

# El pronóstico inmediato de tormentas severas en el mundo y las posibilidades en Argentina

Nota Técnica SMN 2024-175

**Pedro Lohigorry<sup>3</sup>, Melissa Patanella<sup>1</sup>, Marcos Saucedo<sup>2</sup>,  
Sebastián Pérez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Coordinación de Pronósticos Inmediatos, SMN*

<sup>2</sup> *Dirección de Pronósticos del Tiempo y Avisos, SMN*

<sup>3</sup> *Coordinación de Pronósticos Inmediatos, SMN hasta Abril 2024*

Julio 2024

### *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 pronóstico inmediato (nowcasting en inglés) es un componente esencial de los sistemas de alerta temprana a nivel mundial. En las últimas décadas el nowcasting ha mejorado significativamente a través de avances tecnológicos y del conocimiento científico de los fenómenos a pronosticar. Actualmente los desastres en escalas pequeñas de tiempo y espacio como el granizo o las inundaciones repentinas pueden ser detectados y pronosticados con cierto tiempo de anticipación. En el caso de Argentina, el Sistema de Alerta Temprana (SAT) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) incluye como producto de pronóstico inmediato para tormentas y los fenómenos relacionados a los Avisos meteorológicos a muy Corto Plazo (ACP). La mejora de los ACP y/o la creación de nuevos productos y servicios orientados a facilitar la toma de decisión de los distintos usuarios se encuentra enmarcado dentro los planes estratégicos del SMN. La presente nota técnica analiza la situación actual del pronóstico inmediato realizado en el SMN de Argentina y otros SMNs del mundo. Luego se discuten posibles estrategias para avanzar con su desarrollo en los próximos años.

## Abstract

Nowcasting is an essential component of early warning systems worldwide. In recent decades nowcasting has improved significantly through technological advances and scientific knowledge of the phenomena to be forecasted. At present, disasters on small scales of time and space, such as hail or flash floods, can be detected and predicted some time in advance. In the case of Argentina, the Early Warning System (EWS) of the National Meteorological Service (SMN) includes as a nowcasting product for thunderstorm and related phenomena the Very Short Term Meteorological Warnings (ACP, for the name in spanish). The improvement of the ACP and/or the creation of new products and services aimed at facilitating the decision making process of the different users is framed within the strategic plans of the NWS. This technical note analyzes the current situation of immediate forecasting performed at the Argentine NMS and other NMSs around the world. It then discusses possible strategies to advance its development in the coming years.

**Palabras clave:** ACP, nowcasting, sistema de alerta temprana, radar

## Citar como:

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.

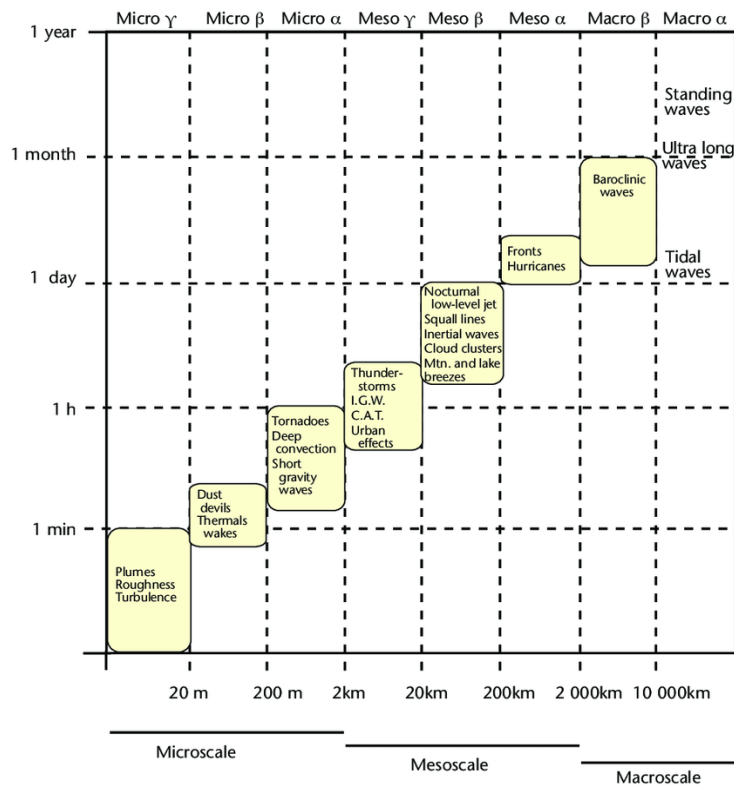
## 1. Introducción

A la hora de realizar un pronóstico se debe tener en cuenta la escala espacio-temporal de los fenómenos que quieren ser predichos (ver Figura 1). La escala temporal del pronóstico inmediato abarca de 0 a 6 horas a futuro según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017), aunque cuando se trata de pronóstico inmediato de tormentas y sus fenómenos asociados este rango se puede restringir un poco más (por ejemplo, de 0 a 3 horas<sup>1</sup>). Además, el análisis de la situación meteorológica actual de cada lugar también se encuentra dentro de las tareas consideradas para el pronóstico inmediato. Este diagnóstico de la situación presente se genera en base a la última información disponible, utilizando datos que tienen como máximo 30 minutos de antigüedad. Luego, el objetivo del pronóstico inmediato de tiempo severo es predecir el tiempo, el lugar y la intensidad de los fenómenos asociados a las tormentas fuertes o severas, como las lluvias fuertes, el granizo y las ráfagas de viento. Cabe aclarar que existen pronósticos inmediatos de otras variables que pueden ser de interés, como la visibilidad y la temperatura, pero este texto se concentra en las tormentas severas y sus fenómenos relacionados. Una descripción más detallada sobre qué es el pronóstico inmediato puede encontrarse en Guidelines for Nowcasting Techniques (OMM, 2017), mientras que la relación entre los pronósticos y las distintas escalas se discute en mayor detalle en la sección 3 del trabajo de de Elía y otros (2021a).

En el caso del SMN de Argentina, el Aviso meteorológico a muy Corto Plazo (ACP) es el producto de nowcasting (pronóstico inmediato en inglés) de tormentas fuertes o severas (ver Lohigorry y otros, 2018) y tienen una duración a criterio del pronosticador de 1, 2 o 3 horas (ver Ishikame y otros, 2022). Como se puede observar en la Figura 1, las tormentas fuertes o severas tienen una escala espacial que abarca un rango de los 2 a los 200 km, aunque la extensión de los sistemas convectivos de mesoescala pueden sobrepasar este límite superior. En cuanto a la escala temporal, el tipo de tormenta determina su duración: una tormenta ordinaria tipo pulso tiene una vida media de 30 minutos, una tormenta ordinaria severa tipo pulso puede durar 60 minutos, las superceldas pueden persistir de 1 a 4 horas y los sistemas convectivos de mesoescala pueden durar entre 4 y 8 horas (SMN, 2020). Sin embargo, los fenómenos severos asociados, como las lluvias intensas, el granizo y las ráfagas, tienen una extensión territorial más localizada en tiempo y espacio. Por ejemplo, dentro de una línea de inestabilidad es posible encontrar ecos en forma de arco embebidos, en donde ocurren máximos de viento. La imposibilidad de determinar la ubicación específica de estos fenómenos se debe a las limitaciones científicas (el nivel de avance de la ciencia en la materia) y a las limitaciones tecnológicas (redes de observación, instrumentos de medición, sistemas de comunicación, sistemas de procesamiento de datos, etc). Por ejemplo, la rotación de un tornado detectada en el radar y el centro de los daños que provoca en el suelo pueden tener una diferencia de hasta 4 km (Kuster y otros, 2017). Además, la alta incertidumbre sobre la evolución de estos fenómenos fuerza a que los SMNs emitan avisos utilizando el paradigma “warn-on-detection”: se detecta las tormentas utilizando los sensores remotos y otras fuentes --siendo el radar el más útil e importante (ver tablas 2.1 y 2.2 de OMM, 2017)- y luego se emite un aviso indicando los fenómenos que pueden ocurrir en un área determinada (Stensrud y otros, 2009). Estos avisos se van actualizando a medida que los fenómenos van evolucionando y cambiando rápidamente debido al desplazamiento y fortalecimiento de la tormenta.

---

<sup>1</sup> Como puede verse en <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Nowcast>, el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos define al nowcasting en el rango entre 0 y 3 horas.



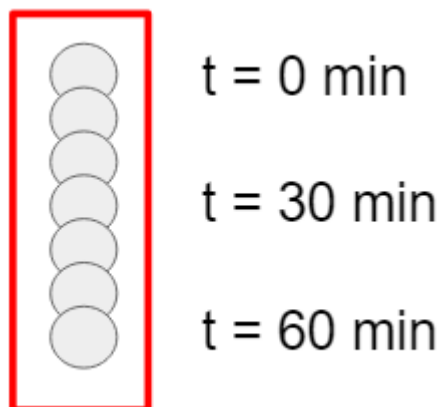
**Fig. 1:** Definición de escalas para diferentes procesos atmosféricos. Notar la estrecha relación entre las escalas espaciales y temporales (tomado de OMM, 2012, capítulo 7. Este es una adaptación del diagrama creado por Isidoro Orlanski).

En particular, cada ACP que se emite en el SMN de Argentina se compone de un polígono que cubre el área afectada o que probablemente sea afectada por los fenómenos producidos por tormentas fuertes o severas (Lohigorry y otros, 2018). Asumiendo un modelo simple de una tormenta de 10 km de radio que se desplaza a una velocidad constante de 40 km/h hacia el sur, entonces la región potencialmente peligrosa puede ser cubierta por un polígono que se extiende hasta 5 km del borde de la tormenta como se ilustra en la Figura 2. Este polígono idealizado tiene 4 vértices y un área de 1200 km<sup>2</sup>.<sup>2</sup> El valor de este área es una aproximación al tamaño ideal que deberían tener los productos como los ACPs dentro del paradigma del nowcasting vigente a nivel mundial. Junto con la escala temporal de 1 hora que se ve en la Figura 1, queda definido el problema científico-tecnológico a resolver, para el cual se debe hallar una solución que pueda ser trasladada a las operaciones rutinarias de los SMNs (las 24 horas del día durante los 365 días del año).

En resumen, el problema central del pronóstico inmediato de tiempo severo es determinar la zona de estas amenazas en tiempo real, anticipar su ubicación espacio-temporal con la mayor precisión posible en los próximos minutos y horas y comunicarlo de forma tal que los distintos sectores de la sociedad (defensas civiles, población en general, educación, industrias, comercio, etc) puedan tomar medidas preventivas que reduzcan los impactos asociados (OMM, 2017). En las siguientes secciones se

<sup>2</sup> En la sección 3 del presente texto se analizarán las características de los productos de pronóstico inmediato de otros SMNs del mundo, entre ellos el área promedio. Para un análisis más completo sobre el área de los ACP y otras características en el período 2014-2021 ver Ishikame y otros (2022).

profundizará sobre el aspecto de las operaciones de los SMNs del mundo en relación al SMN de Argentina para luego analizar posibles estrategias para la mejora y el desarrollo del servicio brindado.



**Fig. 2:** Ejemplo idealizado de una tormenta severa (círculos grises) que se mueve hacia el sur a una velocidad de 40 km/h. Cada círculo gris representa la ubicación de la tormenta cada 10 minutos. El rectángulo rojo muestra un polígono de ACP idealizado. Si la tormenta tiene 10 km de diámetro y se considera unos 5 km como zona peligrosa a cada lado del borde exterior de la tormenta, resulta en el polígono idealizado en color rojo. Este rectángulo tiene 20 km de base por 60 km de alto, lo que resulta en un área de 1.200 km<sup>2</sup>.

## 2. Estructura de las oficinas de pronóstico de otros SMNs que emiten productos similares a los ACPs

De acuerdo a una encuesta sobre pronósticos inmediatos realizada por la OMM a los SMNs de los países miembros (OMM, 2016), un 90% de las 85 respuestas recibidas indican que se proveen pronósticos en el rango de 0 a 6 horas. Cabe aclarar que esta pregunta tiene un sentido amplio y que, a diferencia de este texto, no se focaliza de forma exclusiva en el *nowcasting* de tormentas y del tiempo severo que producen.

Entre los desafíos que se encuentran a la hora de realizar el *nowcasting*, en la encuesta se destacaron 3 respuestas por sobre el resto: disponibilidad de pronosticadores para la operación (71%), disponibilidad de presupuesto para mantener el sistema (63%) y disponibilidad de personal técnico para realizar el mantenimiento (60%). En pos de poner en contexto a estas respuestas con números, en la Tabla I se muestra un extracto de la tabla compartida en el Boletín Interno N° 28 del Centro Argentino de Meteorólogos en julio del 2020<sup>3</sup> y confeccionada por Daniel Anaya y Pedro Lohigorry a partir de la base de datos de la Organización Meteorológica Mundial.<sup>4</sup> En la Tabla I se observa que el presupuesto de los SMNs normalizado por la superficie de cada uno de los países centrales como Estados Unidos, Francia y el Reino Unido es entre uno y dos órdenes de magnitud mayor que en los países de Latinoamérica. En cuanto al personal científico-técnico normalizado por la superficie de cada país, esta diferencia es aproximadamente de un orden de magnitud. Si asumimos que el presupuesto y el personal científico-técnico no varían significativamente año a año, la diferencia del desarrollo en ciencia, tecnología y provisión de servicios se acumula a medida que pasan los años, resultando en desigualdades científicas y tecnológicas también acumulativas.

<sup>3</sup> Cabe aclarar que los datos fueron extraídos de la base de datos de la OMM en noviembre de 2019. Se elige no actualizar los datos tomados en aquel momento para mostrar la situación previa a la pandemia del COVID-19 y otros eventos mundiales relevantes.

<sup>4</sup> <https://cpdb.wmo.int/>

**Tabla I:** Datos extraídos de la base de datos de la OMM junto con algunos índices calculados para facilitar la comparación entre los países aquí mostrados.

País	Superficie (millones de km <sup>2</sup> )	Presupuesto (en millones de USD al tipo de cambio vigente en noviembre 2019)	Personal científico-técnico por millón de km <sup>2</sup> (*)	Presupuesto (en USD por km <sup>2</sup> )
Argentina	(**) 2,780	12	75,5	4,3
Brasil	8,510	16	11,9	1,9
Chile	0,757	(***) 4	138,7	(***) 5,6
Uruguay	0,176	8	130,7	43,5
Paraguay	0,407	3	39,3	6,9
México	1,970	7	14,2	3,5
Colombia	1,140	22	26,3	18,9
Australia	7,690	193	58,0	25,1
España	0,506	142	828,1	281,1
Francia	0,643	407	1208,4	632,9
Sudáfrica	1,220	26	82,8	21,6
EEUU	9,830	(****) 1124	264,7	(****) 114,3
Canadá	9,980	167	80,6	16,7
China	9,600	3655	3860,3	380,8
Rusia	17,100	251	322,6	14,7
Reino Unido	0,245	283	3465,3	1154,7
Finlandia	0,338	76	1284,0	226,0

(\*) El personal científico-profesional presentado aquí está formado por los informados en las categorías de meteorólogos, hidrólogos, climatólogos e investigadores. En general, los hidrólogos representan menos del 10% del total de este grupo.

(\*\*) No se computa el territorio antártico reclamado por la Argentina.

