



Pronóstico sin discontinuidades en el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina

Nota Técnica SMN 2023-154

A. A. Godoy, C. Cerrudo, L. Aldeco, M. M. Alvarez Imaz, A. G. Cejas, D. D'Amen, L. Ferreira, P. M. Lohigorry, M. Menalled, S. Osores, M. Saucedo, M. M. Skansi, R. Vasques

Servicio Meteorológico Nacional

Diciembre 2023

Información sobre Copyright

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

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

Resumen

En este trabajo se presenta un relevamiento de los principales productos de pronóstico y herramientas utilizadas en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en las diferentes escalas temporales involucradas, desde el corto plazo hasta el pronóstico estacional, así como también ejemplos de aplicaciones con usuarios específicos. Dicho relevamiento tiene como objetivo conocer cuál es el punto de partida de información y recursos con los que cuenta el SMN para poder ofrecer productos y servicios desde una perspectiva sin discontinuidades, teniendo en cuenta las dificultades y desafíos que este nuevo enfoque conlleva. Los resultados del relevamiento muestran, por ejemplo, que actualmente hay una gran brecha entre los Avisos a Corto Plazo y los Alertas, especialmente en términos de la continuidad temporal en la emisión de los productos. Por otra parte, en el mediano plazo, falta avanzar en el pronóstico mensual para complementar entre el semanal y el estacional. El enfoque sin discontinuidades también se puede trabajar desde el punto de vista de los productos, y es necesario realizar mejoras en la visualización y comunicación de los productos actuales para facilitar que los tomadores de decisión puedan acceder a un pronóstico en distintos plazos de tiempo. Para lograr esto es fundamental conocer las necesidades de los usuarios, trabajar de forma conjunta en la mejora continua de los productos y en la utilidad de que un pronóstico se ajuste al concepto sin discontinuidades.

Abstract

This work presents a revision of the main forecasting products and tools used in the NMS at the different time scales involved, from nowcasting to seasonal forecasting, as well as examples of applications with specific users. This revision aims to show which are the starting points of information and resources the NMS has, to be able to offer products and services from a seamless perspective, including the difficulties and challenges that this new approach entails. One of the results of the study is, for example, that there is currently a large gap between nowcasting and warnings, especially in terms of temporal continuity in the issuance of products. On the other hand, in the medium term, progress needs to be made in the monthly forecast to complement the weekly and seasonal forecast. The seamless approach can be carried out from the product perspective, and improvements need to be made to the visualization and communication of current products to make it easier for decision makers to access a forecast in different time frames. To achieve this, it is essential to take knowledge of user's needs, joint work on continuous improvement of products and the usefulness of a forecast adjusting to the seamless forecast concept.

Palabras clave: pronóstico sin discontinuidades, modelos numéricos, productos de pronóstico

Citar como:

Godoy, A. A., C. Cerrudo, L. Aldeco, M. M. Alvarez Imaz, A. G. Cejas, D. D'Amen, L. Ferreira, P. M. Lohigorry, M. Menalled, S. Osores, M. Saucedo, M. M. Skansi, R. Vasques, 2023: Pronóstico sin discontinuidades en el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. Nota Técnica SMN 2023-154.

1. INTRODUCCION

Históricamente, ha habido una clara división entre el tiempo meteorológico y el clima, aunque para ambos se usan herramientas numéricas similares para prever su evolución. Por un lado, la predicción del tiempo hace referencia a lo que ocurrirá en un plazo desde unas pocas horas hasta un máximo de diez días. El pronóstico del clima, por el otro, se refiere a la predicción de las fluctuaciones climáticas promediadas durante un trimestre o más.

El concepto de **predicción sin discontinuidades o predicción sin costuras** propone dejar de pensar de forma aislada los pronósticos de corto, mediano y largo plazo, para pasar a una provisión de productos en distintas escalas de tiempo más integrada, consistente, independientemente del método utilizado o de los tiempos de entrega involucrados. Actualmente se está produciendo una convergencia, impulsada tanto por las necesidades de mejora continua de los propios SMHN, como de los usuarios, que naturalmente tienen lugar en un continuo de escalas de tiempo y espacio.

En este sentido, la predicción sin discontinuidades propone la provisión de productos y servicios desde el muy corto y corto plazo (horas - diez días), hasta la escala trimestral, cubriendo también el período subestacional (hasta cuatro semanas). La inclusión del intervalo de tiempo subestacional contribuye a disminuir la brecha entre el tiempo y el clima.

Según recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su documento **“Predicción sin discontinuidades del sistema terrestre: de minutos a meses”** (OMM 2015), el proceso hacia los pronósticos sin discontinuidades involucra avances en diversos aspectos, tales como: observaciones y asimilación de datos, predicción numérica, impactos relacionados con los fenómenos meteorológicos, y comprensión de los procesos y técnicas de toma de decisiones. En relación con el último de los aspectos mencionados, las mejoras en el suministro de información meteorológica deben traducirse en un mejor uso de esta información en la toma de decisiones.

La información provista tiene utilidad en la mitigación de los impactos producidos por los fenómenos meteorológicos sólo si se traduce en productos adecuados para los usuarios finales y se comunica en una manera que permita su integración directa en el proceso de toma de decisiones. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de estrategias de comunicación para transmitir la información de forma tal que contribuya a que los usuarios finales puedan gestionar los riesgos con más eficacia. Para lograr dicho objetivo es fundamental la co-producción de los productos y servicios de forma interdisciplinaria y con los usuarios de la información (Ruti y otros 2020).

Además, teniendo en cuenta que, en el contexto de un cambio climático, se observa un aumento de los eventos extremos, es necesario orientar los productos considerando la interacción de escalas y generar nuevas herramientas de pronóstico sin discontinuidades considerando el impacto que produce en la población. Este cambio de perspectiva representa una gran oportunidad para ayudar a los tomadores de decisión, ya que la provisión de pronósticos en diferentes plazos es relevante para diferentes tipos de decisiones.

Por ejemplo, un pronóstico estacional podría ser de utilidad para la elección de plantación de un determinado tipo de cultivo, mientras que los pronósticos subestacionales podrían ayudar a programar el riego y la aplicación de los pesticidas/fertilizantes. En situaciones donde los pronósticos estacionales ya están en uso, los pronósticos subestacionales podrían ser utilizados como actualizaciones. Por otra parte, los pronósticos

subestacionales permiten una potencial oportunidad de extender a un plazo más largo el pronóstico de fenómenos que son más típicos del corto plazo, como las inundaciones.

