con desarrollos severos.
X+6 min	Termina barrido estampado a hora X, comienza barrido estampado X+6 min	El barrido típico de los radares a nivel internacional es de entre 4 y 10 minutos.
X+ [7-14] min	Barrido X se <u>disponibiliza</u> en SkyAr, luego de ser procesado y transmitido desde el radar a la central Dorrego	El proceso consiste del envío de datos desde los sitios de los radares hacia los servidores pertenecientes a INVAP, desde los cuales se transmiten a los servidores operativos Fénix 1 y Fénix 2, donde se procesan y se generan las imágenes. Finalmente, los productos finales son subidos al servidor repo2, desde donde los toma el panel Skyar. Si bien todos los radares utilizan la misma estrategia de escaneo, la velocidad con la cual los datos se transmiten desde los distintos sitios genera diferencias en el tiempo en el cual las imágenes se disponibilizan en el Skyar.
X+ [15-19] min	El pronosticador observa la imagen y detecta alguna señal distintiva.	La premura de la detección por parte del pronosticador depende de otras prioridades concurrentes en esos minutos
X+ [20-23] min	El pronosticador <u>analiza</u> en detalle la información existente en el barrido X, apoyándose en información proveniente de otros instrumentos (satélite, red descargas eléctricas, obs. de superficie, redes sociales). Decide si enviará o no un ACP.	El pronosticador debe juzgar si el desarrollo que está observando tendrá una severidad suficiente para necesitar un aviso a la población (ver discusión en sección 3 y 4), y cuál sería el área implicada.
X+ [21-24] min	<u>Emisión ACP</u>	La emisión consta de los siguientes pasos: El pronosticador determina el área que será afectada por la tormenta que considera fuerte o severa y dibuja el polígono sobre el mapa en GEMPAK. Una vez realizado este paso, se

		ejecuta el script para seleccionar el tipo de fenómeno esperado en dicha área. Finalmente se emite el ACP mediante un formulario que permite determinar el período de validez (1, 2 o 3 horas) y se adosan las últimas imágenes disponibles de radar y satélite a partir de las cuales se emitió el ACP.
X+ [23-26] min	Disponibilidad en web de ACP, recepción de email por autoridades interesadas	Una vez que el pronosticador presiona el botón "Enviar" en el formulario web, el ACP demora entre 1 y 2 minutos en verse reflejado en la web y enviarse a las casillas de correo electrónico de los tomadores de decisión y demás autoridades provinciales o municipales.

APÉNDICE III: Las alertas por Cell Broadcast

La difusión de alertas a través de Cell Broadcast tiene características similares a las discutidas en la sección 2, pero introduce algunas variantes. En lo que sigue se presenta la metodología y su relación con lo discutido anteriormente. Para más detalles se puede leer Gonzales y otros (2016).

Las redes de telefonía celular utilizadas para difundir de manera localizada las alertas, están constituidas por una red de antenas distribuidas en el territorio a cubrir. Estas antenas le dan conectividad "de datos" a los celulares que se encuentren dentro de su área de cobertura, y cuando estos están en movimiento, pueden seguir su conexión ininterrumpidamente al ser reemplazada la antena anterior por una nueva más próxima.

La Fig. AI.1 ilustra una antena típica de telefonía celular (izquierda), mientras que en la derecha se ve un diagrama con la disposición espacial de las antenas (cruces) amarillas y las celdas que cubren cada una. Este tipo de estructura, donde la exigencia es que cada celda delimite el área más próxima a la localización de la antena, se llama "diagrama de Voronoi" o "polígonos de Thiessen". En la figura, los teléfonos celulares en verde son servidos por la antena central de la celda (que por definición es la antena más próxima).