(\*\*\*) Se aclara que el presupuesto informado en la base de datos de la OMM no incluye el pago de sueldos. No se pudo encontrar el presupuesto total.

(\*\*\*\*) No se informa el presupuesto en la base de datos de la OMM. El valor que se muestra es el que informa la institución.

De manera tal de complementar y profundizar la información provista por la encuesta de la OMM y el relevamiento realizado en la Tabla I, se relevó información disponible en internet sobre los SMNs del mundo que poseen un sistema de pronósticos inmediatos de tormentas severas. En particular se analizó la estructura de las oficinas de pronóstico al público de los países identificados que emiten

productos similares a los ACP utilizando datos de radar meteorológico. Se aclara que este relevamiento de países es incompleto y parcial, ya que fue realizado consultando la información publicada en los sitios web de los SMNs. Sin embargo, la estructura de las oficinas de los países listados pudo ser corroborada consultando a representantes de los países seleccionados en diversas conferencias, talleres, reuniones, etc. El objetivo de este relevamiento es analizar si los SMNs poseen solamente una oficina de pronóstico para el público general para todo el territorio nacional como es el caso del SMN de Argentina, o si además de una oficina nacional poseen oficinas provinciales y/o locales que tengan responsabilidad de emitir pronósticos para regiones específicas de los países, es decir, están “regionalizados”<sup>5</sup>. Además, se busca averiguar desde qué tipo de oficina se realiza el pronóstico inmediato de tormentas fuertes o severas: nacional, provincial o local (de existir).

A modo de ejemplo de los hallazgos realizados, en la Figura 3 se presentan los casos de los SMN de Japón y de Francia, con las diferentes oficinas de pronóstico y sus respectivas localizaciones dentro del país, reflejando la regionalización que tienen dichas organizaciones. La información encontrada se resume en la Tabla II, en donde también se incluye la superficie de cada país. Se encontró que, de los SMNs relevados, sólo el SMN de Argentina emite pronósticos inmediatos de tormentas severas para todo el territorio cubierto por radares desde una única oficina de pronóstico nacional. También se pudo corroborar que el pronóstico inmediato es realizado por las oficinas locales. Cabe resaltar que algunos de los SMNs regionalizados pronostican en países cuya superficie es un orden de magnitud inferior a la superficie de Argentina. Y que las oficinas de pronóstico locales que realizan el pronóstico inmediato en Alemania, Estados Unidos, Francia, Cuba y Japón tienen bajo su responsabilidad un área promedio que varía entre 8000 km<sup>2</sup> y 80000 km<sup>2</sup>. Para contrastar, la oficina del SMN de Argentina a cargo de emitir los ACPs, la Coordinación de Pronósticos Inmediatos (CPI), tiene un área de vigilancia aproximada de 1600000 km<sup>2</sup> (este valor surge de estimar el área cubierta por la actual red de 15 radares meteorológicos operativos (ver de Elía y otros, 2017 y Rodríguez y otros, 2017). Es decir, cómo mínimo un área 20 veces mayor. Cabe aclarar que como resultado de la Etapa 3 del proyecto SINARAME<sup>6</sup>, el área a vigilar por la CPI se ampliará como resultado de los nuevos 10 radares que se instalarán<sup>7</sup>.

En el marco de una serie de talleres organizados por la OMM en 2009<sup>8</sup>, algunos de los países listados en la Tabla II realizaron presentaciones en donde se visualizaba que la interacción entre los SMNs y las protecciones civiles sigue el nivel de la administración gubernamental: la oficina nacional de pronóstico del SMN de cada país analizado se comunica con la oficina nacional de la protección civil, mientras que la oficina regional de pronóstico lo hace con la oficina regional de la protección civil, posiblemente ajustando los productos y servicios provistos a las necesidades de cada usuario. Esta idea se refuerza si se exploran las presentaciones realizadas en el mismo taller por las defensas civiles: se observa que las acciones que toma cada nivel de protección civil es distinto. Por ejemplo, una protección civil nacional moviliza ayuda y coordina la asistencia ante grandes eventos de tiempo severo que desbordan las capacidades de una defensa civil regional o local. En cambio, una protección civil local ejecuta la atención inmediata y directa a la población tanto para eventos generalizados como para

---

<sup>5</sup> No debe entenderse aquí “regionalizados” en el sentido de los textos de la OMM, en donde “regional” se refiere al conjunto de países de una región del mundo dada. El término “regionalización” se utiliza en el SMN de Argentina para referirse al plan que busca abrir oficinas de pronóstico para el público general en distintas regiones de Argentina. También ha sido utilizado de esa manera en el Congreso Argentino de Meteorología XIV en el conversatorio “Regionalización del ejercicio de la Meteorología en Argentina: la eterna utopía” (video disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9gQDBNn2UdM>).

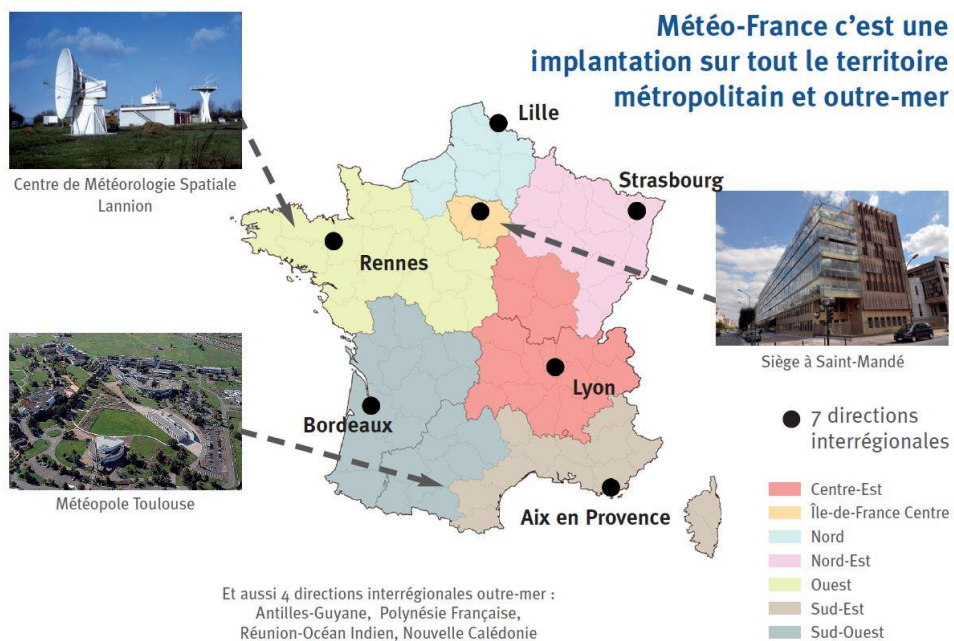
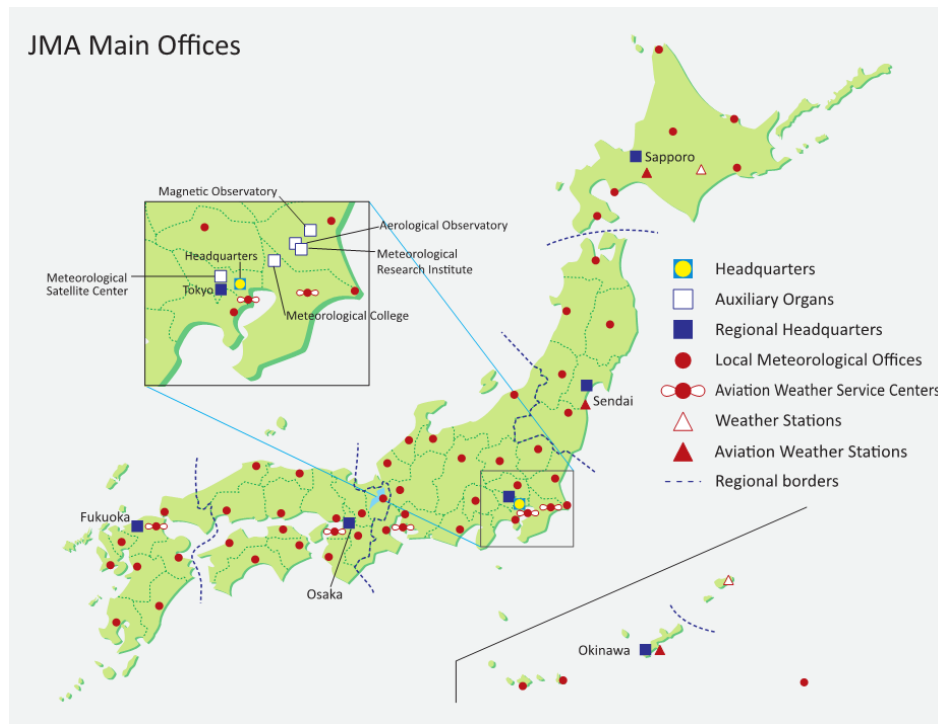
<sup>6</sup> <https://www.smn.gob.ar/noticias/avanza-la-instalaci%C3%B3n-de-nuevos-radares-meteorol%C3%B3gicos-para-vigilar-tormentas-en-el-pa%C3%ADs>

<sup>7</sup> Al momento de publicar esta Nota Técnica ya se encuentra operativo un nuevo radar de la Etapa 3 del SINARAME, el radar ubicado en la ciudad de Las Grutas en la provincia de Río Negro, y el radar de Patquía en la provincia de La Rioja que se encuentra en período de pruebas.

<sup>8</sup> Fuente: <https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/drr/events/Pula/>



eventos localizados de tiempo severo, como por ejemplo ordenar evacuaciones, suspender el dictado de clases en escuelas o cerrar el tránsito en túneles. Por lo tanto, son las protecciones civiles locales las que obtienen un mayor beneficio de los pronósticos inmediatos.



**Fig. 3:** Mapa de Japón (arriba - <https://www.jma.go.jp/jma/en/Background/organization.html>) y de Francia (abajo - <https://meteofrance.fr/etablissement/organisation/lorganisation-de-meteo-france>) con la ubicación de la oficina nacional y de las oficinas regionales y locales/municipales.

**Tabla II:** Estructura de las oficinas que realizan pronóstico civil en los distintos SMNs del mundo.

País	Superficie del país en millones de km <sup>2</sup> (*)	Cantidad de oficinas Nacionales (tiene jurisdicción sobre todo el país y coordina oficinas regionales y locales)	Cantidad de oficinas Provinciales (tienen jurisdicción sobre una o varias provincias)	Cantidad de Oficinas Locales (tienen jurisdicción sobre una o varias ciudades y/o municipios)
Alemania <sup>9</sup>	0,357	1	7	0
Argentina <sup>10</sup>	2,780	1	0	0
Australia <sup>11</sup>	7,692	1	8	0
Cuba <sup>12</sup>	0,111	1	15	0
España <sup>13</sup>	0,506	1	17	0
Estados Unidos <sup>14</sup>	9,834	6	6	122
Francia <sup>15</sup>	0,644	1	7	0
Japón <sup>16</sup>	0,378	1	6	50

(\*) La cobertura nacional con radares suele ser parcial. En el caso del SMN de Argentina, solo se emiten ACP para el área cubierta por los radares meteorológicos, la cual se estima en 1,6 millones de km<sup>2</sup>. Por ejemplo, la cobertura de Australia se puede ver en el siguiente link: [http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/radar\\_coverage\\_national.shtml](http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/radar_coverage_national.shtml)

A modo de ejemplo, en la Figura 4 (arriba) se encuentra el esquema de comunicaciones entre las oficinas nacionales y regionales del SMN de Cuba y de las protecciones civiles del mismo país<sup>17</sup>. Un segundo esquema de comunicación similar se observa en el SMN de Japón de acuerdo a la presentación realizada por representantes de ese organismo a la delegación Argentina que visitó Japón en septiembre del 2023 en el marco del proyecto PREVENIR (ver Figura 4 abajo). La comunicación entre las oficinas de pronóstico y las protecciones civiles y demás usuarios es un elemento importante en toda la bibliografía de la OMM y de SMNs sobre el pronóstico inmediato de tiempo severo (ver sección 4 del presente texto). Para que ocurra esta comunicación fluida es razonable pedir que exista una estructura o cantidad de personal similar entre ambos lados de la comunicación, es decir, en el SMN y en las protecciones civiles. En el caso del SMN de la Argentina, es difícil esperar que exista una interacción de ida y vuelta entre su única oficina de pronóstico al público ubicada en la Ciudad

<sup>9</sup> Fuente: [https://www.dwd.de/EN/aboutus/locations/locations\\_node.html](https://www.dwd.de/EN/aboutus/locations/locations_node.html)

<sup>10</sup> No se considera la superficie Argentina en la Antártida dado que la Meteorología Antártica es llevada adelante por otra área del SMN de Argentina.

<sup>11</sup> Fuente: <http://www.bom.gov.au/inside/offices/index.shtml>

<sup>12</sup> Fuente:

<https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/drr/projects/Thematic/MHEWS/GoodPractices/Cuba/Cuba.pdf>

<sup>13</sup> Fuente: <http://www.aemet.es/es/conocenos/recursos>

<sup>14</sup> Fuente: <https://www.weather.gov/about/nws>

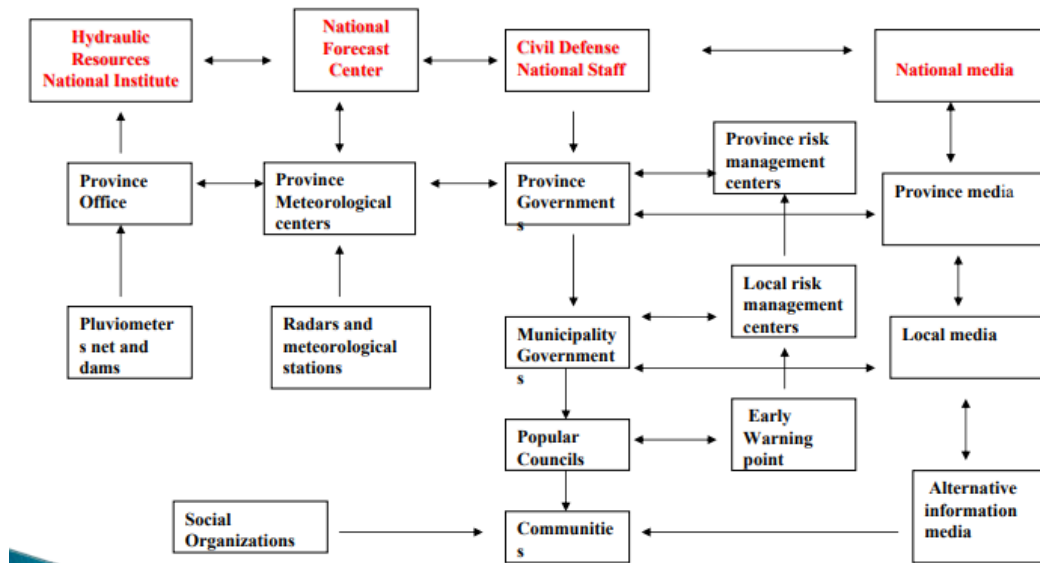
<sup>15</sup> Fuente: <http://www.meteofrance.fr/nous-connaitre/strategie-et-gouvernance/organisation>

<sup>16</sup> Fuente: <https://www.jma.go.jp/jma/en/Background/organization.html>

<sup>17</sup> Fuente: <https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/drr/events/Pula/Presentations/MHEWSCuba.pdf>

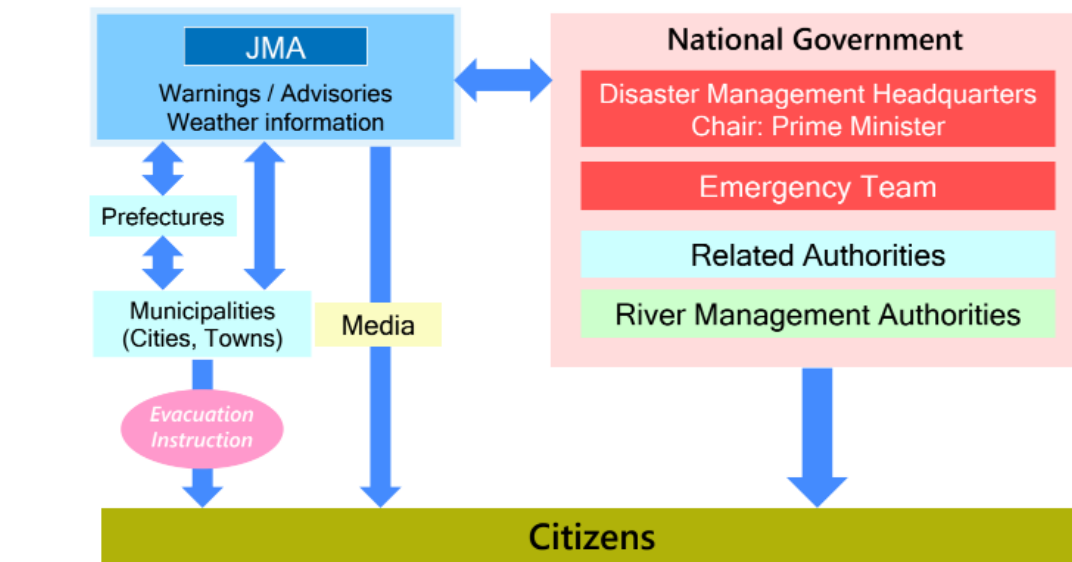
Autónoma de Buenos Aires (CABA) y las protecciones civiles de la nación, de las 23 provincias, de la CABA y de los miles de municipios de todo el país.