Un ejemplo en el contexto del sector humanitario y la gestión de riesgo de desastres, el Instituto Internacional de Investigación para el clima y la sociedad (IRI por sus siglas en inglés) y la Cruz Roja (Goddard y otros, 2014) desarrollaron un enfoque llamado Ready-Set-Go (Preparados-Listos-Ya) para la integración de esta información en el proceso de toma de decisión.

Dicho enfoque plantea para cada instancia un conjunto de acciones a llevar a cabo a partir de la provisión de los pronósticos en distintos plazos de tiempo:

PREPARADOS: *dado el pronóstico estacional, dispara el monitoreo de los pronósticos subestacionales y a corto plazo. Actualización de planes de contingencia, entrenamiento de voluntarios, sensibilización de la comunidad, habilitar sistemas de alerta temprana.*

LISTOS: *dado el pronóstico subestacional, continuar con el monitoreo de los pronósticos a corto plazo. Alertar voluntarios, advertir a las comunidades, actividades de preparación a nivel local.*

YA: *dado el pronóstico a corto plazo, desplegar voluntarios, distribuir instrucciones en las comunidades, evacuar si es necesario.*

El ejemplo anterior pone en evidencia que para que esta información sea de utilidad es necesario adaptarla según las necesidades de los usuarios finales, y comunicarla de forma tal que permita su integración directa en el proceso de toma de decisiones. Cabe señalar que no necesariamente ocurren las tres instancias de preparación, esto dependerá tanto de la capacidad de predicción de los eventos, como de los tiempos empleados por los usuarios para realizar sus acciones.

El desafío del pronóstico numérico sin discontinuidades

En las últimas décadas las investigaciones muestran una mejora en el conocimiento de las fuentes de predictibilidad en la escala semanal a mensual, que era una brecha entre el pronóstico diario y el estacional. En consecuencia, aparece el pronóstico subestacional a estacional (S2S) o pronóstico intraestacional. En esta escala se observa una fuerte interacción entre los forzantes de la escala sinóptica y la escala estacional, como por ejemplo la Oscilación de Madden Julian (MJO), el modo anular del Sur (SAM), patrones de circulación estacionaria, entre otros. Los diferentes forzantes del sistema climático y las condiciones del suelo, el mar, el hielo, entre otros, pueden favorecer el aumento de la habilidad de los modelos numéricos en predecir los fenómenos meteorológicos (Figura 1). En consecuencia, permite obtener ventanas de oportunidad para pronosticar las variables de interés en plazos más largos.



Fig. 1: Esquema de la habilidad del pronóstico en función de las escalas de tiempo. Adaptado de White y otros 2017.

Los principales centros de modelado han pasado de ejecutar modelos separados para el tiempo y el clima (globales) a un enfoque de modelado unificado que permite una mejora en la representación de la gama de procesos físicos, que tienen lugar a través de múltiples escalas de tiempo y espacio. Tales desarrollos han requerido la aplicación de nuevos enfoques de la física de los modelos de pronóstico a corto plazo en alta resolución hasta en las predicciones y proyecciones de mayor plazo. También se aplicaron nuevos avances en la asimilación de datos que han llevado a mejoras en las condiciones iniciales de las simulaciones numéricas.

En el documento de la OMM (2021) se comenta sobre los avances en la predicción numérica del sistema terrestre y del tiempo al clima. La capacidad cada vez mayor de las computadoras y las nuevas soluciones de almacenamiento permitirán la transición a un enfoque de modelado multiescala. Los siguientes desarrollos que se detallan a continuación, han impulsado el avance en la última década:

- La comprensión científica y la disponibilidad de datos de observación han mejorado en gran medida la capacidad de predicción de fenómenos meteorológicos de alto impacto, como temporales (incluidas las tormentas tropicales), inundaciones costeras producto de la presencia de ciclones, fuertes precipitaciones e inundaciones, sequías y olas de calor, incendios forestales, contaminación y cenizas volcánicas. Muchos de estos eventos ya se han incluido en las aplicaciones de pronóstico ambiental, en función del factor de habilidad alcanzado (Ej. White y otros, 2022).
- Ha tenido lugar un incremento de complejidad en los modelos numéricos en términos de resolución (horizontal y vertical) y en la representación de los procesos físicos. Por otra parte, los modelos de predicción basados en Machine Learning se encuentran dando sus primeros pasos y que pueden abrir un nuevo campo para el avance del pronóstico a distintas escalas. La llegada de sistemas de

modelado oceánico más completos, una mejor representación de la criósfera, de la vegetación, del ciclo del carbono, y una mayor comprensión del papel de la atmósfera superior y las profundidades del océano han sido algunos de esos avances. Algunos modelos también han comenzado a incorporar retroalimentación bioquímica. En todo esto, el ciclo del agua sigue siendo la parte más crítica del sistema de la Tierra, y se han continuado los esfuerzos para mejorar todos los aspectos del ciclo del agua.

Un ejemplo del uso de un modelo unificado es el del servicio meteorológico del Reino Unido (Met Office) (<https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model>). Los principales beneficios que encuentran son la posibilidad de contar con un sistema para usos múltiples que reduce el esfuerzo de desarrollo y permite aplicar las mejoras realizadas para la ciencia del clima en nuestros sistemas de pronóstico del tiempo, y viceversa. La comprensión de los pronósticos a corto plazo se puede utilizar para aprender sobre el crecimiento del error y ayudar a estudiar el rendimiento de las simulaciones climáticas a largo plazo. También, el uso del mismo modelo para el modelado regional y global da confianza en que los mecanismos impulsores son consistentes.

Dentro del contexto dado por el panorama a nivel mundial del concepto de pronóstico sin discontinuidades expuesto anteriormente, la presente nota técnica tiene como objetivo hacer un relevamiento de las herramientas, productos y servicios que el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) desarrolla y emite actualmente, que pueden contribuir a una mejora en la provisión de los servicios con un enfoque sin discontinuidades.

En los siguientes capítulos se exponen los productos y herramientas que el SMN utiliza y emite en las distintas escalas temporales, y se presentan algunos ejemplos de aplicaciones a usuarios específicos, haciendo énfasis en la integración de distintas escalas en la provisión del servicio, en la medida de lo posible según el caso. Por último, en las conclusiones se destacan los desafíos que el SMN debe afrontar, identificados a partir del presente relevamiento, en términos de poder implementar un enfoque sin discontinuidades en la provisión de sus productos y servicios.