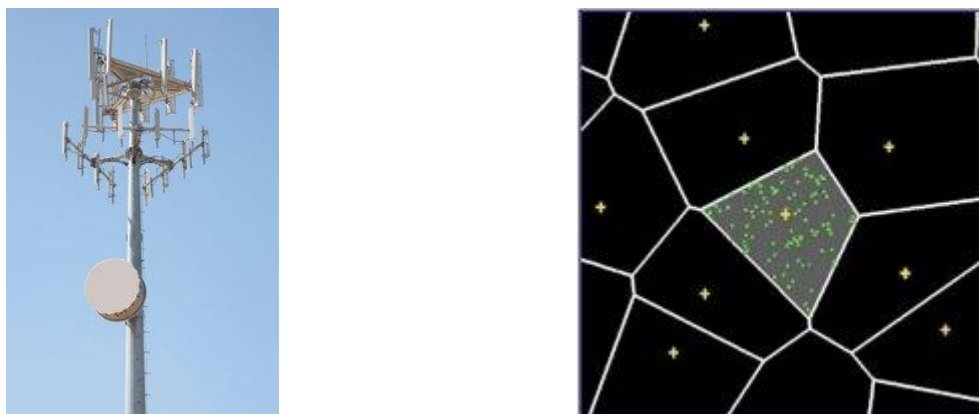


Figura AI.1: Típica antena de telefonía celular (izquierda). Diagrama con la disposición espacial de las antenas (cruces) amarillas y las celdas que cubren cada una (derecha). Este tipo de estructura donde la exigencia es que cada celda delimite el área más próxima a la localización de la antena se llama "diagrama de Voronoi" o "polígonos de Thiessen". Los teléfonos celulares (indicados con puntos verdes) son servidos por la antena en el centro de la celda. Imágenes sacadas de Baccelli y Błaszczyszyn (2006).

Cada antena tiene una capacidad finita de contener señales de celulares activos por lo cual tiende a haber más densidad de antenas en las zonas más pobladas (ver diagrama Voronoi de red de telefonía celular en Barcelona en Fig. AI. 2). Es precisamente por esta alta densidad de celdas independientes comunicadas con un teléfono que se transformó en un exitoso método para la distribución de alertas. La Fig. AI.2 (der.) describe en un diagrama conceptual el funcionamiento: los hexágonos corresponden al diagrama de Voronoi para la estructura de antenas planteadas, las cuales se encuentran localizadas en el centro de los hexágonos. La curva negra con interior rayado indica el área que las autoridades asumen en estado de peligro, y la superficie naranja el área oficialmente decretada en alerta. Esta última correspondería con los polígonos definidos en los ACPs emitidos por el SMN. Esta área queda comprendida en cinco celdas (polígono naranja) que son las informadas a través de la red telefónica de la situación de emergencia.

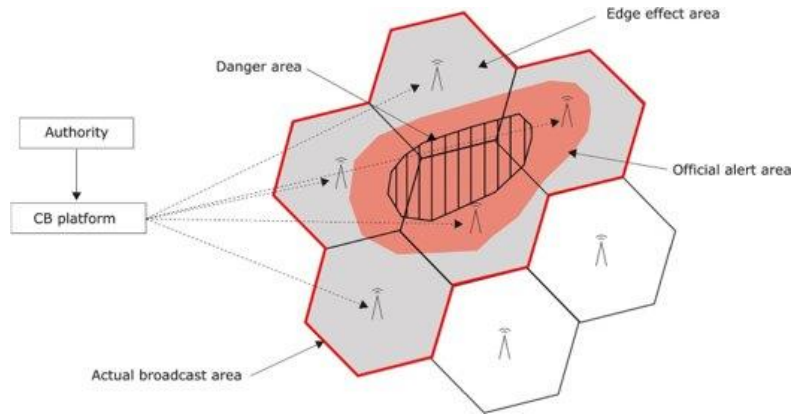
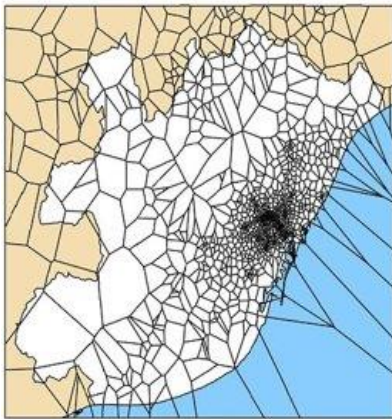