### FUNCTIONAL STRUCTURE OF EARLY WARNING SYSTEM FOR TROPICAL CYCLONE IN CUBA



### JMA's responsibility for national disaster management

JMA plays a vital role in national disaster management as a provider of meteorological information necessary for disaster prevention and preparedness.



**Fig. 4:** Esquema de las interacciones del SMN de Cuba (arriba) y de Japón (abajo) entre sus oficinas nacionales y regionales con los distintos niveles de organización de las protecciones civiles. Cabe aclarar que las prefecturas en Japón cumplen el rol de las provincias en Argentina.

Las limitaciones presupuestarias, de profesionales y de estructura nacional son factores importantes a tener en cuenta a la hora de analizar las operaciones actuales y el desarrollo futuro de los ACPs del SMN, tema que se retomará en las siguientes secciones.

### 3. Características de productos de pronósticos inmediatos en el mundo

En esta sección se propone analizar las características de los productos de pronóstico inmediato emitidos por otros SMNs del mundo de manera tal de identificar si el desarrollo actual del ACP es similar y evaluar posibles mejoras que se puedan adaptar. Es razonable suponer que si los SMNs de otros países del mundo emiten productos similares a los ACP, entonces la información sobre dichos productos debe estar fácilmente accesible en su página web. Partiendo de esta premisa, a partir de relevar los sitios web de otros servicios meteorológicos se construye la Tabla III, en donde se listan los productos similares a los ACP que se pudieron identificar. Se hace foco en el tipo e intensidad de los fenómenos pronosticados en el producto, su plazo de validez y la descripción del área afectada. Asimismo, dado que los ACPs se elaboran primordialmente con la información provista por los radares meteorológicos se realiza un análisis sobre aquellos países que disponen de esta herramienta. En este sentido, se resalta que Argentina se encuentra dentro de los 20 países con mayor cantidad de radares meteorológicos operativos según la base de datos de la OMM (OMM Radar Database, s.f.).

En la Tabla III se puede apreciar que la duración de los productos suele abarcar de 1 a 3 horas, lo que es esperable en un producto de nowcasting. En cambio, los productos que tienen una validez mayor a las 6 horas se asemejan más a las alertas que emite el SMN de Argentina (Saucedo, 2022) y no entran dentro del rango del pronóstico inmediato, por lo que no serán analizados en este texto.

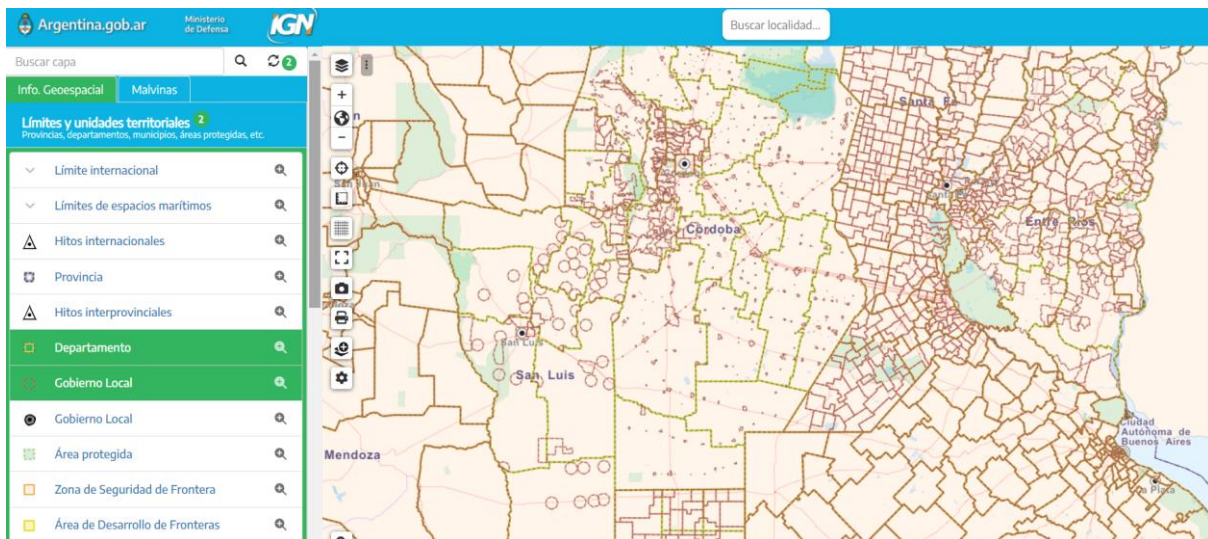
**Tabla III:** Características de los productos similares a los ACPs.

<b>País</b>	<b>Nombre del producto (traducido al español)</b>	<b>Validez del producto</b>	<b>Forma (polígono o división política)</b>	<b>Fenómenos alertados por el producto</b>
Argentina (Lohigorry y otros, 2018; Ishikame y otros, 2022)	Aviso meteorológico a muy Corto Plazo (ACP)	1 a 3 horas	Polígono	Ráfagas, lluvias intensas, granizo
Alemania (Deutscher Wetterdienst, s.f.)	Aviso de tiempo severo	1 hora	Polígono	Ráfagas, lluvias intensas, granizo
Australia (Bureau of Meteorology, s.f.)	Aviso detallado de tormentas severas	1 hora	Polígono	Ráfagas, lluvias intensas, granizo
	Aviso de tornado			Tornados
Canadá (Government of Canada, s.f.)	Aviso de tormenta severa	Variable (hasta 6 horas)	División política	Ráfagas, granizo, lluvias intensas
	Aviso de lluvia de corta duración			Lluvias intensas
	Aviso de tornado			Tornado

Estados Unidos (Iowa State University, s.f.; National Weather Service, s.f. A, B, C, D y E, Stumpf y Gerard, 2021)	Aviso de tormenta severa	30 a 60 minutos	Polígono	Ráfagas, granizo
	Aviso de inundación repentina	2 a 6 horas		Lluvias intensas
	Aviso de tornado	15 a 45 minutos		Tornado
Indonesia (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, s.f.)	Aviso temprano de tiempo	Variable (hasta 6 horas)	División política	Lluvias moderadas o intensas, Actividad eléctrica, vientos
Japón (Japan Meteorological Agency, s.f.; World Bank Global Facility for Disaster Reduction & Recovery, 2016)	Aviso de lluvia intensa	Varias horas	División política	Lluvias intensas
	Aviso de tormenta			Ráfagas, granizo, lluvias intensas, tornados
Malasia (Jabatan Meteorologi Malaysia, s.f.; New Straits Times, 2017)	Aviso de tormenta	Hasta 3 horas	División política	Ráfagas, lluvias intensas, granizo, tornados
México (Servicio Meteorológico Nacional de México, s.f.)	Aviso de potencial de tormenta	3 horas	División política	Lluvias, nieblas, vientos, actividad eléctrica
Nueva Zelanda (MetService, s.f.; MetService New Zealand Facebook, 2018 y 2019)	Aviso de tormenta severa	1 hora	Polígono	Ráfagas, lluvias intensas, granizo, tornados
Rusia (МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, 2019)	Advertencia / aviso de tormenta	1 a 2 horas	División política	Vientos fuertes, ráfagas, granizo, lluvias intensas, tornados, nevadas, depósito de hielo

Los productos analizados que se resumen en la Tabla 3 presentan características similares al ACP en cuanto a su duración, con valores que rondan entre 0,5 y 6 horas, lo que guarda relación con lo discutido en la Sección 1 del presente texto. No se encontró una explicación de la elección en la forma de determinar el área (división política versus polígono), aunque se presume que se debe a diversas razones entre las que se encuentran las distintas formas de divisiones territoriales en un mismo país, cuestiones tecnológicas, cuestiones de carga de trabajo, etc (ver por ejemplo Richter, 2007). En el caso de Argentina, al ser un país federal cada provincia puede determinar cómo divide su territorio: mientras que algunas provincias tienen todo su territorio separado en municipios (de tamaño variado), algunas provincias tienen municipios delimitados en torno al casco urbano (ver por ejemplo San Luis o Córdoba en la Figura 5) y el resto del territorio es provincial, es decir, no es jurisdicción de ningún municipio. Esto impediría utilizar para todo el país una división política de un tamaño pequeño (como puede ser un municipio) sobre la cual emitir un aviso. Por lo tanto, definir un ACP a través de un polígono es la opción utilizada al día de hoy. En cuanto a los fenómenos sobre los cuales cada SMN emite avisos o advertencias de corto término, se observan mayormente aquellos fenómenos que se incluyen en los

ACPs: tormentas con ráfagas, granizo y lluvias intensas (o inundaciones, que es usualmente la consecuencia de las lluvias intensas).



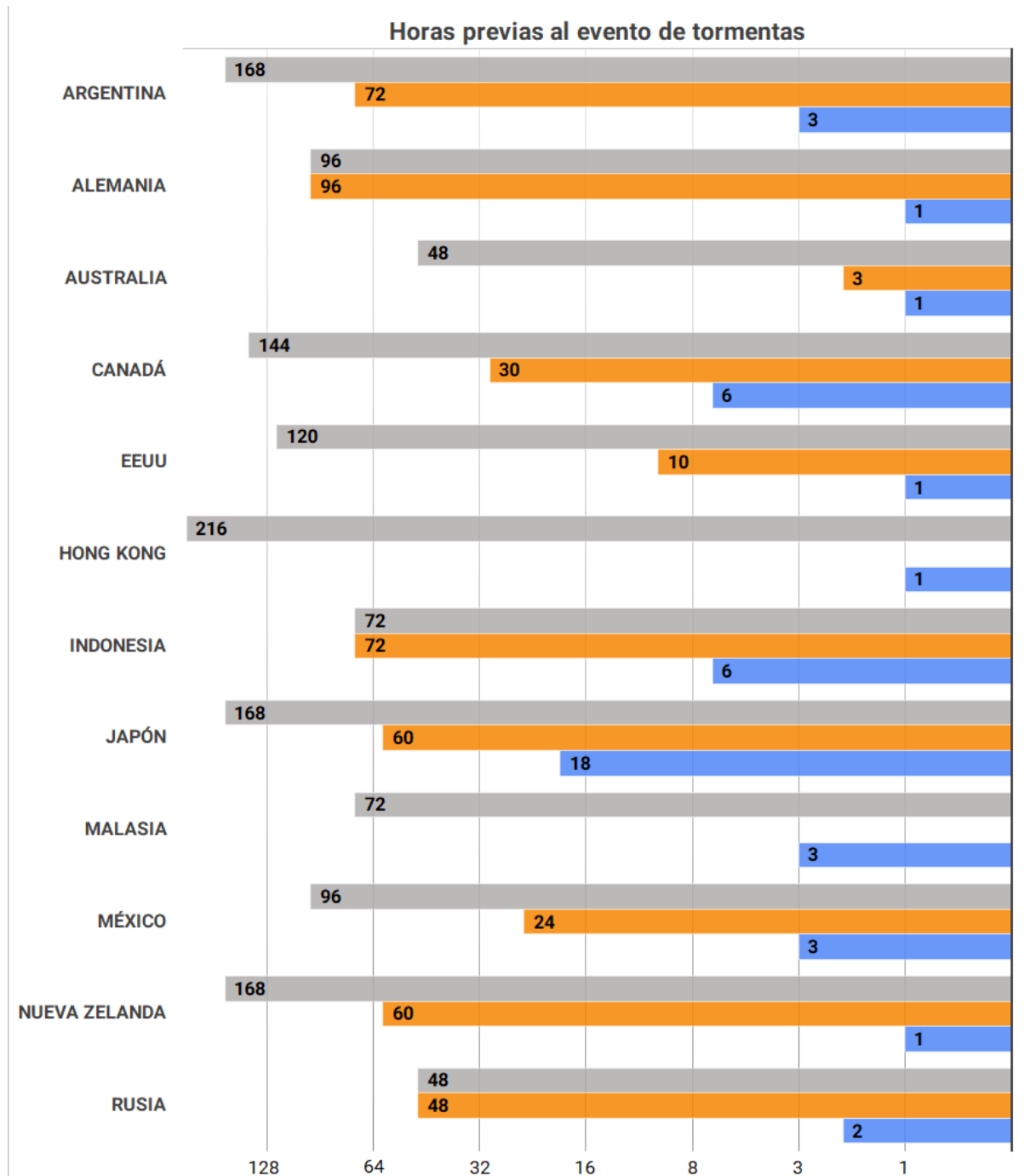
**Fig. 5:** captura de pantalla obtenida del sitio web del Instituto Geográfico Nacional (<https://mapa.ign.gob.ar/>) activando las capas de Departamento y Gobierno Local. Se observa que algunas provincias como Buenos Aires y Santa Fé tienen todo su territorio dividido en municipios de tamaños no uniformes. En cambio, provincias como Córdoba y San Luis optan por delimitar los municipios en torno a los cascos urbanos. En estos casos, el resto del territorio que no pertenece a un municipio, sino que es jurisdicción de la provincia.

Una característica interesante que se encontró en el relevamiento es que los productos de pronóstico inmediato no suelen ser los únicos relacionados a las tormentas severas, sino que en cada país suelen existir otros productos que apuntan a alertar con varias horas o días de anticipación sobre la ocurrencia de dichos fenómenos. El producto encontrado más usual son las alertas que utilizan escalas de colores tipo semáforo (verde, amarillo, naranja y rojo). Una discusión sobre el uso de los colores en los alertas puede encontrarse en de Elía y otros (2021b).