2. PRODUCTOS Y HERRAMIENTAS EN LAS DIFERENTES ESCALAS DE PRONÓSTICO DEL SMN

En este capítulo se presenta un relevamiento tanto de las herramientas de pronóstico numérico utilizadas para la elaboración de los pronósticos a distintas escalas, como también de los productos y servicios ofrecidos al público en general y usuarios específicos.

2.1 Modelos

En la actualidad el SMN no cuenta con un único modelo numérico propio sin discontinuidades desde el corto plazo hasta la escala estacional. En la institución se realizan previsiones en diferentes escalas temporales y espaciales, incluso utilizando modelos numéricos de otros centros de pronósticos del mundo.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características de los modelos numéricos que se procesan en el SMN. Además, se utilizan las salidas de los modelos numéricos de los principales centros mundiales de pronóstico como son el modelo Global Forecast System (GFS, determinístico y el ensamble GEFS) y el modelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (determinístico y el ensamble)

tanto en el mediano plazo como en la escala subestacional. Por otro lado, se utiliza el modelo global de calidad de aire del Copernicus Atmosphere Monitoring System (CAMS) del corto al mediano plazo (Peuch y otros, 2022). Para más detalles de las características de los modelos se puede consultar la Documentación GFS, Documentación GEFS y Documentación ECMWF. En menor medida se utilizan las salidas de otros modelos numéricos como el NAEFS, JMA, SUBX, entre otros.

Tabla 1: Resumen de los modelos numéricos que se corren en el SMN.

| Modelo | Resolución espacial | Escala temporal - Plazo de pronóstico | Actualización y paso temporal | Otras características destacadas y referencias |
|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| SAP.SMN (WRF) Determinístico | Regional. 4km en la horizontal y 45 niveles verticales. | Corto plazo - 72 hs | Operativo. Se corre 4 veces al día. | (Dillon y otros, 2020a) |
| SAP.SMN-ENS (WRF) Probabilístico | Regional. 4km en la horizontal y 45 niveles verticales. | Corto plazo - 48 hs | Operativo. Se corre 4 veces al día. | (Dillon y otros, 2020b) Ensamble de 20 miembros. |
| FALL3D | Regional. 0,25 km en la horizontal de 200 m hasta 1 km en la vertical | Muy corto plazo - 24 hs | A demanda | (Folch y otros, 2020) Modelo de dispersión de cenizas volcánicas y humo. |
| HYSPLIT | Regional 1° | Muy corto plazo - 18 hs | A demanda | (Stein y otros, 2015) Dispersión de cenizas volcánicas y humo. |
| WAVEWATCH III ® (Modelo de olas) | Entre 0.05° y 1° en la horizontal | Corto a mediano plazo - 4 días | Operativo. Se corre 4 veces al día. | (Etala y otros, 2014) Distintos parámetros integrados de las olas oceánicas |
| ANÁLOGOS (SMN) | 0.5° en la horizontal | Subestacional - 14 días | Operativo. Se corre 1 vez al día. | (Aldeco, 2011) |
| SMN.CPT y SMN.CPT.NMME | En puntos de estaciones meteorológicas | Estacional - trimestral | Operativo. Se corre una vez al mes. | (Herrera, 2022) |
| CRC-SAS.NMME y CRC-SAS.ECMWF | Resolución horizontal 1°x1° | Estacional - trimestral | Operativo. Se corre una vez al mes. | (Kirtman y otros, 2014) y Documentación |
| CLIMAX | Resolución horizontal 1°x1° | Estacional - trimestral | Operativo. Se corre una vez al mes. | (Osman, 2021) |

En el **muy corto plazo**, el SMN ejecuta los modelos de dispersión FALL3D (versiones 7.2 y 8.2) y el HYSPLIT, para el modelado de dispersión de cenizas volcánicas y plumas de humo. Dichos modelos se ejecutan a demanda cuando ocurre una erupción o hay un gran incendio y se actualizan cuando hay cambios significativos en la emisión. El modelo FALL3D puede ser ejecutado en diferentes dominios de acuerdo al tamaño de la emisión: 1) para plumas pequeñas se ejecuta en un dominio centrado en el volcán y 2) para plumas medianas o grandes se puede ejecutar en un dominio que abarca latitudes tropicales y medias o la región más austral. En cuanto al HYSPLIT, se utiliza principalmente para plumas de dispersión pequeñas y de corta duración.

En la escala del **corto plazo**, actualmente el SMN cuenta con un Sistema de Asimilación y Pronóstico numérico del SMN (SAP.SMN) operativo regional, con un esquema determinístico (Dillon y otros, 2020a) y probabilístico (SAP.SMN-ENS) (Dillon y otros, 2020b). El modelo de pronóstico utilizado es el Weather Research and Forecasting (WRF) con núcleo dinámico Advanced Research WRF (ARW) versión 4.0 desarrollado por National Center for Atmospheric Research (NCAR de sus siglas en inglés, Skamarock y otros, 2019). El objetivo de las salidas de estas previsiones numéricas es que puedan ser utilizadas por las diferentes áreas del SMN para generar los diversos productos y además es la información que se conservará para realizar verificaciones posteriores (Alvarez Imaz y otros, 2020). Durante el postprocesamiento del modelo SAP.SMN se realiza una corrección de los errores sistemáticos de la variable temperatura a 2 m y la intensidad del viento. Además, se generan imágenes satelitales sintéticas de los canales del GOES-16 a partir del pronóstico numérico del WRF utilizando el modelo de transferencia radiativa Community Radiative Transfer Model (CRTM, Weng y otros 2006).

Entre el **corto plazo y el mediano plazo**, el SMN corre el modelo de olas WAVEWATCH III® (Tolman 2009) que fue adaptado para los océanos australes, particularmente para la región del sudoeste del Atlántico Sur (Etala y otros, 2014). Además, se incluye el modelo de ondas de tormenta (Etala 2009 y Etala, 2000), que se ejecuta luego del modelo de olas, debido a que utiliza sus pronósticos como forzante. Por otro lado, se utiliza el pronóstico de dispersión de humo por quema de biomasa CAMS implementado por el ECMWF (Peuch et al., 2022). Como algunos de los resultados se brindan el espesor óptico de aerosol en 550 nm y la concentración de material particulado menor a 10 micrones, entre otros. Los productos se pueden descargar o visualizar desde la web del CAMS.