Figura AIII.2: A la izquierda se muestra el diagrama de Voronoi de telefonía celular sobre la ciudad de Barcelona (Lenormand y otros, 2014). A la derecha se describe en un diagrama conceptual el funcionamiento del Cell Broadcast: los hexágonos corresponden al diagrama de Voronoi para la estructura de antenas planteada, estas localizadas en el centro de los hexágonos. La curva negra con interior rayado indica el área que las autoridades asumen en estado de peligro, y la superficie naranja el área oficialmente decretada en alerta. Esta área queda comprendida en cinco celdas de Voronoi que son las eventualmente informadas de la situación (polígono en naranja). Imagen tomada de Bopp y otros (2024).

Existen diferentes tecnologías que pueden enviar este tipo de mensajes (ver, por ejemplo, Hauri y otros 2022), pero generalmente se trata de una comunicación vía *Short Message Service-Cell Broadcast* (SMS-CB). Este servicio tiene semejanzas con el mensaje de texto habitual, pero en lugar de ser *one-to-one* es *one-to-many*. El servicio *one-to-one* podría saturar las líneas de comunicación si se intentara llegar a todos los clientes simultáneamente. La Fig AI.3 ilustra mensajes de emergencia recibidos vía cell broadcast.

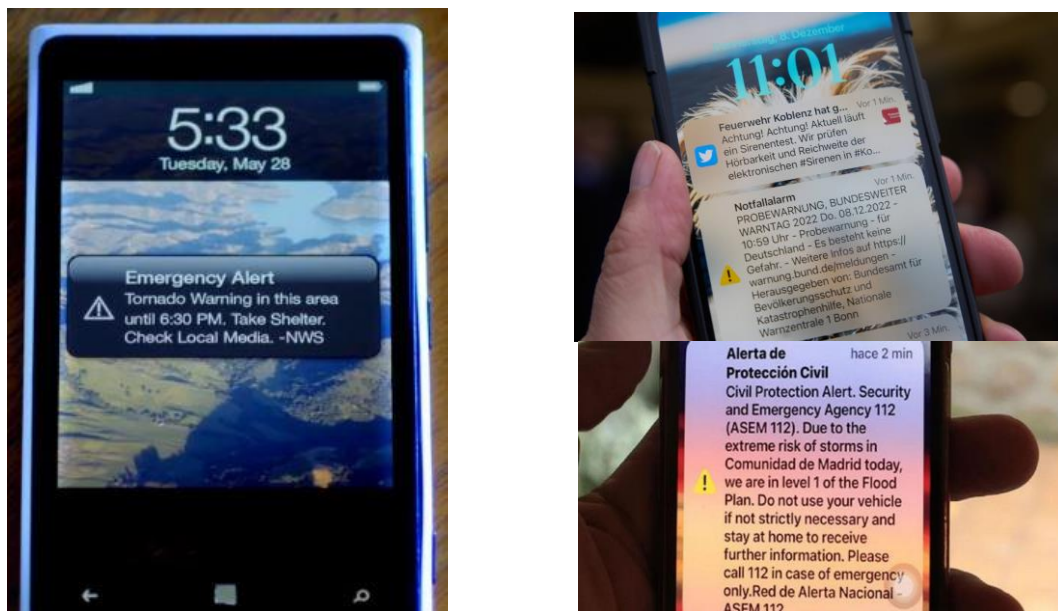


Figura AI.3: Ejemplos de teléfonos celulares con mensajes transmitidos por cell broadcast.

Por las características descriptas este tipo de mensaje de alerta tiene semejanzas con los ACPs y son por lo tanto susceptibles a los mismos tipos de desafíos en lo que respecta a su performance y a los problemas asociados a la "dualidad del error". Además, debido al inevitable incremento del área alertada con respecto a la deseada por los emisores, estos sistemas aumentan la posibilidad de falsas alarmas.

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 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).