El conjunto de productos que se emite para avisar a la población sobre la ocurrencia de tormentas severas suele formar parte de un Sistema de Alerta Temprana, dentro del cual el monitoreo, pronóstico y emisión de alertas es sólo una de las 4 componentes (ver por ejemplo NOAA, 2012). La coherencia entre los distintos productos de pronóstico es importante ya que la comunicación acerca de los eventos de tormentas severas de los SMNs está conformada por dichos productos. A partir de la información relevada a través de los sitios web y de la bibliografía disponible se construye el esquema que se presenta en la Figura 6, en la cual se resume el plazo de validez de los distintos productos. Si bien se observa una gran disparidad en el rango de vigencia de cada producto, en general se observa una jerarquía de 2 o 3 productos que asemejan al concepto “en sus marcas, listos, ya” (NOAA, 2012). Este tipo de enfoque apunta a informar a los distintos usuarios sobre la posibilidad de ocurrencia creciente de un evento de tormentas severas, siendo el producto de nowcasting --el ACP en el caso del SMN de Argentina-- el que corresponde a la categoría “ya”.

Evaluar el origen de cada uno de estos productos excede el alcance del presente texto. Sin embargo, en algunos casos particulares como en los SMNs de Argentina, Estados Unidos (EEUU) y Alemania se pudo verificar que los productos de nowcasting se basan en un análisis de los datos en tiempo real (radar, satélite, actividad eléctrica, estaciones de superficie, reportes, etc). En cambio, los productos en el corto plazo (de 6 a 48 hs) se basan mayormente en modelos numéricos, tanto determinísticos como ensambles. Se observó además que existen distintos grupos de profesionales en estos SMNs,

donde cada grupo posee una experticia que les permite interpretar y utilizar esas fuentes de información para generar los productos de la Figura 6.

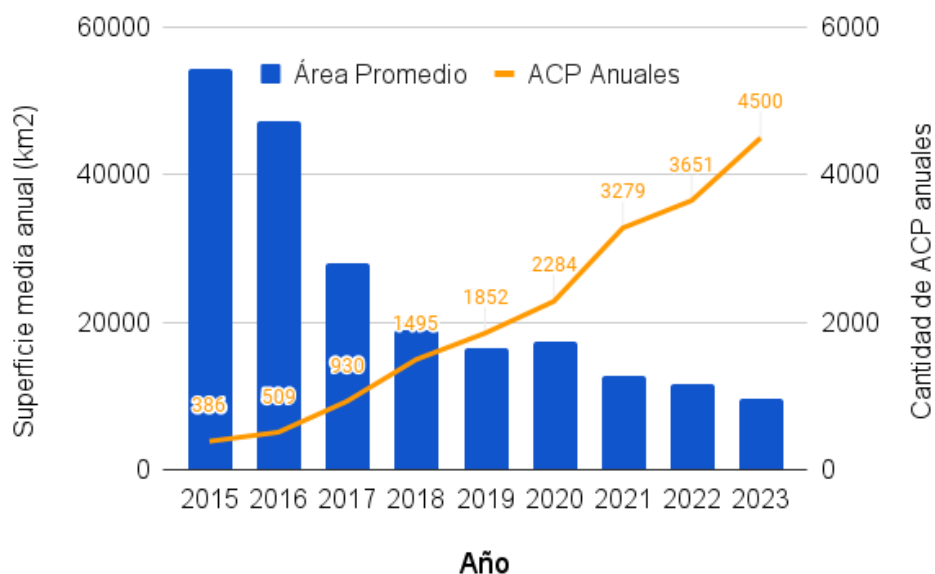


**Fig. 6:** Cantidad de horas de anticipación respecto a la ocurrencia de un evento con las que se emiten los distintos tipos de avisos, alertas y pronósticos en diferentes países. Las barras indican el máximo tiempo de preaviso que pueden dar cada uno de los productos emitidos. Notar que se utiliza una escala logarítmica para el eje horizontal. En color gris se indica el plazo máximo del producto en la categoría “en sus marcas” que suele ser el pronóstico diario o un producto que indique una perspectiva a varios días. En color naranja se indica el plazo del producto similar a las alertas del SMN de Argentina, que corresponde a la categoría “listos”. Por último, el color azul indica el plazo del producto similar al ACP, en la categoría “ya”.

### 3.1 Tamaño de los ACPs

El área promedio del ACP a lo largo de los años ha ido en disminución, como se puede observar en la Figura 7. Esta evolución a lo largo del tiempo se debe a un cambio de concepción del producto impulsado dentro de la CPI, buscando así acercarse a la escala de los eventos de tiempo severo sobre los que el ACP pretende advertir (ver sección 1 del presente texto). En el análisis también se debe considerar que entre los años 2014 y 2020 la cantidad de radares para los cuales se emitieron ACPs aumentó de 4 a 14 como resultado del proyecto SINARAME (ver de Elía y otros, 2017, Rodríguez y otros, 2017), mientras que la oficina CPI del SMN pasó de tener 9 pronosticadores a 20 en el mismo lapso de tiempo. A su vez, las herramientas científico-tecnológicas también se potenciaron (reemplazo del GOES 13 por el mucho más moderno y completo GOES 16, adquisición de datos de redes terrestres de actividad eléctrica en tiempo real, radarización del país, desarrollo del modelo WRF, entre otros importantes avances) . Para una discusión más completa del tema se refiere la sección 3.4 de de Elía y otros (2021a) e Ishikame y otros (2022).

En busca de datos públicos sobre un producto similar que se pueda tomar de referencia, se elige comparar el tamaño de los ACP con el producto Severe Thunderstorm Warning del SMN de EEUU (NWS, por sus siglas en inglés). Este producto se emite cuando en el radar se detecta la presencia de tormentas que pueden provocar granizo con un diámetro mayor a 2,5 cm y/o ráfagas superiores a los 93 km/h. El área promedio del Severe Thunderstorm Warning es de 1802 km<sup>2</sup> (Harrison y Karstens, 2017). Los ACP emitidos en el año 2023 tienen un área promedio aproximada de 9700 km<sup>2</sup>, por lo que son en promedio unas 5 veces más grandes que los Severe Thunderstorm Warnings. Sin embargo, entre los años 2015 y 2023 los ACP han reducido su tamaño promedio unas 5 veces y el decrecimiento comienza a presentar un amesetamiento. Se considera que la excesiva carga de trabajo durante situaciones generalizadas de mal tiempo junto a la poca cantidad de pronosticadores de turno en CPI emitiendo los ACP explican este estancamiento: si los ACP fuesen más chicos aún, se corre el riesgo de que las tormentas traspasen los límites de los polígonos vigentes sin que se llegue a emitir un nuevo ACP para el área contigua<sup>18</sup>. Además, aumenta el riesgo de que se cometan errores por una sobrecarga de trabajo (ver por ejemplo Warning Decision Training Division, WDTD, 2020). En el caso de EEUU, el NWS puede emitir warnings más chicos porque poseen una gran cantidad de oficinas de pronóstico donde cada una vigila una pequeña porción del país (ver Tabla 2). Otra razón que explica el amesetamiento puede encontrarse en las cuestiones técnicas, como las limitaciones del software donde se generan los ACP.



<sup>18</sup> Basado en la experiencia profesional de los y las pronosticadores durante los turnos operativos



**Fig. 7:** En barras azules se presenta el área media anual de los ACP en km<sup>2</sup> (eje izquierdo) y en línea anaranjada la cantidad de ACP anuales emitidos (eje derecho).

## 4. Perspectivas futuras para el pronóstico inmediato según la ONU y la OMM

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha establecido 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para ser alcanzados en el año 2030<sup>19</sup>. El ODS 11 es “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles”. En particular, el Objetivo 11.5 de la ONU establece “[...] reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.” Entre los datos destacados se indica que “La mitad de la humanidad, 3.500 millones de personas, vive hoy en día en las ciudades y se prevé que esta cifra aumentará a 5.000 millones para el año 2030.” El ODS 13 “Acción por el clima” tiene por primera meta “13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países”. Por último, cabe mencionar que en noviembre de 2022 la ONU y la OMM lanzaron en conjunto el plan “Sistema de Alerta Temprana para todos en 5 años”<sup>20</sup>. Este plan apunta a impulsar el desarrollo de sistemas de alerta temprana para 50 países del mundo que no tienen uno en funcionamiento. En resumen, si bien la ONU y la OMM no nombran al pronóstico inmediato de forma explícita --y al ser políticas de alto nivel no es esperable que lo hagan--, podemos considerar que su desarrollo se encuentra dentro de las prioridades mundiales establecidas para las próximas décadas en un contexto de cambio climático.

En línea con todos estos objetivos mundiales, la OMM ha generado en los últimos 20 años un amplio abanico de publicaciones que se relacionan al pronóstico inmediato, a los sistemas de alerta temprana por tiempo severo y a la provisión de servicios. En toda esta bibliografía se destaca la necesidad de generar alianzas y de mantener relaciones fluidas y estrechas con los usuarios. La prestación de servicios debe cumplir muchas características para ser efectiva, como se observa en la Figura 9, extraída de OMM (2014). Nuevamente, brindar este nivel de servicios en los pronósticos inmediatos para tiempo severo desde una sola oficina nacional para un país de la talla de Argentina es algo que ningún SMN del mundo realiza (ver la sección 2 de la presente nota técnica).

De toda la bibliografía citada, resalta el texto *Guidelines for Nowcasting Techniques* (OMM, 2017) del cual se extraen las siguientes frases relevantes por la relación que guardan con las operaciones actuales de la CPI:

- “El *nowcasting* es altamente dependiente de que las observaciones de alta resolución sean actualizadas de forma rápida y estén disponibles en un sistema de visualización integrado que pueda ser operado de manera fácil por el pronosticador. Idealmente, este sistema de visualización contiene observaciones de varios instrumentos y sensores en la misma pantalla y con la misma resolución para cada conjunto de datos.”
- “El radar meteorológico no debe ser comprado a menos que exista un plan específico con fondos suficientes para poder: operarlo, realizarle mantenimiento y análisis de calidad de datos rutinariamente; conseguir repuestos; establecer metodologías para la transmisión de la información e instalar sistemas de visualización adecuados en las oficinas de pronósticos para acceder a los datos; entrenar a los pronosticadores en la interpretación de información de radar

<sup>19</sup> Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

<sup>20</sup> <https://public.wmo.int/en/media/press-release/early-warnings-all-action-plan-unveiled-cop27>

y su uso en el nowcasting; y asegurar la existencia de pronosticadores dedicados al nowcasting.”

- “Los avisos de tiempo severo más precisos, con unas pocas excepciones, requieren de la participación de un humano en el proceso. Una excepción es la generación automática de los avisos de microbursts para las aeronaves en el área de la terminal.”



**Fig. 8:** Características que deben presentar la provisión de servicios de los SMNs (OMM, 2014).

Como se puede apreciar en las citas previas, el pronóstico inmediato de tormentas severas es una tarea de alta demanda cognitiva en análisis de información<sup>21</sup> y que requiere de la toma de decisiones de forma constante en cortos periodos de tiempo por parte del *nowcaster*. Además, el texto plantea la necesidad de tener pronosticadores dedicados al pronóstico inmediato, ya que la integración de todas las fuentes de información y la generación de los productos es una tarea que deben realizar los pronosticadores, es decir, no es automatizable ni se espera que lo sea en el corto plazo. Esto último es reforzado en la publicación del 2022 de la OMM “Future of National Meteorological or Hydrometeorological Services: Evolving roles and responsibilities”.

Otro factor importante que resalta la OMM (2017) es que la emisión de los avisos de nowcasting es facilitada por un software que integre toda la información disponible: radar, satélite, actividad eléctrica, modelos numéricos, estaciones automáticas, etc. Además, estos sistemas identifican y clasifican mediante algoritmos las tormentas en función de su peligrosidad y sus posibles efectos (ráfagas, granizo, lluvias intensas) y se propone un polígono que luego puede ser ajustado por los pronosticadores (ver por ejemplo James y otros, 2018). Al día de hoy no existe tal software en el SMN de Argentina.

## 5. El rol de los productos derivados en el nowcasting

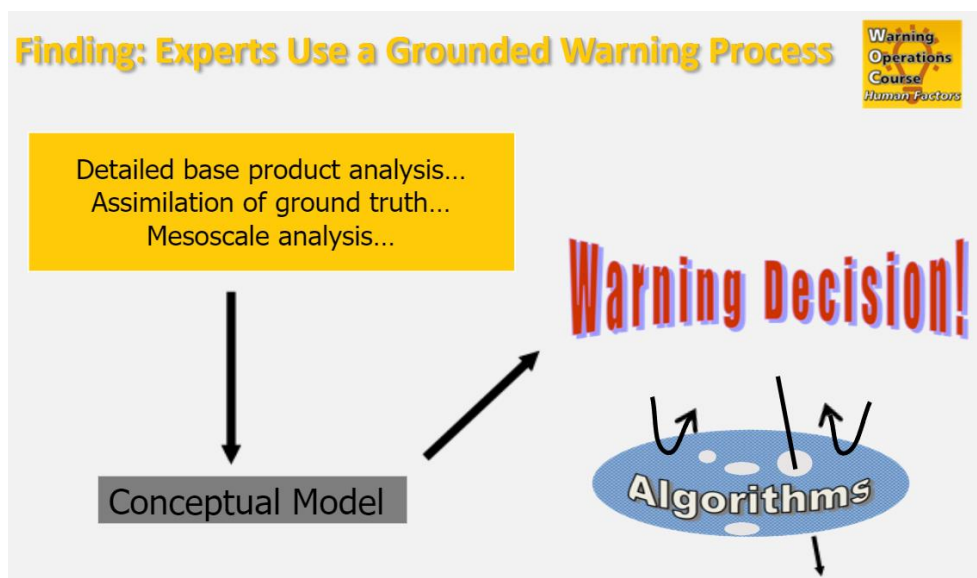
Existe una amplia gama de productos derivados (también conocidos en la jerga meteorológica como “algoritmos”) de los datos de radar, de satélite, de actividad eléctrica o combinados que se utilizan en el nowcasting. Algunos de estos productos están diseñados para detectar algún fenómeno de tiempo

<sup>21</sup> Además de estas citas de OMM, algunos SMN del mundo entrenan a sus pronosticadores para estar al tanto de los factores humanos en el trabajo (estrés, conocimiento de la situación, toma de decisión, etc). Ver por ejemplo: <https://training.weather.gov/wdtd/courses/woc/core.php>

severo en particular como los tornados o el granizo, mientras que otros solo indican sobre la potencialidad que tiene una tormenta en producir tiempo severo sin diferenciar en el tipo de fenómeno. Por otro lado, algunos productos utilizan los datos que provienen de una sola fuente (por ejemplo, radar), mientras que otros productos combinan múltiples fuentes de información.

La utilización de este tipo de productos o algoritmos en otros SMNs es un aspecto importante del nowcasting. Por ejemplo, la Warning Decision Training Division dedica todo un bloque a los cursos que realizan los pronosticadores del NWS para los productos derivados de radar y aquellos derivados a partir de otras fuentes o combinaciones de fuentes (<https://training.weather.gov/wdtd/courses/rac/outline.php>).