Entre el **mediano plazo y la escala subestacional**, el SMN utiliza las salidas del modelo global GFS y GEFS. Dichos datos se obtienen de las páginas de UCAR y Amazon Web Service (AWS), respectivamente. Los mismos son utilizados en diferentes áreas del SMN, tanto para el desarrollo de productos y servicios, como condiciones iniciales y de borde de los modelos regionales (Análogos, SAP.SMN, FALL3D, HYSPLIT y el modelo de olas y ondas de tormenta). Con respecto a la calibración, tanto para el GFS como para el GEFS se calibra la temperatura horaria a 2 m, la temperatura máxima y mínima a 2 m y la intensidad del viento a 10 m con la metodología "Regresión Adaptada basada en el filtro de Kalman" (RAFK, Cutraro y otros, 2020). Asimismo, se calibra la temperatura y la precipitación media semanal (semana 1 y 2) del GEFS. Al momento de realizar este informe, para el GFS se realiza la calibración de la precipitación acumulada diaria de manera semi-operativa (Righetti y otros, 2019).

En la escala **subestacional a estacional**, desde mediados de febrero de 2019 se encuentra operativo en la web del SMN el pronóstico semanal por análogos para la semana 1 (días 1-7) y semana 2 (días 8-14). Las variables pronosticadas son precipitación acumulada semanal y temperatura media semanal y sus anomalías. Para la aplicación de la técnica de análogos se utilizó una base de datos pronosticados del GEFS (pronósticos retrospectivos) y una base de datos observados de estaciones meteorológicas del SMN y del INTA (Instituto

de Tecnología Agropecuaria). La aplicación de esta técnica genera pronósticos calibrados (Aldeco, 2011), lo cual representa una ventaja respecto de utilizar las salidas de pronósticos sin calibrar.

En la escala **estacional**, el SMN produce pronósticos en escala trimestral (Herrera, 2022) a partir de la herramienta de predicción climática (Climate Predictability Tool – CPT) desarrollada por el International Research Institute for Climate and Society (IRI), Mason y otros (2017 y 2020). Hay dos tipos de modelos que son generados, uno puramente estadístico (SMN-CPT) y otro que combina el modelo estadístico con un modelo dinámico (SMN-CPT.NMME). En el marco del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS), se cuenta con dos modelos de predicción estacional basados en dos metodologías diferentes de calibración, el modelo CRC-SAS.NMME y el CRC-SAS.ECMWF. Por otro lado, el modelo CLIMAX, desarrollado por el equipo del CIMA (<http://www.cima.fcen.uba.ar/>) en el marco del proyecto CLIMAX (Osman et al., 2021) se basa en la calibración de los modelos que participan en el proyecto North American Multi-Model Ensemble.

2.2 Principales productos que se ofrecen al público en general y a usuarios específicos

En esta sección, se describe el estado actual de los principales productos que se ofrecen en la página web del SMN y el desarrollo de productos orientados a usuarios de diferentes sectores. Por ejemplo, el sector aeronáutico, sector marino y el sector agropecuario. Los productos fueron agrupados por escalas (muy corto plazo, corto plazo, mediano plazo, subestacional y estacional). Se incluye el detalle de las principales herramientas utilizadas en el desarrollo de los productos (ej. Radar y satélite) con el fin de identificar luego, cuáles son los desafíos a futuro para integrar o desarrollar productos de pronóstico sin discontinuidades. Al final del capítulo se muestra un esquema resumen de los productos y servicios en las diferentes escalas de pronóstico.

2.2.1 Productos en escala del muy corto plazo al corto plazo

2.2.1.1 Sistema de alerta temprana (SAT)

Avisos a muy corto plazo (ACP)

El SMN emite pronósticos en el muy corto plazo llamados Avisos a muy Corto Plazo (ACP; Lohigorry y otros 2018). Los ACP se emiten cuando se detectan tormentas fuertes o severas a través de sensores remotos (radar, satélite, sensores de actividad eléctrica), observaciones meteorológicas, reportes en redes sociales, entre otros. La validez de los ACP se ajusta al tipo de tormenta, por lo que puede ser 1, 2 o 3 horas a partir de su emisión. Este producto consiste en un área delimitada mediante un polígono, dentro del cual se incluye la posición de las tormentas que son consideradas fuertes o severas, así como la región que puede ser afectada en el plazo de validez del ACP a causa del movimiento de las tormentas. Mas detalles sobre las características de los ACP puede consultarse en Ishikame y otros (2022), mientras que la primera verificación se encuentra publicada en San Martino y otros (2019).

Las herramientas orientadas al pronóstico inmediato y corto plazo, fundamentales para el desarrollo de los ACPs, se destacan el radar y satélite que se detallan a continuación:

Radar

En los últimos años, la red argentina de radares meteorológicos se ha ampliado considerablemente a partir de la instalación de un número creciente de radares meteorológicos en el territorio nacional (de Elia y otros, 2017). Actualmente, la red nacional cuenta con quince (15) radares operativos de banda C, e incluye 3 radares pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME; Rodríguez y otros, 2017).

Los radares utilizados para el monitoreo del tiempo conforman la red operativa nacional (SINARAME e INTA) cuyos detalles pueden consultarse en de Elia y otros 2017. A los mismos se les aplica un control de calidad implementado de manera semi-operativa (Arruti y otros, 2021 y Sacco y otros, 2021).

Uno de los productos semi-operativos a partir de los datos de radar y utilizado en el pronóstico a muy corto plazo (nowcasting) es el Sistema de Extrapolación de Datos de Radar de Argentina (SEDRA). Este sistema, de uso interno, se basa en un modelo de pronóstico a partir de técnicas de extrapolación del campo de reflectividad medida por los radares meteorológicos, partiendo de la hipótesis de que la evolución de los sistemas precipitantes puede ser pronosticada en el muy corto plazo asumiendo persistencia lagrangiana (Arruti y otros, 2019). Al momento de escribir este texto, el sistema es aplicado a los radares RMA1, RMA2, RMA4, RMA6 e INTA Paraná, pero se prevé la aplicación paulatina al resto de los radares.

Satélite

Con respecto al monitoreo del tiempo con satélites, actualmente se utilizan los diferentes canales del sensor ABI a bordo del satélite GOES-16. Si bien se generan imágenes para cada uno de los canales, también se realizan combinaciones de diferentes canales para obtener imágenes RGB que facilitan la detección de ceniza, diferentes masas de aires, entre otros. Además, en el GOES-16 se encuentra el primer sensor en órbita Geostationary Lighting Mapper (GLM). Este sensor es un detector óptico en el espectro del infrarrojo cercano puede detectar los cambios momentáneos en una escena óptica, lo que indica la presencia de rayos con una resolución de 10 km. Actualmente, del sensor GLM se generan mapas semi-operativos de la variable densidad de grupo acumulada y reticulada para todo el país.

Alertas meteorológicas

El SMN emite además alertas meteorológicas, que son avisos especiales emitidos a la población ante eventos meteorológicos que puedan representar un riesgo para la vida y/o bienes de la población (Decreto 1432/2007). Estas alertas se emiten para los fenómenos de lluvia, tormenta, nevada, viento y viento zonda para todo el territorio continental del país incluidas las Islas Malvinas. Los alertas se emiten en 169 áreas meteorológicas definidas en la plataforma Pimet (Saucedo, 2022). Los avisos de alerta meteorológica constan de 4 niveles, un nivel verde que indica una situación sin alerta en vigencia, y los niveles amarillo, naranja y rojo, siendo este último el de mayor riesgo. Para la definición del nivel de alerta se utiliza una matriz de toma de decisión que sopesa la intensidad del fenómeno según una serie de umbrales, la presencia de un factor adverso que pueda aumentar el impacto del evento y el plazo de ocurrencia (Saucedo y otros, 2021). Los alertas se emiten a un plazo de hasta 3 días y se actualizan 2 veces al día, a las 6 y a las 18 horas, aunque eventualmente podrá haber actualizaciones fuera de estos horarios si la situación meteorológica lo requiere.

Alertas por temperaturas extremas

Existen además alertas por temperaturas extremas, por frío (Herrera y otros, 2022) y por calor (Herrera y otros, 2021), los cuales se emiten a 24 horas de plazo y se actualizan una vez al día a las 18 horas. Estos

alertas, a diferencia de los fenómenos mencionados anteriormente, se emiten según las observaciones de los últimos días y los pronósticos de los próximos 3 días.

Advertencias meteorológicas

Por otro lado, el SMN emite las advertencias meteorológicas para los fenómenos de reducción de visibilidad por presencia de niebla, humo, polvo o ceniza volcánica. A diferencia de los alertas, las advertencias constan de los niveles verde (sin advertencia) y el nivel violeta (advertencia activa). El plazo de emisión de las advertencias es de hasta 3 días.

2.2.1.2 Productos del sector aeronáutico

Las oficinas de pronóstico aeronáutico utilizan distintos tipos de información y herramientas a la hora de elaborar sus productos de pronósticos, advertencias y alertas aeronáuticos. La escala temporal de los pronósticos aeronáuticos va desde los minutos hasta 24 horas dependiendo del producto, y los mismos están disponibles antes del comienzo de validez del pronóstico. Entre ellos podemos destacar a los Sensores Remotos (por ejemplo, actividad eléctrica por satélite y productos en base a datos de radar), datos de observaciones de superficie y altura (datos AMDAR y cartas de CPI), modelos numéricos que se corren en el SMN (Ej. SAP-SMN y FALL3D para la VAAC Buenos Aires) y pronósticos de otros centros mundiales.

El usuario aeronáutico recibe datos/productos elaborados por las estaciones de la Dirección de Redes de Observación (DRO) del SMN tales como: METAR, SPECI, MET REPORT, MET SPECIAL. Por otra parte, tiene a su disposición los pronósticos, advertencias y alertas elaborados por las oficinas meteorológicas aeronáuticas que dependen de la Dirección de Meteorología Aeronáutica (DMA) del SMN ubicadas en distintos aeródromos del país. Por parte de la VAAC Buenos Aires se brinda el Aviso de Ceniza Volcánica en el marco de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) de la vigilancia de los volcanes en las aerovías internacionales (IAVW).

Los servicios meteorológicos aeronáuticos por normativa OACI deben cumplir en implementar un sistema de gestión de la calidad con alcance a estos servicios, por lo tanto, de acuerdo a la norma de gestión de calidad implementada es mandatorio tener un contacto regular con el usuario al que se le brinda el servicio meteorológico aeronáutico. Las herramientas que se utilizan son Encuestas de satisfacción del Servicio a medida según usuario, entre otras. Por otra parte, se realizan reuniones regulares con el prestador de los servicios de navegación aérea del país a quienes les prestamos el servicio de meteorología aeronáutica.

2.2.2 Productos en el corto a mediano plazo

2.2.2.1 Pronóstico a 7 días

El SMN ofrece en la corta/mediana escala un pronóstico meteorológico a un plazo de 7 días. Este pronóstico se elabora en 169 áreas o regiones meteorológicas en las cuales está dividida la Argentina utilizando la plataforma Pimet, mientras que en la dimensión temporal el pronóstico está dividido en 4 rangos horarios (mañana, tarde y noche) en las primeras 48 horas de plazo, y 2 rangos horarios (mañana y tarde/noche) en el plazo entre 3 y 7 días. Estos pronósticos constan de variables de tiempo significativo (lluvia, tormenta, nevada, ventisca, niebla/neblina, etc.), probabilidad de precipitación, temperatura y viento (dirección, velocidad y ráfagas). Existe una relación directa entre los pronósticos meteorológicos y los alertas meteorológicos, ya que dentro de la plataforma Pimet hay un control de

consistencia entre ambos productos, de forma que cuando el pronosticador decide generar un alerta en una dada región debe colocar el ícono correspondiente con la situación de alerta (tormenta fuerte, lluvia fuerte o nevada fuerte) y/o la intensidad de viento (en intensidad y/o ráfagas). Los pronósticos se actualizan 2 veces al día, a las 6 y a las 18 horas. Eventualmente se actualizan fuera de los horarios de rutina ante condiciones meteorológicas diferentes a las pronosticadas. Más detalles respecto al pronóstico meteorológico a corto/mediano plazo se puede encontrar en Saucedo (2022).