La integración de los productos derivados en las operaciones de las oficinas de pronóstico inmediato del mundo se pueden realizar de diferente manera. Por ejemplo, en el caso del NWS los pronosticadores analizan los datos base (por ejemplo, los PPI de un radar o los canales individuales o RGB del satélite GOES) para determinar la intensidad de una tormenta y decidir si emiten un aviso. Los productos derivados son en este caso una red de contención en caso que los pronosticadores hayan pasado por alto alguna tormenta con indicios de severidad (ver Figura 9). Notar que este esquema de trabajo implica una alta demanda de pronosticadores. Esto se ve reflejado en las 122 oficinas de pronóstico locales que posee el National Weather Service (NWS) (ver Tabla 2). Cada una de estas oficinas de pronóstico tiene jurisdicción sobre unos 80000 km<sup>2</sup> aproximadamente, donde cada oficina posee una plantilla de entre 25 y 30 profesionales.

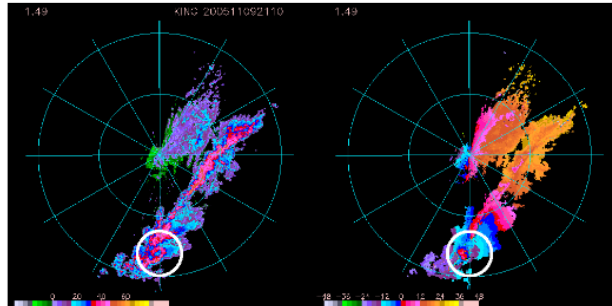


**Fig. 9:** flujo de trabajo que utilizan los nowcasters del NWS. Se observa que los productos derivados ("algorithms" en la imagen) sirven como una red de contención en caso que los pronosticadores no hayan detectado los signos de severidad en el análisis de los datos base. Captura obtenida de [https://training.weather.gov/wdtd/courses/woc/human-factors/expertise/cta/story\\_html5.html](https://training.weather.gov/wdtd/courses/woc/human-factors/expertise/cta/story_html5.html).

Otro esquema de trabajo es utilizado en el SMN de Canadá (Environment Canada, EC). Como se puede ver en la Figura 10 (arriba), los productos derivados (algoritmos) juegan un rol central a la hora de analizar las características de las tormentas y decidir si se emiten avisos a la población. En el caso de EC, los algoritmos ранкеan las tormentas de acuerdo a parámetros preestablecidos y los pronosticadores cuentan con un conjunto de productos preestablecidos (que incluyen tanto productos base como algunos PPI de radar como productos derivados como estimaciones del tamaño del granizo) para cada una de estas tormentas. Entonces, a través del análisis de esta suite de productos, los pronosticadores deciden si se emite un aviso para la tormenta en cuestión. En este caso, EC construyó los algoritmos y el software de visualización CARDS para agilizar este análisis e integrarlo de manera

eficiente en las operaciones de pronóstico. En contraste con el caso de los EEUU, este enfoque permite que un pronosticador pueda vigilar 10 radares en simultáneo (ver Figura 10 - abajo).

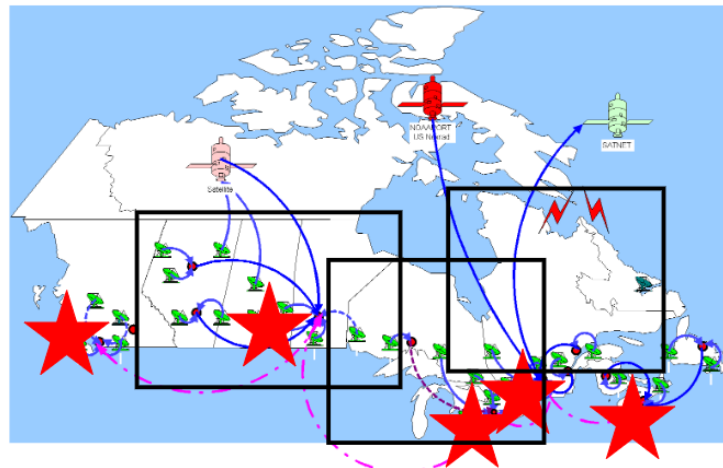
## Using Algorithm Approach



An algorithm searches the data for relevant patterns (spatial or temporal).

- Not an automated answer!
- Individual algorithms are configured to have high POD
  - but results in high FAR
- Combination of algorithms:
  - support each other to reduce the FAR
  - create leverage points for further inquiry
  - support use of the conceptual model
  - support expert decision-making

## The Canadian Warning Offices



> 3,000,000 square km per forecast office

**Fig. 10:** Arriba: el SMN de Canadá (EC) utiliza el enfoque basado en productos derivados para optimizar el trabajo de sus pronosticadores. Abajo: este enfoque permite que cada pronosticador vigile hasta 10 radares en simultáneo, reduciendo la necesidad de una regionalización más profunda (como por ejemplo la de EEUU, Francia o Japón). Diapositivas tomadas de una presentación realizada por Paul Joe en el marco del T-NOTE (<https://www.cima.fcen.uba.ar/T-NOTE/>).

En el SMN de Argentina muchos productos derivados se encuentran en distinto grado de desarrollo e implementación. Por ejemplo, se ha adaptado un producto para detectar granizo a partir de datos de radar y de modelo (Rugna y otros, 2022). Un segundo ejemplo es la extrapolación de ecos de radar (Arruti y otros, 2022). Un tercer ejemplo es la estimación de precipitación a partir de datos de radar (Gimenez y otros, 2021) o de satélite (Hobouchian y otros, 2015 y 2018). Uno de los desafíos pendientes en el SMN de Argentina es la integración de todas estas fuentes de información en un sistema que permita operar de forma eficiente. Este sistema debe considerar tanto la cantidad de

pronosticadores disponibles como el programa informático de visualización. En el caso de este último y como ya se indicó en la sección anterior, dicho software debe permitir visualizar y analizar todas las fuentes de información de manera conjunta y superpuesta y además debe permitir generar y difundir los avisos. Es importante resaltar que cada uno de los SMNs que realizan nowcasting de tormentas severas tiene un software diseñado específicamente para su forma de operar (por ejemplo, AWIPS II en el NWS, CARDS en el EC, NinJo en el caso del SMN de Alemania).

## 6. Diferenciación de los Servicios de Alerta Temprana en otros SMNs

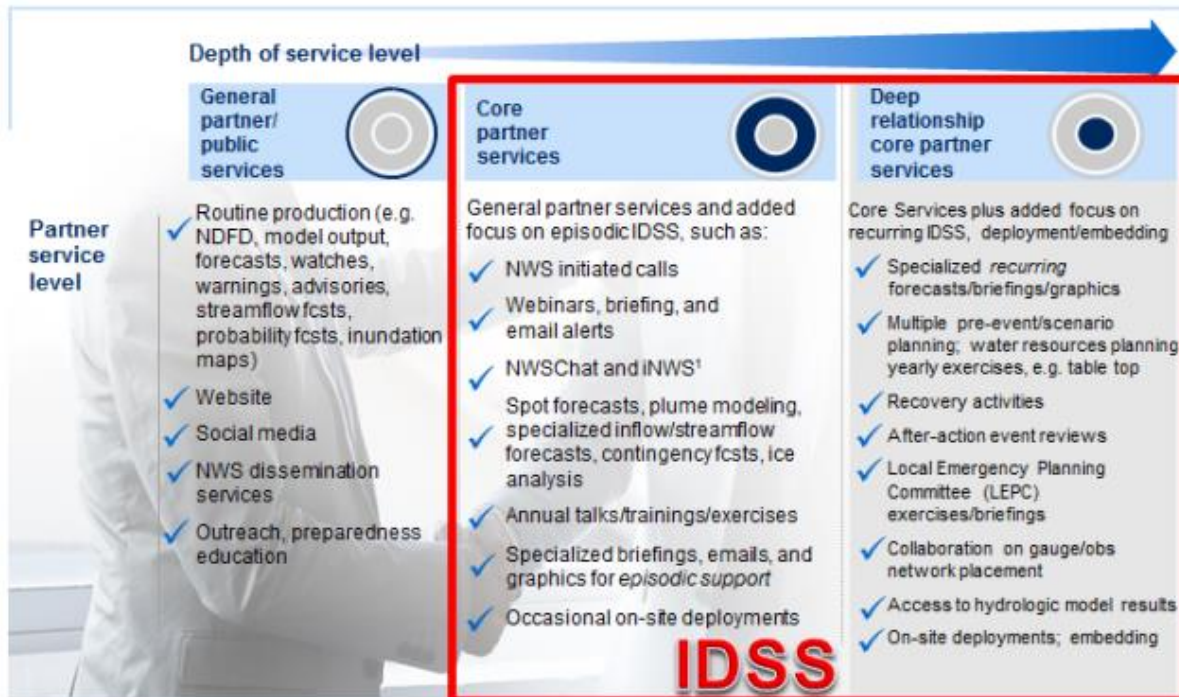
El NWS estableció en el año 2017 el Impact-based Decision Support Services (IDSS) como parte de una Ley Nacional en los EE.UU.<sup>22</sup>. Este concepto es la respuesta de dicho organismo para mejorar los servicios que brinda en la toma de decisión con todos los usuarios que son considerados como estratégicos “permanentes” o estratégicos pero “eventuales” (ante, por ejemplo, un evento deportivo de grandes magnitudes). Los productos usuales (pronóstico diario, *outlooks*, *watches*, *warnings*, etc.) continúan estando disponibles para toda la población y para todos los sectores de la sociedad a través del sitio web, de redes sociales, y de otros servicios de diseminación. La diferencia principal al aplicar el IDSS es que el NWS habilita la interacción fluida con unos pocos usuarios estratégicos a través de chats, llamadas, videollamadas y hasta el despliegue de un pronosticador a la localización del socio estratégico (ver Figura 11). En una oración, el IDSS tiene como objetivo promover un nivel de servicios superior que cubra la demanda de unos pocos usuarios estratégicos.

Uno de los criterios fundamentales que adoptó el NWS para determinar el nivel de IDSS que brinda, es el grado de toma de decisión que realiza cada socio estratégico y la relación que guarda con la misión del organismo. Por ejemplo, ante un evento de tiempo severo una protección civil que debe decidir una evacuación general de la población tiene un nivel de decisión diferente respecto de cualquier ciudadano individual ante el mismo evento. Ernst y otros (2018) analizan el uso de los productos de nowcasting de tormentas severas emitidos por el SMN de EEUU por parte de las defensas civiles y otros tomadores de decisión. Un resultado del trabajo fue identificar el valor que tiene la comunicación fluida entre los pronosticadores y los tomadores de decisión. Otro socio estratégico identificado en el IDSS son las plantas potabilizadoras de agua, cuyo funcionamiento ininterrumpido es fundamental para la sociedad.

Se resalta que el NWS parece ser una institución que tiene muchas de las condiciones necesarias para el éxito, como un presupuesto acorde, una gran cantidad de oficinas locales y un gran número de personal con una buena retribución salarial, un pujante sistema científico-tecnológico que lo acompaña, etc. Sin embargo, el enfoque del IDSS fue necesario para que los productos y servicios generados por el organismo tengan un mayor impacto en la toma de decisión de los usuarios. En el análisis de la fuerza laboral que realizó el NWS para las próximas décadas, el IDSS cobra un rol fundamental (ver Figura 12). Es interesante notar que a pesar de dedicar cada vez mayor cantidad de personal a este rol, el NWS tuvo que definir quiénes son los socios estratégicos que reciben el soporte adicional a través del IDSS. Es decir, los recursos de esta organización no alcanzaron para brindar el mismo nivel de servicio a todos los sectores de la población, sino que tuvieron que priorizar.

También se puede apreciar en la Figura 12 que el NWS planea incrementar ligeramente la cantidad de tiempo dedicado a la vigilancia meteorológica y a la emisión de los warnings (producto de nowcasting similar al ACP) por tiempo severo, es decir, no consideran que dicha actividad será 100% automatizable en los próximos años (notar que sí lo será la generación del pronóstico diario, la cual se reduce sustancialmente en la figura en cuestión).

<sup>22</sup> [https://www.weather.gov/media/coo/IDSS\\_SDD\\_V1\\_0.pdf](https://www.weather.gov/media/coo/IDSS_SDD_V1_0.pdf)



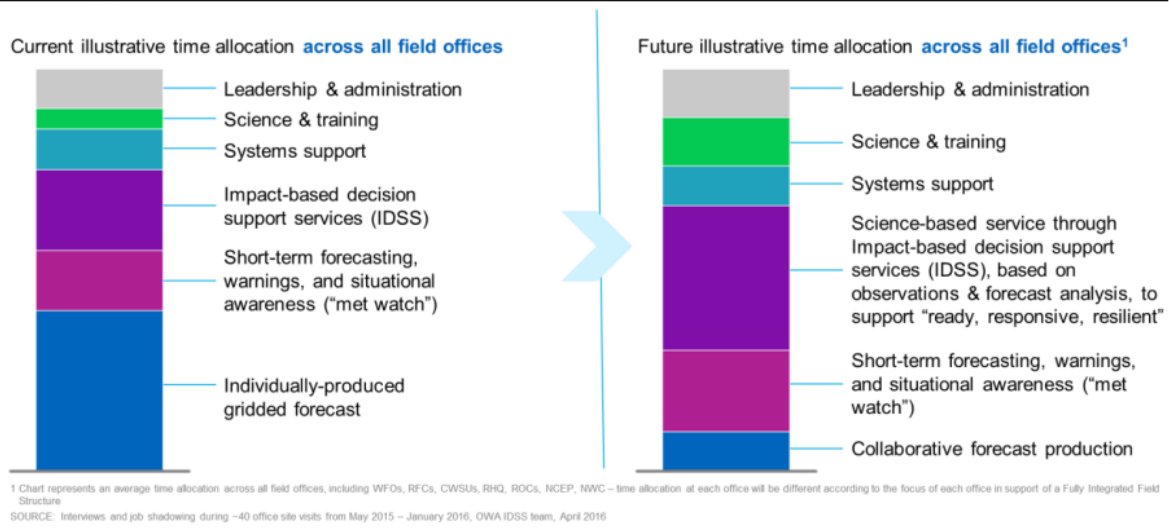
**Fig. 11:** Esquema de los distintos productos y servicios brindados por el NWS diferenciados por público en general, socios estratégicos esporádicos y socios estratégicos permanentes (NWS, 2018).

Existen varios trabajos en donde analizan las interacciones entre los pronosticadores y las defensas civiles. Demeritt (2012) se concentra en el SMN del Reino Unido (UK Met) en donde tienen un perfil llamado Public Weather Service (PWS) Advisor que se dedica específicamente a asesorar, explicar y evacuar dudas de los gestores de emergencias ante las situaciones meteorológicas. De manera similar, en el caso del SMN de Japón (JMA) se observa un enfoque similar en donde se le da mayor grado de prioridad a que los pronosticadores realicen asesoramiento a las defensas civiles y otros organismos de gobierno que tomen decisiones ante emergencias. Como se observa en la Figura 13 (arriba), en el año 2018 lanzaron el programa “JETT (JMA Emergency Task Team)” mediante el cual una oficina local del JMA que enfrenta una situación de tiempo severo recibe asistencia de meteorólogos y otros expertos de otras oficinas del JMA. En el año 2019, también buscando mejorar la comunicación con los tomadores de decisión locales, la JMA lanzó el programa “Forecaster for your town” (ver Figura 13, abajo).