2.2.2.2 Navegación fluvial y marítima

Además del pronóstico para el público general, el SMN emite pronósticos para la navegación fluvial y marítima. En el caso del pronóstico fluvial se emiten para el área del Río de la Plata y para los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay. Para el Río de la Plata el pronóstico tiene un plazo de hasta 48 horas, mientras que en los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay tiene un plazo de 7 días. Las variables que contienen estos pronósticos son las mismas que para el pronóstico para el público general, aunque se le suma la visibilidad, la cual se calcula en forma automática a partir del pronóstico de tiempo significativo. Estos pronósticos se actualizan dos veces al día, a las 06 y a las 18 horas.

El pronóstico marítimo se emite en el área de la Metarea VI (35°50' S hasta la Antártida y desde 67° 16' W hasta 20°W). El pronóstico marítimo tiene un plazo de 24 horas y consta de avisos de temporal, una sinopsis y el pronóstico para cada región de la Metarea VI que contiene las variables de condiciones meteorológicas, vientos y visibilidad. Estos pronósticos se emiten a las 00 y a las 12 UTC.

2.2.2.3 Sector agropecuario

Finalmente, para el sector agropecuario se genera un pronóstico en forma de texto claro, el cual incluye fenómenos significativos, viento (dirección y velocidad) y temperaturas máxima y mínima. Este pronóstico tiene un plazo de hasta 3 días y contempla las áreas productivas del centro y norte del país. También se emiten otros pronósticos dedicados a usuarios específicos para el sector energético, recursos hídricos y medios de comunicación.

2.2.3 Productos en la escala subestacional a estacional (S2S)

2.2.3.1 Semanal

Para obtener el pronóstico semanal, se publica en la web del SMN el pronóstico de precipitación acumulada semanal y la temperatura media semanal con la técnica de análogos. En este pronóstico se utilizan datos del modelo GFS y datos en puntos de estación y se procedió al cálculo de análogos como en Aldeco (2011). Para el caso de la precipitación la búsqueda de análogos se realizó en un entorno de cada una de las estaciones meteorológicas involucradas, mientras que en el caso de temperatura media los análogos se buscan en el punto de retícula del modelo más cercano a la estación, como se propone en Hamill & Whitaker (2007). Para calcular las anomalías semanales se utilizan los datos observados en el período 2000-2019. Detalles acerca de la verificación de los pronósticos semanales de precipitación acumulada para las semanas 1 y 2 pueden encontrarse en Aldeco y otros, 2022. Actualmente se está trabajando en la verificación de la temperatura media.

Aplicación al Sector hídrico: Una vez por semana se envía un informe al Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y otras instituciones relacionadas con el sector. En el mismo se detalla en un texto el pronóstico para las siguientes 2 semanas de la precipitación prevista en las cuencas hidrológicas de interés, y se incluyen figuras del pronóstico probabilístico del modelo GEFS. Se destaca que en este caso hubo un codiseño con los usuarios como se detallan en el trabajo de Godoy y otros (2022).

2.2.3.2 Trimestral

Desde mediados de la década del 90 hasta la actualidad el Servicio Meteorológico Nacional realiza pronósticos estacionales o trimestrales y se divulgan a diferentes usuarios mediante una reunión mensual denominada “Reunión de Tendencia Climática”. El pronóstico por consenso lo realizan especialistas del SMN analizando las salidas de los modelos climáticos de los principales centros mundiales del clima, así como también los pronósticos estadístico y estadístico-dinámico que se generan en el organismo (Herrera, 2022). Las variables pronosticadas son precipitación y temperatura media trimestral en el formato de pronóstico probabilístico por terciles. Detalles acerca de la verificación de este pronóstico se pueden encontrar en Poggi y otros (2021).

Por otro lado, existen otros informes y reuniones mensuales donde se trabajó en el codiseño de un producto que incluye la información de previsiones diarias, semanales y trimestrales realizado en conjunto con el Instituto Nacional del Agua (INA) <https://www.ina.gov.ar/alerta/> (INFORME MENSUAL) y la Entidad Binacional Yacyreeta (Cerrudo y otros, 2023)

A continuación, se muestra en la Figura 2 un esquema en el que se resumen algunos productos, teniendo en cuenta las escalas de tiempo involucradas.

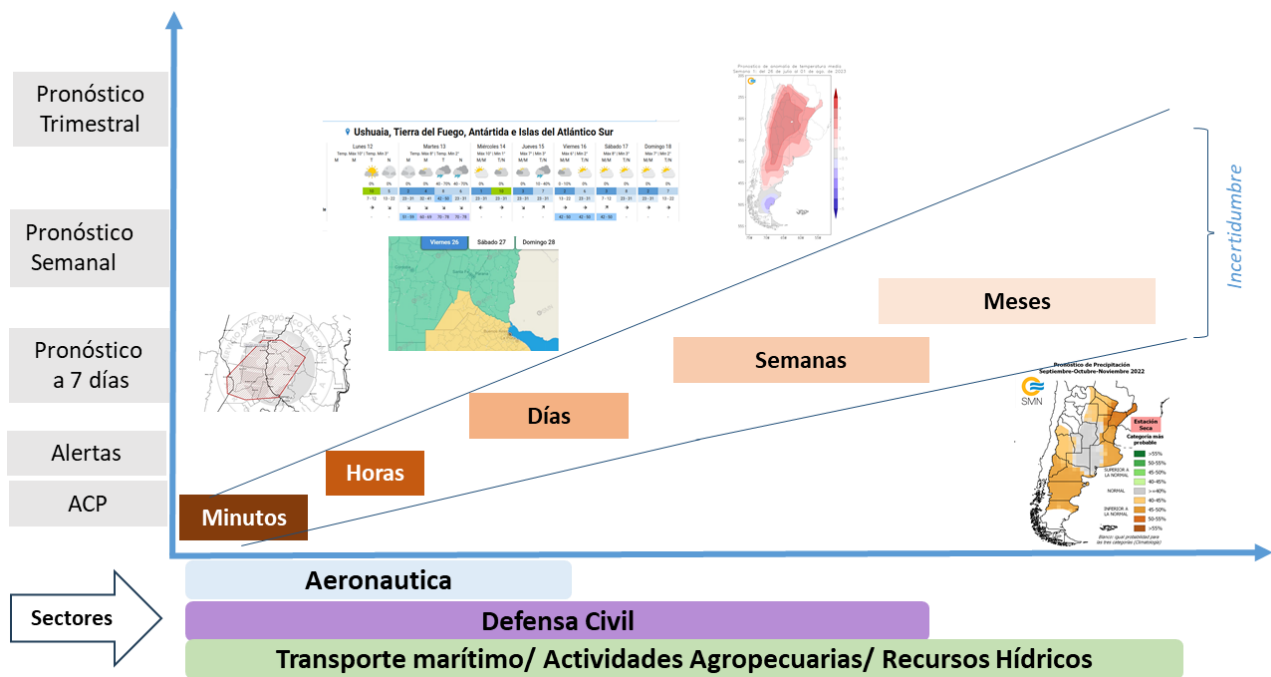


Fig. 2: Esquema donde se incluyen algunos productos y los sectores que utilizan los productos de pronósticos en las distintas escalas de tiempo involucradas.

3. APLICACIÓN DEL PRONÓSTICO EN DISTINTAS ESCALAS CON USUARIOS DEL SECTOR AGROPECUARIO, GESTIÓN DEL RIESGO Y SECTOR MARINO

En esta sección se presentan ejemplos de usos y aplicaciones de pronósticos a distintas escalas para tres sectores. En los mismos se identifican acciones/decisiones que se toman con cada producto dependiendo de la escala del fenómeno e interacciones con el usuario. En el caso del sector agropecuario se presenta en detalle cómo se puede integrar los pronósticos en diferentes escalas las distintas etapas del ciclo agrícola. Para el sector de gestión de riesgo y emergencias se muestra la metodología de trabajo utilizada para el codiseño del SAT con los usuarios y el relevamiento de otros productos desde el corto plazo a la escala estacional. Por último, si bien en el sector marino ya existe un trabajo con el intermediario, se enfatizan los desafíos en la toma de decisiones de los navegantes.

3.1 Sector agropecuario

A lo largo de una campaña agrícola el productor deberá tomar decisiones para lo cual debe identificar a qué escala temporal corresponde la decisión y, por lo tanto, conocer con cuáles indicadores meteorológicos o climático podrá contar y con cuáles no (Basualdo, 2015). A continuación, se muestra cuáles son las distintas herramientas de pronóstico para el caso del ciclo agrícola que se presentan en la Figura 3, que contempla las siguientes etapas 1) planificación de cultivo y adquisición de insumos; 2) preparación del suelo y la siembra; 3) monitoreo continuo del desarrollo del cultivo; 4) cosecha; 5) procesamiento, almacenamiento y venta.

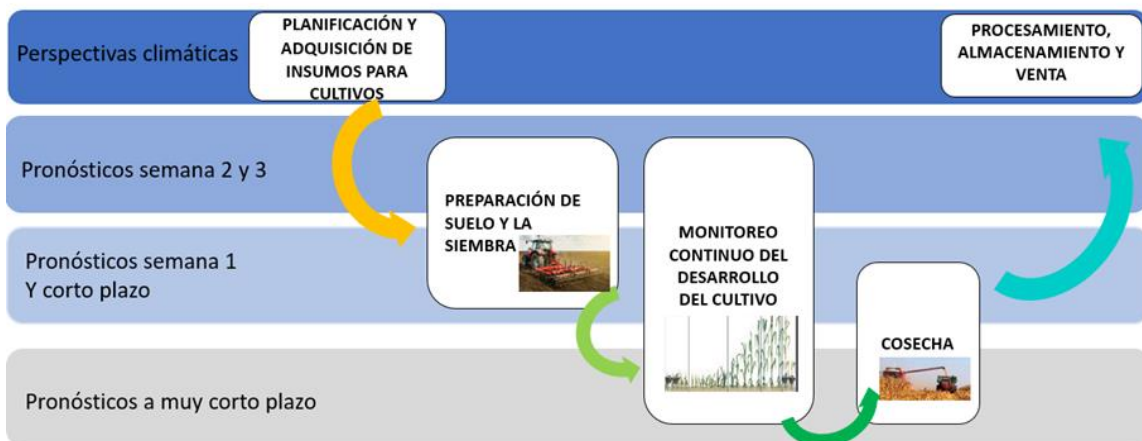


Fig. 3: Etapas del ciclo agrícola, los pronósticos meteorológicos y perspectivas climáticas en cada etapa.

1. En la **PLANIFICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE INSUMOS PARA CULTIVOS** es necesario tener un buen panorama de cómo serán las condiciones climáticas en la región para lo cual la **Perspectiva climática** es de gran relevancia. La perspectiva climática permite evaluar el tipo de semilla, el % de área cultivada, la compra de fertilizantes o implementación de un sistema de riego, entre otros. Algunas decisiones asociadas con la adopción de seguros también podrían intervenir en esta etapa.
2. Cuando se llega a la instancia de la **PREPARACIÓN DE SUELO Y LA SIEMBRA**, se busca asegurar que todos los cultivos se siembren en el momento óptimo para que cada uno de ellos logre su máximo rendimiento. Se requiere una temperatura óptima en el momento de la siembra de cultivos agrícolas.

Cualquier variación de las condiciones climáticas dificulta las operaciones de siembra. También, si el suelo no está en las condiciones de humedad y nutrientes adecuados, la siembra se ve afectada. En estas etapas son de importancia los **pronósticos meteorológicos semanales (semana 2 y semana 3)** que permiten identificar los momentos donde las condiciones climáticas de temperatura y precipitación son las más adecuadas para esas labores y para éxito de la siembra. A medida que se aproxima el momento de la siembra, los **pronósticos meteorológicos la semana 1 y de corto plazo** permite ajustar el día y la logística del evento. También, el pronóstico a muy corto plazo tiene su importancia.