El asesoramiento específico y continuo en el nowcasting tiene características similares al que se realiza en otras profesiones. Por ejemplo, cuando una persona se atiende para chequear su estado de salud, el médico le receta varios estudios y realiza un análisis físico. Como resultado de toda la información colectada, el médico realiza un diagnóstico. Si se identifica un problema de salud, el médico le explica la situación al paciente y realiza recomendaciones como la toma de medicación, el cambio de hábitos, etc., pronostica cómo evolucionará la salud del paciente y le recomienda que vuelva a atenderse luego de un determinado lapso de tiempo. De manera similar, cuando una persona recurre a un abogado, el profesional evalúa la situación legal particular, se la explica al cliente e indica posibles cursos de acción, haciendo hincapié en una recomendación en particular. De manera análoga, un nowcaster analiza toda la información disponible, hace un diagnóstico de la situación y genera un pronóstico. Sí evacúa además todas las dudas y consultas que tenga el usuario, entonces estará brindando un servicio completo, que satisfaga al usuario (ver Figura 8). El IDSS y servicios similares como el PWS Advisor

del UK Met asisten a la protección civil y otros socios estratégicos en la toma de decisión que deben realizar en base a estos pronósticos. Dado que las situaciones evolucionan rápidamente en eventos de tiempo severo, los pronósticos deben ser actualizados de forma continua y, por este motivo, la comunicación directa es fundamental para evacuar dudas en tiempo real. Por último, es importante tener en cuenta que la demanda de los usuarios suele ser dinámica: mientras más crítica es la situación, no sólo requerirán una actualización más frecuente en los pronósticos sino que también realizarán una mayor cantidad de preguntas, de forma tal de tomar la decisión de la manera más informada posible. Este último punto, que presenta un problema adicional para las operaciones de una oficina de pronóstico, será abordado en la sección 8.

**Exhibit 73: From-to on WFO allocation of time**



**Fig. 12:** Esquema que muestra el tiempo laboral dedicado para las distintas tareas en las 122 oficinas de pronóstico (en inglés, Weather Forecasting Offices, WFO) tanto para la operación actual como para la operación futura del NWS. Se observa que la cantidad de tiempo dedicado a vigilancia meteorológica y la emisión de warnings aumenta. Además, es notorio como el servicio IDSS aumenta en grandes proporciones y a expensas de disminuir la producción grillada de pronósticos (NWS, 2017).

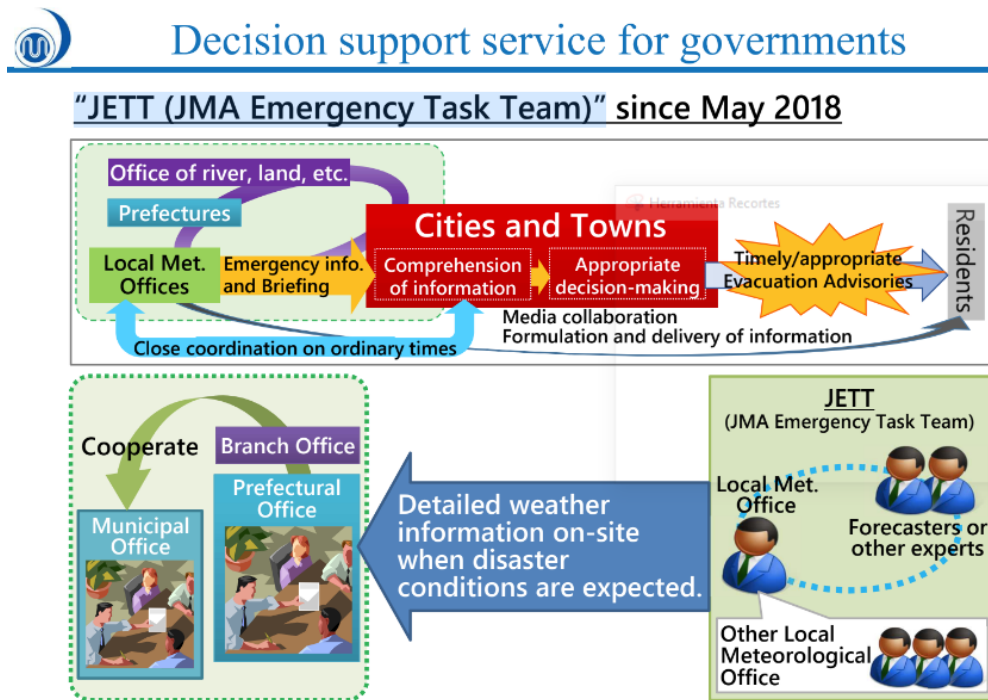
Otro ejemplo de diferenciación de los productos de pronóstico inmediato para el tiempo severo se puede apreciar en el SMN de Australia (Bureau of Meteorology, BOM)<sup>23</sup>. El BOM emite dos tipos de *warnings*: uno que es llamado *broad-based warning*<sup>24</sup> y otro que se denomina *detailed warning*<sup>25</sup>. El primer producto tiene una duración de 3 horas y un tamaño aproximado de 300 km por 300 km, es decir, unos 90.000 km<sup>2</sup>. Se emite para todas las áreas del territorio australiano, excepto para las ciudades más pobladas. Cabe resaltar que las características de los *broad-based warnings* son similares a los ACPs emitidos por el SMN de Argentina hacia el año 2015. Sólo en el caso de las ciudades más pobladas se emite el *detailed warning* (ver Figura 14). Este segundo producto tiene una duración de hasta 60 minutos y tiene un tamaño aproximado de 60 km por 30 km, unos 1.800 km<sup>2</sup> aproximadamente. Resulta necesario notar que este producto se parece al caso idealizado (Figura 2) discutido en la sección 1, y es similar al *severe warning* emitido por el NWS. A través de consultas a

<sup>23</sup> Fuente: [http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/WarningsInformation\\_SW\\_STSW.shtml](http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/WarningsInformation_SW_STSW.shtml)

<sup>24</sup> Fuente: <http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/sample-stsw-sa.shtml>

<sup>25</sup> Fuente: <http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/sample-stsw-mel.shtml>

profesionales del BOM se pudo averiguar que dicho organismo dedica un pronosticador de turno por cada una de las ciudades más pobladas. Es decir, al igual que el NWS, se observa una diferenciación en la cantidad de pronosticadores destinados por el BOM para producir pronósticos inmediatos y brindar servicios de asesoramiento ante los eventos de tiempo severo.



### Decision support service for governments

**"Meteorologists for your town" since April 2019**

- Visit mayors and communicate including the explanation of warnings
- Workshop on meteorological disaster preparedness
- Review of operations during disasters from both sides (met. offices and municipalities)






**Promoting the use of "Meteorologists disaster mitigation advisors"**

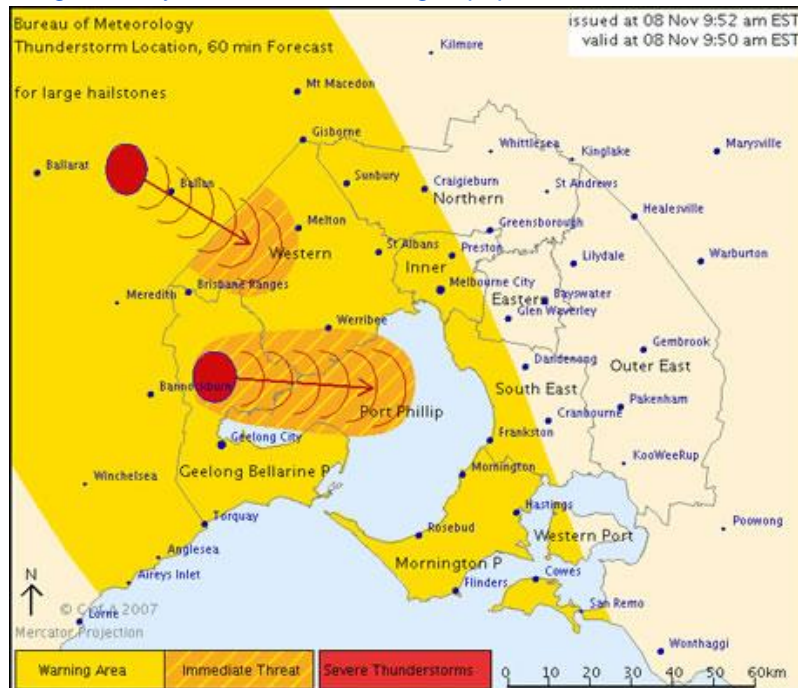
**Fig. 13:** Se observa dos programas lanzados por el JMA: "JMA Emergency Task Team" (arriba) y "Meteorologists for your town" (abajo). Ambos programas apuntan a fortalecer las tareas de asesoramiento que realizan los pronosticadores de la JMA.

Por último, cabe aclarar que si bien el NWS no tiene productos diferenciados como es el caso del BOM, sí tiene definida una priorización hacia los grandes centros urbanos. Por ejemplo, en las capacitaciones de trabajo para el puesto de nowcaster sí se indica que se priorice la vigilancia y posible emisión de un aviso para las tormentas peligrosas que estén cerca de grandes centros urbanos (NWS Training



Center, s.f). Otra forma de realizar esta priorización es a través del área de vigilancia de las oficinas de pronóstico locales. En <https://www.noaa.gov/jetstream/wfos> se puede observar que el área de vigilancia de las oficinas de pronóstico locales es más chico en el este del territorio continental de los EEUU respecto de las oficinas que se ubican en el oeste. Justamente es en el este de EEUU donde se concentra la mayor parte de la población y se registra además una mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas severas

(<https://www.census.gov/library/visualizations/2021/geo/population-distribution-2020.html>).



**Fig. 14:** Ejemplo de un detailed warning emitido por el BOM de Australia (el área naranja con rayas llamada “Immediate Threat” en las referencias de la imagen).

Tomar decisiones sobre la segmentación de los usuarios y la diferenciación de los productos y servicios es una práctica estándar en el mundo de los negocios. Es importante resaltar que el conjunto de estas decisiones es lo que define la estrategia de cada organización (Porter, 1996). Como se ha visto en esta sección, la aplicación de diferentes estrategias que priorizan un determinado conjunto de usuarios y un tipo de servicios ya está siendo llevada a cabo por otros SMNs del mundo, por lo que es un posible camino para el avance del nowcasting en Argentina.

## 7. Ejemplos de posibles servicios diferenciales en el SMN de Argentina

La CPI del SMN ha trabajado en pos de generar las capacidades necesarias e ir ganando experiencia a la hora de brindar servicios de nowcasting dedicados a usuarios específicos. Un primer ejemplo resulta de la relación entre el SMN y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). En el año 2018 se realizaron los Juegos Olímpicos de la Juventud en la CABA y sus alrededores. Para dicho evento se realizó un nowcasting específico para cada parque. Un análisis detallado de dicha experiencia puede encontrarse en Ishikame y otros (2019). Un segundo ejemplo fueron los pronósticos inmediatos brindados el 30 de noviembre y 1 de diciembre del 2018 en el marco de la reunión del G20. Esta reunión se realizó en la CABA y contó con pronósticos similares a los realizados en el marco de los JJOO 2018. Para ambos eventos el SMN dispuso de un nowcaster dedicado especialmente a ese pronóstico.

Como tercer ejemplo se analiza una situación que es representativa de los servicios de pronóstico inmediato diferenciados que puede brindar la CPI. Este ejemplo ocurrió en el marco del seguimiento especial para el Municipio de Quilmes que se realiza por el proyecto 5.4.2 del Plan Estratégico 2020-2023 del SMN "Innovaciones en pronósticos inmediatos: modificaciones de ACPs y pronósticos de crecidas urbanas repentinas" (ver Sección 1 de Menalled y otros, 2023). Además de personal del SMN y del Municipio de Quilmes, también participan profesionales del Instituto Nacional del Agua. Este proyecto apunta a realizar pronósticos experimentales de inundaciones urbanas repentinas. El evento a analizar ocurrió el día 28 de noviembre de 2020 en una situación de tiempo severo que afectó a varias provincias en el centro de Argentina. La pronosticadora de turno en CPI emitió 22 ACPs para distintas regiones de la Argentina en los siguientes horarios: 07:52, 08:03, 09:17, 09:32, 10:06, 10:20, 10:23, 11:01, 11:07, 11:40, 11:58, 12:16, 13:36, 13:40, 14:36, 15:04, 15:11, 16:52, 16:59, 17:22, 18:21 y 18:48, todos expresados en hora local argentina. Se lista la hora exacta de cada ACP emitido para mostrar la intensa carga de trabajo que tienen los pronosticadores de CPI a lo largo de todo el turno en días con eventos generalizados de mal tiempo.

En particular, el ACP de las 10:23 se muestra en la Figura 16. De acuerdo a la definición oficial (apéndice de Lohigorry y otros, 2018), los fenómenos incluidos en el título de ese ACP incluían ráfagas entre 60 y 90 km/h, precipitación acumulada entre 20 y 40 mm en 1 hora y la caída de granizo menor a 2 cm. Estos tres fenómenos se registraron entre las 11:00 y las 13:00 en localidades dentro del área cubierta por el ACP: en el aeropuerto de San Fernando la estación meteorológica del SMN reportó ráfagas de 71 km/h; al menos 5 estaciones meteorológicas de privados ubicadas en zona norte del Gran Buenos Aires midieron lluvias entre 20 y 25 mm en 1 hora; y hubo varios reportes de caída de granizo menor a 2 cm de diámetro (dos de estos reportes fueron realizados por personal del SMN que se encontraba en esos momentos en sus casas, dentro del área cubierta por el ACP).

Al mismo tiempo, otro pronosticador de CPI se encontraba realizando el seguimiento especial para el Municipio de Quilmes (MQ) en el marco del programa 5.4.2 del Plan Estratégico 2020-2023 del SMN. A continuación se describe brevemente la información provista al área de emergencias de dicho municipio y los datos cercanos o sobre el municipio de Quilmes a través del grupo de Whatsapp que integran el Subsecretario de Emergencias y el Director de Defensa Civil de Quilmes y profesionales del Instituto Nacional del Agua (INA) y del SMN que participan en este proyecto:

- 10:41 HOA, pronosticador del SMN: "Buen día. Desde el SMN emitimos un ACP para toda el AMBA. En particular para Quilmes y la cuenca SSD espero que las tormentas lleguen en 45 minutos. Las tormentas más intensas afectarán el norte del GBA; por la zona de Quilmes espero fenómenos más débiles, con acumulados entre 3 y 10 mm en la primera hora. Luego continuaría lluvia débil (1 a 2 mm por hora)."
- 10:42 HOA, Autoridad 1 del MQ: "Buen día! Gracias"
- 10:42 HOA, Autoridad 2 del MQ: "Buen día!!! Gracias por la info"
- 10:55 HOA, pronosticador del SMN: "Esta tormenta puede venir acompañadas con ráfagas entre 45 y 65 km/h, valores que son bajos y suelen no provocar daños (igual esto es para analizar y calibrar con los reportes post eventos)."
- 10:56 HOA, Autoridad 2 del MQ: "Gracias"
- 11:16 HOA, estación meteorológica del SMN en el Aeropuerto de Ezeiza midió 50 km/h de ráfagas.
- 11:23 HOA, hidrólogo del INA: "Con estos estimados de lluvia no debería haber problemas con los arroyos. Recién quedó seteado para que los sensores de nivel transmitan cada 15 minutos".
- 11:25 HOA, Autoridad 2 del MQ: "Perfecto".
- 11:50 HOA, estación meteorológica privada "ClimaSurGBA" ubicada en el Municipio de Quilmes midió 39 km/h de ráfagas.

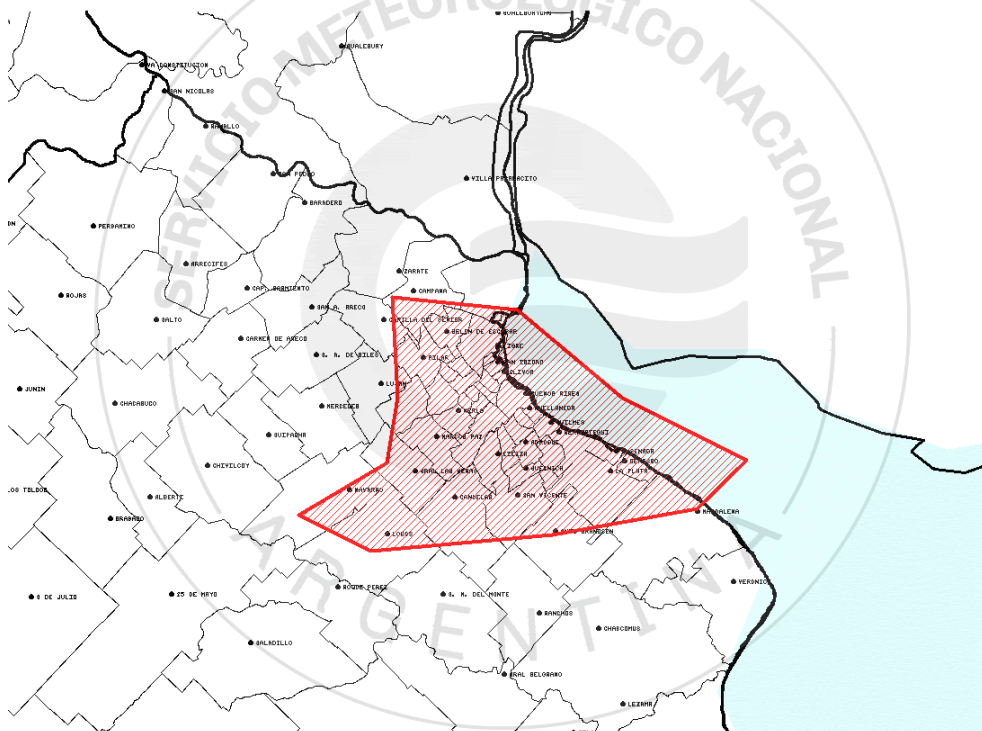
- 12:10 HOA, pronosticador del SMN: “Todavía no actualizaron los datos sobre la cuenca SSD, pero 10 km al oeste los acumulados estuvieron entre 5 y 10 mm. Espero acumulados similares en la cuenca (actualizo en media hora).
- Las ráfagas estuvieron en 50 km/h aprox.
- Ahora sigue la lluvia débil que acumula entre 1 y 3 mm por hora, durante 1 o 2 horas más estimo.”
- 12:13 HOA, Autoridad 2 del MQ: “Gracias... nos mantenemos en contacto”
- 12:38 HOA, pronosticador del SMN: “Los acumulados por la cuenca SSD estuvieron por debajo de los 5 mm (la tormenta se disipó al llegar). Sigue la lluvia débil durante 1 o 2 horas.
- Discontinuo los mensajes, pero continuo vigilando y aviso si hay algo importante (no debería durante el día de hoy). Buen finde.”
- 12:40 HOA, Autoridad 1 del MQ: “Gracias!! Buena información”
- 12:40 HOA, Autoridad 2 del MQ: “Muy buena la info a nosotros nos sirve y mucho!!!”

Finalmente, los acumulados totales registrados en el Municipio de Quilmes y alrededores oscilaron entre 2 y 12 mm entre las 11:30 HOA y las 13:30 HOA en base a estaciones meteorológicas de privados y de instituciones como la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR).

Es importante aclarar que ambos pronosticadores de CPI trabajaron con las mismas herramientas científico-tecnológicas y contaban con la misma información disponible. Además, ambos pronosticadores contaban con una experiencia profesional y formación académica similar. La diferencia principal radicó en el área que debían analizar. Por un lado, la pronosticadora a cargo de la emisión de los ACPs tenía bajo su responsabilidad la vigilancia de aproximadamente 1,6 millones de km<sup>2</sup> (el área cubierta por los radares meteorológicos, sujeta a la emisión de ACP), de los cuales aproximadamente 1 millón de km<sup>2</sup> se encontraba ese día con lluvias y tormentas activas. En cambio, el pronosticador a cargo de la vigilancia para el Municipio de Quilmes se concentraba en el área de la cuenca Sarandí - Santo Domingo, que tiene un área de 240 km<sup>2</sup>. Para poder realizar pronósticos inmediatos sobre este área se debe concentrar el análisis en torno a 100 km de radio respecto del radar de Ezeiza. Es decir, el área a analizar se reduce a 31.400 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Esta diferencia de escala espacial permite realizar un análisis mucho más profundo y eso significa poder emitir pronósticos y brindar servicios de mayor calidad. La comunicación también se ve favorecida: el pronosticador no se ve limitado a las características predefinidas del ACP (ver de Elía y otros, 2021a). Esto le permite actualizar la información con mucha más frecuencia, lo que favorece la toma de decisión de los usuarios, y puede además mantener un diálogo con los usuarios, asesorarlos y así despejar sus dudas.

Estas experiencias son ejemplos que muestran que la capacidad profesional, científica y tecnológica de trabajar a una escala más pequeña que la cubierta por los ACP se encuentra disponible en el SMN. Limitaciones como un software integrador o una mayor cantidad de estaciones meteorológicas ya fueron nombradas, pero la mayor limitación es la cantidad de oficinas y de pronosticadores disponibles, lo cual también es apreciable en las Tabla 1 y 2 del presente texto.

<b>AVISO A CORTO PLAZO</b>	28/11/2020 a las 10:23 HOA
<p style="font-size: small; color: gray;">EL AREA GRAFICADA EN EL MAPA DELIMITA LA OCURRENCIA DE:</p> <p style="color: red; font-weight: bold;">TORMENTAS FUERTES CON LLUVIAS INTENSAS, RAFAGAS Y OCASIONAL CAIDA DE GRANIZO</p>	



**Fig. 15:** ACP emitido el 28/11/2020 a las 10:23 HOA para una región del noreste de la Provincia de Buenos Aires (se incluye además a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

## 8. Análisis sobre las operaciones actuales y futuras de CPI

A lo largo de esta nota técnica, se analizó cómo es operado el pronóstico inmediato por otros SMNs del mundo y se realizó una revisión de la situación actual de los ACP. En particular, se hizo foco en analizar las capacidades de los SMNs (recursos humanos, cantidad de oficinas de acuerdo al tamaño del país, etc). También se investigaron algunas estrategias adoptadas por otros SMNs cuando proveen servicios relacionados a los pronósticos inmediatos. En esta sección se analizará la operación de CPI desde el punto de vista de la cantidad de profesionales y oficinas, y se plantearán algunas posibles soluciones a implementar a futuro.

El fortalecimiento del plantel de pronosticadores en CPI entre 2015 y 2023 ha resultado en casi una duplicación del personal: de 9 a 20 pronosticadores. Este nivel de personal permite que haya siempre dos personas de turno las 24 horas del día, los 365 días del año. Cabe aclarar que la responsabilidad primaria de uno de estos pronosticadores es operar el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC, por sus siglas en inglés) Buenos Aires mientras que el segundo pronosticador estará a cargo del pronóstico inmediato y la emisión de ACPs. Si bien pueden existir colaboraciones entre ambos pronosticadores, esto estará limitado en función de la carga laboral simultánea de cada puesto. Aún con esta mejora relativa, el SMN de Argentina dedica entre 10 y 100 veces menos nowcasters por unidad de área que los SMNs de países con mayor desarrollo como EEUU, Japón, Alemania, etc (ver la sección 2 del presente texto). La escasez de meteorólogos en Argentina viene ocurriendo desde hace más de una década, situación que ha sido parcialmente mitigada por un plan de becas (El País

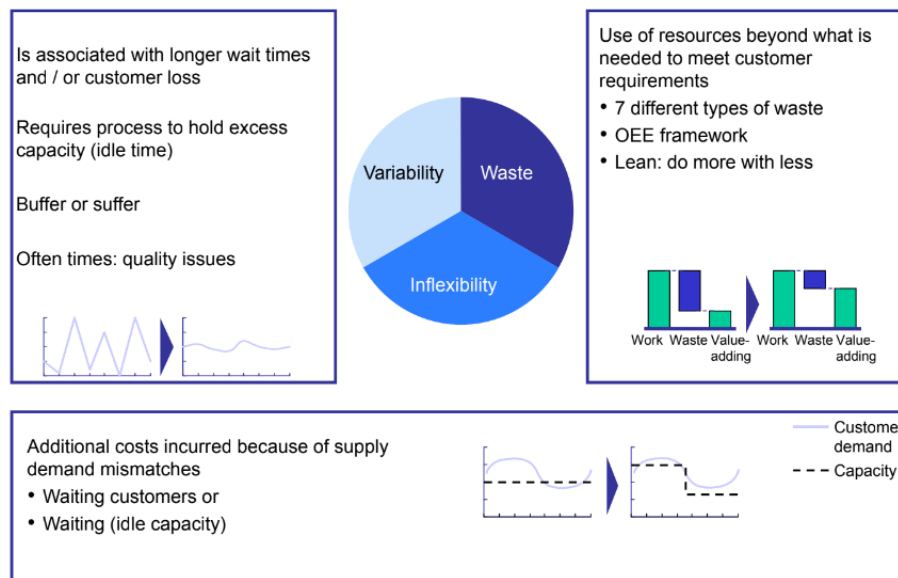
Digital, s.f). La perspectiva para los próximos 10 años, sin embargo, luce más promisorio en cuanto a futuros graduados dado que el dictado de la carrera de meteorología ya no es una exclusividad de la Universidad de Buenos Aires, sino que en el año 2013 se sumó la Universidad Nacional de La Plata y en el año 2019 se abrió la carrera en la Universidad Nacional de Los Comechingones. En 2024, la Universidad Nacional de Córdoba lanzó la Licenciatura en Hidrometeorología.

Cabe preguntarse cómo se modificarían las operaciones de CPI ante una eventual incorporación de 8 pronosticadores más. En ese caso, sería posible contar con un pronosticador de turno adicional durante las 24 horas dedicado al pronóstico inmediato y a la emisión de ACPs ante situaciones de tiempo severo generalizado. Las tareas entre pronosticadores podrían dividirse, por ejemplo, según el siguiente esquema: el pronosticador 1 opera el VAAC Buenos Aires, mientras que los pronosticadores 2 y 3 se dividen la cantidad de radares a vigilar (por ejemplo, divisiones entre el centro y norte del país o entre el este y oeste). Sin embargo, esta no sería una solución óptima. La solución superadora es aquella que permite adecuar la capacidad de trabajo de la oficina CPI a la “demanda” meteorológica. Esta modalidad consistiría en convocar a uno o dos pronosticadores de refuerzo a un turno de pronóstico que se espera que sea complicado desde el punto de vista meteorológico, y por lo tanto, con una mayor carga de trabajo. Modificar la capacidad de trabajo adoptando un esquema dinámico es una práctica estándar para solucionar este tipo de problemas (ver Figura 16). Al día de hoy existen trabas burocráticas que impiden implementar dicha solución.

Cabe resaltar que los otros “enemigos” de las operaciones nombrados en la Figura 16 ya han sido reducidos a través de distintos procesos: la variabilidad en los productos se ha reducido a través de capacitaciones a todo el personal que unifiquen su formación, y por lo tanto, su criterio. Además, todos los pronosticadores tienen acceso a una misma suite de productos y al mismo software de trabajo. También se ha generado de forma colectiva un primer criterio general de elaboración de ACPs, implementado en el año 2023. Este criterio establece líneas generales sobre el tamaño, la duración y la intensidad de los ACPs (tormenta fuerte o severa) para distintas situaciones meteorológicas. Respecto de reducir los desperdicios, a lo largo de los años se implementaron algunas prácticas. Por ejemplo, una de ellas fue poder graficar el polígono del ACP sobre la imagen de radar (funcionalidad disponible para 10 de los 16 radares operativos) lo que aumenta la precisión del producto. Un segundo ejemplo es el chequeo automático de errores de formato implementado en el año 2023 (los errores de formato más comunes fueron identificados en Ishikame y otros (2022)), lo que evita la difusión de ACP con errores.

Otro factor a la hora de decidir sobre el desarrollo del pronóstico inmediato en el SMN es considerar la escalabilidad en el mediano plazo: es decir, si se continúa incorporando pronosticadores a CPI y se consigue tener 4 pronosticadores de turno durante las 24 horas o se logra implementar los “turnos dinámicos”, se debe poder continuar con el crecimiento y la mejora de los servicios brindados de forma modular, es decir, sin cambiar toda la dinámica ya existente en los demás roles de CPI. Una posible solución para poder crecer de forma modular es la apertura de oficinas de pronóstico inmediato para los grandes centros urbanos del país. Esta solución adoptaría la estrategia utilizada por el BOM de Australia y permitiría operar en la escala del pronóstico inmediato del mismo modo que los SMNs más desarrollados (inferior a 100.000 km<sup>2</sup>). Este crecimiento además permite establecer una priorización siguiendo un criterio de cantidad de habitantes. Es decir, la primera oficina regional se debería abrir en el centro urbano con mayor población (el AMBA), luego continuar con el segundo centro urbano más poblado (Gran Córdoba), y así continuar el camino hacia la regionalización a medida que el SMN adquiera los recursos necesarios. Cabe aclarar que este tipo de priorización es similar a la definida por otros sectores (por ejemplo, la apertura de aeropuertos, hospitales de alta complejidad, universidades, bancos, oficinas de organismos nacionales para trámites, etc. suelen seguir un orden de prioridad que viene dado por la densidad de población de cada centro urbano).

## The Three Enemies of Operations



**Fig. 16:** Los tres enemigos de las operaciones: la variabilidad, los desperdicios y la inflexibilidad. La inflexibilidad en la capacidad de trabajo cuando hay una mayor demanda (tener más pronosticadores de turno en situaciones de tormentas generalizadas) es uno de los mayores problemas a resolver en las operaciones de CPI. Fuente: Curso “Introduction to Operations Management”, dictado por Wharton School a través de Coursera.

Existen otros factores sobre los cuales no se pudo profundizar, pero que también indican que el desarrollo de oficinas de pronósticos para los grandes centros urbanos podría ser una estrategia adecuada a seguir. Por ejemplo, en los grandes centros urbanos suele existir una mayor cantidad de estaciones meteorológicas automáticas y otros sensores que en áreas rurales, dado que han sido instalados por gobiernos locales u otros centros de investigación. Otro aspecto a considerar se atribuye a las protecciones civiles de los centros urbanos, que suelen ser más robustas (tienen más recursos para actuar), y por lo tanto tienen una mayor capacidad de respuesta y despliegue ante pronósticos inmediatos de mayor grado de detalle. Finalmente, un tercer factor a considerar es que los datos medidos por el radar meteorológico, el instrumento ideal para realizar nowcasting de acuerdo a OMM (2017), tienen mayor calidad en zonas cercanas al radar (a menos de 150 km de radio). A su vez, los radares se encuentran instalados dentro de los grandes centros urbanos o a poca distancia de los mismos, por lo que en dichos centros la calidad de los datos es alta.

## 9. Conclusiones

La evolución del nowcasting en los próximos años es un tema que también se discute en otras regiones del mundo, como por ejemplo en Bojinski y otros (2023). Brasil se encuentra realizando una serie de debates sobre el nowcasting de tormentas, con el objetivo de proponer pautas para el desarrollo de un sistema de nowcasting en dicho país (Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas, s.f). La presente nota técnica recolecta y aporta un conjunto de ideas y análisis al debate, pero centrados en el contexto del SMN de Argentina. En función de lo analizado hasta el momento se han identificado tres ejes sobre los cuales podría avanzar el desarrollo del pronóstico inmediato de tormentas severas:

- **Regionalización.** Esto incluye la apertura de oficinas de pronóstico con personal dedicado para realizar el pronóstico inmediato en regiones definidas del país. Está fuertemente condicionado por el grado de incorporación de pronosticadores y recursos humanos para cubrir dichas oficinas regionales. Tampoco resulta del todo sencillo definir una cantidad óptima de pronosticadores a incorporar en un esquema de oficina de pronóstico centralizada como el que opera actualmente en el SMN de Argentina, ya que previamente es necesario decidir cuáles serán las regiones del país y los usuarios que se deseen priorizar de acuerdo a la visión estratégica.
- **Avance científico-tecnológico.** Este eje abarca el desarrollo de productos derivados que asistan en el análisis de los datos y en la generación automática del polígono del ACP. Incluye además la mejora de las herramientas tecnológicas necesarias para el trabajo operativo que realizan los pronosticadores.
- **Priorización de usuarios.** Aún en el caso de tener una mayor cantidad de personal de manera centralizada o en futuras oficinas de pronóstico regionales, se debe considerar a qué usuarios se les dará un mayor nivel de servicios. Este tipo de elecciones estratégicas deben buscar maximizar el impacto que los ACP tienen en la sociedad.

Cabe aclarar que los ejes son complementarios entre sí. Es decir, si se realizan desarrollos científico-tecnológicos sin avanzar en la regionalización ni se prioriza un grupo de usuarios sobre otros, entonces esto igual permitirá una mejora en el nowcasting. Sin embargo, la combinación de estos ejes es necesaria para producir una sinergia que potencie los servicios brindados.

Para cerrar, se espera que el pronóstico inmediato continúe siendo -al menos por los próximos 5 años- una tarea realizada por pronosticadores. Sin embargo, el aprendizaje automático (del inglés machine learning) aplicado a la meteorología tiene el potencial de ser un disruptor en el pronóstico inmediato de tiempo severo. El SMN de Argentina debe estar atento a posibles desarrollos que permitan avanzar en la aplicación de estas técnicas en el nowcasting.

## 10. Referencias

Arruti, A., García Skabar, Y., Ruiz, J., y Vidal, L., 2022: Nowcasting en base a extrapolación de datos de radar. Nota técnica SMN 2021.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/2433>

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (Consejo de Meteorología, Climatología y Geofísica) (s.f.) Apakah yang dimaksud informasi nowcasting? (¿Qué se entiende por información de predicción inmediata?) <https://nowcasting.bmkg.go.id/nowcast/tanya-jawab.html>

Bojinski, S., Blaauboer, D., Calbet, X., de Coning, E., Debie, F., Montmerle, T., Nietosvaara, V., Norman, K., Bañón Peregrín, L., Schmid, F., Strelec Mahović, N., y Wapler, K., 2023: Towards nowcasting in Europe in 2030. *Meteorological Applications*, 30(4), e2124. <https://doi.org/10.1002/met.2124>

Bureau of Meteorology, s.f.: Severe Thunderstorm Warning Services. [http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/WarningsInformation\\_SW\\_STSW.shtml](http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/WarningsInformation_SW_STSW.shtml)

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

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/625>

de Elía R., Lohigorry P., Anaya D., Guerrieri, J. M. y Saucedo M., 2021a: El tratamiento implícito de la incertidumbre en los pronósticos del SMN. Nota Técnica SMN 2021-85.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/1531>

de Elía R., Lohigorry P., Guerrieri J., Chasco J., Saucedo M., Cerrudo, C. y Anaya D., 2021b: El uso de código de colores en alertas meteorológicas. Nota Técnica SMN 2021-108.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/1722>

Demeritt, D., 2012: The perception and use of public weather services by emergency and resiliency professionals in the UK. Report for the Met Office Public Weather Service Customer Group.

<https://www.doi.org/10.13140/RG.2.2.12449.15208>

Deutscher Wetterdienst, s.f.: Support of the weather warning process with AutoWARN.

[https://www.dwd.de/EN/research/weatherforecasting/met\\_applications/warning\\_case\\_autowarn/support\\_warning\\_case\\_autowarn\\_node.html](https://www.dwd.de/EN/research/weatherforecasting/met_applications/warning_case_autowarn/support_warning_case_autowarn_node.html)

El País Digital, s.f.: Las mejores becas del país se dan para estudiar meteorología y oceanografía en la UBA. <https://www.elpaisdigital.com.ar/contenido/las-mejores-becas-del-pas-se-dan-para-estudiar-meteorologa-y-oceanografa-en-la-uba/29048>

Ernst, S., D. LaDue, and A. Gerard, 2018: Understanding emergency manager forecast use in severe weather events. J. Operational Meteor., 6 (9), 95-105.

<https://doi.org/10.15191/nwajom.2018.0609>

Giménez D., Rugna M., Vidal L., de Elía R. y Giordano L., 2021: Desarrollo e implementación del producto RQPE-RMA. Nota Técnica SMN 2021-104.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/1693>

Government of Canada, s.f.: Criteria for public weather alerts. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/types-weather-forecasts-use/public/criteria-alerts.html>

Harrison, D. R., y Karstens, C. D., 2017: A Climatology of Operational Storm-Based Warnings: A Geospatial Analysis. Wea. Forecasting, 32, 47–60, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0146.1>

Hobouchian M. P., García Skabar Y., Barrera D., Vila D., y Salio, P., 2015: Estimación de precipitación por satélite aplicando la técnica Hidroestimador en su versión para Sudamérica. Nota Técnica SMN 2015. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/129>

Hobouchian M. P., García Skabar Y., Rugna M., Vidal L. y Salio, P., 2018: Sistema para el cálculo de la precipitación a partir de sensores remotos. Nota Técnica SMN 2018.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/806>

Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas, s.f.: The Brazilian Scientific Committee of Nowcasting. <https://sites.google.com/iag.usp.br/nowcastingwebinars/the-brazilian-scientific-committee-of-nowcasting>

Iowa State University, s.f. E: Storm Based Warning Geometry Statistics. <https://mesonet.agron.iastate.edu/cow/sbwstats.phtml>

Ishikame, G., Lohigorry, P., Irurzun, P., Pappalardo, L., Sanchez Marino, M., Russian, G. y de Elía, R., 2019: Pronósticos a muy corto plazo en el apoyo meteorológico a los JJOO de la Juventud Buenos Aires 2018. Nota Técnica SMN 2019-54.



<http://hdl.handle.net/20.500.12160/983>

Ishikame, G., Lohigorry, P. y Pappalardo, L., 2022: Caracterización de los Avisos meteorológicos a muy Corto Plazo en el Período 2014-2021. Nota Técnica SMN-134.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/2202>

Jabatan Meteorologi Malaysia (Departamento de Meteorología de Malasia), s.f.:

<https://www.met.gov.my/?lang=en#thunderstorm>

James, P. M., Reichert, B. K., y Heizenreder, D., 2018: NowCastMIX: Automatic Integrated Warnings for Severe Convection on Nowcasting Time Scales at the German Weather Service, *Weather and Forecasting*, 33(5), 1413-1433.

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/33/5/waf-d-18-0038\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/33/5/waf-d-18-0038_1.xml)

Japan Meteorological Agency, s.f.: 防災気象情報と警戒レベルとの対応について (Respecto a la correspondencia entre la información meteorológica para la prevención de desastres y los niveles de alerta). <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/alertlevel.html>

Japan Meteorological Agency, s.f.: 気象警報・注意報 (Advertencia/aviso meteorológico).

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/warning.html>

Kuster, C. M., Heinselman, P. L., Snyder, J. C., Wilson, K. A., Speheger, D. A., y Hocker, J. E., 2017: An Evaluation of Radar-Based Tornado Track Estimation Products by Oklahoma Public Safety Officials, *Weather and Forecasting*, 32(5), 1711-1726.

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/32/5/waf-d-17-0031\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/32/5/waf-d-17-0031_1.xml)

Lohigorry P., de Elia R., y Russian G., 2018: Pronóstico de muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2018-46.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/649>

Menalled, M., Lohigorry, P., Borzi Spagnolo M. C., Pintos, R. G., Kazimierski, L., Lagos, M., Ishikame, G., Bazzano, V., Irurzun, P., Sarti, S., Villaroel, L. y Re, M., 2023: Integración de información de impacto socio ambiental en el seguimiento de eventos hidrometeorológicos para la mejora en la provisión de pronósticos y alertas de corto plazo. Proyecto SMN-INA-DCMQ. Nota Técnica SMN 2023-153.

<http://hdl.handle.net/20.500.12160/2623>

MetService, s.f.: Warnings and Watches. <https://www.metservice.com/warnings/home>

MetService New Zealand, 14 de abril 2018: Facebook. What is a Severe Thunderstorm Warning?.

<https://www.facebook.com/MetService/posts/-what-is-a-severe-thunderstorm-warning-it-seems-a-bit-funny-writing-this-at-the-/1807299332665450/>

MetService New Zealand, 6 de diciembre 2019: Facebook. Severe thunderstorm warning issued.

<https://www.facebook.com/MetService/posts/2771259546269419>

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente - Federación Rusa) (2019). ПО КРАТКОСРОЧНЫМ ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ (Instrucción para las predicciones meteorológicas a corto plazo - Propósito General).

<https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/RHM/nast-KPP-2019.pdf>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2012: Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. University Corporation for Atmospheric Research.

[https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=1061](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=1061)

New Straits Times, 2017: Thunderstorm warning issued for Perak, Terengganu, Pahang and Johor.

<https://www.nst.com.my/news/nation/2017/12/318710/thunderstorm-warning-issued-perak-terengganu-pahang-and-johor>

National Weather Service (NWS), s.f. A: National Weather Service Storm Based Warnings .

<https://www.weather.gov/media/pah/WeatherEducation/stormbased.pdf>

NWS, s.f. B: Severe Weather Definitions. <https://www.weather.gov/bgm/severedefinitions>

NWS, s.f. C: Warning Criteria. [https://www.weather.gov/car/Warning\\_Criteria](https://www.weather.gov/car/Warning_Criteria)

NWS, s.f. D: Watch/Warning/Advisory Definitions.

[https://www.weather.gov/otx/Watch\\_Warning\\_Advisory\\_Definitions#Severe%20Thunderstorm%20Warning](https://www.weather.gov/otx/Watch_Warning_Advisory_Definitions#Severe%20Thunderstorm%20Warning)

NWS, s.f. E: WFO Severe Weather Products Specification. National Weather Service Instruction 10-511. Operations and Services. Public Weather Services, NWSPD 10-5

<https://www.nws.noaa.gov/directives/sym/pd01005011curr.pdf>

NWS, 2017: Operations and Workforce Analysis Catalog, 132 pág.

[https://www.weather.gov/media/nws/OWA\\_Catalog\\_09072017.pdf](https://www.weather.gov/media/nws/OWA_Catalog_09072017.pdf)

NWS, 2018: Impact-Based Decision Support Services for NWS Core Partners. National Weather Service (NWS) Service Description Document (SDD), 24 pág.

[https://www.weather.gov/media/coo/IDSS\\_SDD\\_V1\\_0.pdf](https://www.weather.gov/media/coo/IDSS_SDD_V1_0.pdf)

National Weather Service Training Center. (s.f.). Severe Weather Radar Identification and Signatures - Integrated Services Program for Integrated Data Acquisition (I-SPIDA).

<https://training.weather.gov/wtdt/courses/rac/severe/i-spida/story.html>

OMM Radar Database, s.f.: Countries. [https://wrd.mgm.gov.tr/Countries/All\\_Countries](https://wrd.mgm.gov.tr/Countries/All_Countries)

OMM, 2012: Guide to Agricultural Meteorological Practices.

<https://library.wmo.int/idurl/4/35689>

OMM, 2014: La estrategia de prestación de servicios de la OMM y su plan de aplicación.

<https://library.wmo.int/idurl/4/59793>

OMM, 2016: Applying a service-oriented approach to the development of nowcasting capabilities.

<https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/amp/pwsp/documents/NOWCASTINGSYSTEMSET-SPIIv05FINAL.pdf>

OMM, 2017: Guidelines for Nowcasting Techniques.

<https://library.wmo.int/idurl/4/55666>

OMM, 2022: Future of National Meteorological or Hydrometeorological Services: Evolving roles and responsibilities. WMO-No. 1294, 251 pp.

<https://library.wmo.int/idurl/4/57995>

Porter, M. E., 1996: "What Is Strategy?" Harvard Business Review 74, no. 6 (November–December 1996): 61–78.

Richter, H., 2007: The severe thunderstorm forecast and warning process in Australia. [https://www.researchgate.net/publication/237425347\\_The\\_severe\\_thunderstorm\\_forecast\\_and\\_warning\\_process\\_in\\_Australia](https://www.researchgate.net/publication/237425347_The_severe_thunderstorm_forecast_and_warning_process_in_Australia)

Rodríguez A., Lacunza C., Serra J. J., Saulo C., Ciapessoni H., Caranti G., Bertoni J. C., y Martina, A., 2017: SiNaRaMe: El Primer Sistema Integrado de Radares Hidro-Meteorológicos de Latinoamérica. Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, 4(1), 41. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/14614>

Rugna, M. y Vidal, L., 2022: Evaluación preliminar de algoritmos de detección de granizo con radar meteorológico en banda C. Póster presentado en CONGREGMET XIV. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2439>

Saucedo, M., 2022: Implementación del sistema PIMET: un cambio de paradigma en el SMN. Nota Técnica SMN 2022-124. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1838>

Servicio Meteorológico Nacional, 2020: Curso de Interpretación de imágenes de radar para la detección de patrones de tiempo severo.

Servicio Meteorológico Nacional, s.f.: Aviso de potencial de tormentas. <https://smn.conagua.gob.mx/es/pronosticos/avisos/>

Stensrud, D. J y otros, 2009: Convective-Scale Warn-on-Forecast System. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 1487–1500. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2795.1>.

Stumpf, G. J. y A. E. Gerard, 2021: National Weather Service Severe Weather Warnings as Threats-in-Motion. Wea. Forecasting, 36, 627–643. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0159.1>

World Bank (WB) Global Facility for Disaster Reduction & Recovery (GFDRR), 2016: Modernization of Meteorological Services in Japan and Lessons for Developing Countries (p. 40). <https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Met%20report.pdf>

## 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](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto: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](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).