3. A la siembra le sigue un **MONITOREO CONTINUO DEL DESARROLLO DEL CULTIVO** (germinación, crecimiento y madurez). La germinación de semillas requiere un rango específico de temperatura. Un período de temperatura demasiado alto o bajo puede cortar la germinación. El exceso o la deficiencia de humedad conduce a una germinación defectuosa. La germinación es rápida y máxima cuando la humedad es adecuada. Si es excesiva, se crearán condiciones anaeróbicas que son perjudiciales para la germinación. Si la humedad es menor, las funciones fisiológicas de la planta no se activan y las semillas no germinan por falta de agua. Durante la etapa de crecimiento del cultivo la temperatura anormal o subnormal afecta negativamente el desarrollo de la planta. Como así también la disponibilidad hídrica, ya que si hay déficit se producirá el marchitamiento de las plantas y hay exceso, las condiciones anaeróbicas en el suelo serán perjudiciales para el crecimiento de las raíces y diversas funciones de las plantas. Durante la etapa de Madurez, la temperatura por debajo de lo normal y la humedad alta retrasan la madurez, mientras que la temperatura alta y la humedad relativa baja provocan la desecación de las plantas y aceleran la madurez. Las lluvias excesivas, las tormentas de granizo pueden romper los granos y también pueden afectar la calidad del producto. Los vientos fuertes en el momento de la madurez pueden causar que el encamado se rompa y arrugue los granos. Las condiciones de luz afectan el fraguado del grano. Por lo tanto, en todas etapas los **pronósticos semanales (semana 1, 2 y 3) y de corto plazo** de nubosidad, viento, humedad, precipitación y temperatura son muy importantes ya que se podrían tomar decisiones como la pulverización, riego, acciones sobre heladas agrometeorológicas, medidas de protección por el viento e inclusive adelantar la cosecha.
4. **COSECHA:** El período de cosecha es variable. Con respecto a las variables climáticas, las condiciones térmicas tienen impacto en el trabajo manual y la maquinaria. Asimismo, las plantas se cortan con mayor dificultad con alta humedad y suelo mojados que cuando se cortan en tiempo seco. También, los fuertes vientos pueden dificultar la recolección y causar inconvenientes en el transporte del producto cosechado. En esta etapa los **pronósticos a corto y muy corto plazo** son de gran interés para las decisiones en el corto plazo.
5. **PROCESAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y VENTA:** Una vez cosechados, los productos se procesan y almacenan hasta su comercialización en el mercado nacional o internacional. En esta etapa las **perspectivas climáticas** en nuestra región pero también la de otras, podría influenciar en la toma de decisiones.

3.2 Gestión del riesgo de desastres y emergencias

Los organismos de gestión del riesgo de desastres tienen la responsabilidad de monitorear y responder ante las diversas amenazas de origen natural y antrópico que implican riesgos para la población, los bienes y el ambiente. Dentro del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) se pueden identificar diversos organismos científico-técnicos que producen información operativa dedicada a monitorear la evolución de las amenazas y riesgos latentes, como así también comunicar avisos y alertas tempranas que resulten útiles para la toma de decisión de las agencias gubernamentales con presencia territorial. La

información oficial generada por estos organismos resulta un elemento central para la toma de decisiones y planificación en distintos plazos temporales y escalas espaciales que despliegan los organismos de defensa civil, protección civil y gestión del riesgo de desastre en distintos niveles jurisdiccionales.

Dentro de este sector de usuarios de información meteorológica y climática se identifican diversidad de instituciones y niveles gubernamentales que reciben, consultan e interpretan las predicciones de tiempo y clima con el objetivo de anticipar y reducir el impacto negativo en la población, los bienes y el ambiente que pueden generar las amenazas de origen natural. La Protección Civil nacional y las Defensas Civiles provinciales y locales adoptan de forma creciente la gestión integral del riesgo de desastres en las acciones de planificación, preparación y respuesta. El desafío central consiste en reducir el riesgo de desastres, por medio de un abordaje integral de la vulnerabilidad social, la exposición y las amenazas. En este contexto, los servicios meteorológicos nacionales tienen la posibilidad de brindar información científico-técnica oportuna y útil para usuarios específicos por medio de un mejor conocimiento y predicción de la amenaza.

A partir del trabajo interdisciplinario e intersectorial que se realiza en el SMN, se ha identificado que los organismos del sector de gestión del riesgo de desastres consultan de forma rutinaria la información de pronósticos. Existe una tendencia mayoritaria, sobre todo en el nivel local, a utilizar pronósticos de corto plazo centrados en eventos meteorológicos extremos. El vínculo sistemático con los usuarios, la implementación de metodologías de relevamiento y acciones de formación orientadas a incrementar las capacidades de los tomadores de decisión permiten un conocimiento específico centrado en los usos, necesidades y desafíos que enfrenta la producción, emisión, comunicación e interpretación de los pronósticos meteorológicos (D'Amen y Menalled 2022).

En sintonía con la consulta del SAT, en particular de los alertas meteorológicos y ACP, el pronóstico extendido a siete días es un producto difundido entre los organismos de gestión del riesgo, en sus distintos niveles de gobierno (nación, provincia y municipios). Esta información se suele valorar positivamente ya que complementa los pronósticos de alerta a 72 h, brindando una previsión de la evolución meteorológica en un plazo de pocos días. Sin embargo, dado que este pronóstico es el más conocido y difundido a nivel del público en general, es recurrente que las Defensas Civiles expresen su interés por tener información más precisa o ampliada respecto del usuario genérico. Por su parte, las predicciones a escala subestacional y estacional todavía no han sido analizadas en profundidad.

A partir de 2021, con la incorporación del SAT en 2020, se realiza de forma anual un relevamiento nacional destinado a conocer los usos y percepciones de los productos y servicios del SMN entre usuarios del sector de gestión del riesgo de desastres y emergencias (Menalled y Chasco, 2022; Menalled y D'Amen, 2023). En la edición 2023 que se encuentra en curso se incorpora un eje de indagación para profundizar en el conocimiento sobre cómo se integran, utilizan e interpretan los productos de la escala subestacional y estacional. Esto permitirá tener mayor evidencia e información sistematizada para conocer qué utilidad tienen estos productos entre los destinatarios del relevamiento.

A partir de jornadas de trabajo conjunto con los usuarios y relevamientos periódicos se logran articular metodologías de investigación cuantitativas y cualitativas que nos brindan información valiosa sobre los usos, percepciones y acciones que están asociadas a los distintos productos y servicios meteorológicos vinculados a diferentes escalas de pronóstico (detallados en el capítulo 2). En particular, a continuación, se presenta una síntesis de los resultados alcanzados durante instancias participativas de vinculación directa con gobiernos locales y provinciales generadas en el marco del proyecto PREVENIR (D'Amen y otros 2023).

| Producto emitido por el SMN | Posibles acciones por parte de los gobiernos locales |
|-------------------------------------|---|
| Pronóstico climático trimestral | Aunque no se tiene conocimiento específico y detallado de las áreas de gobierno que utilizan este producto, se definen posibles utilidades, principalmente relacionadas con planificación de tareas de obras y dragados, adquisición de insumos, organización del personal, difusión a otras áreas del gobierno municipal dentro del plazo mensual o por temporada. |
| Pronóstico de análogos semana 1 y 2 | Aunque no es un producto que tenga mucha difusión ni se recibe de forma directa por las Defensas Civiles locales, se considera que puede ser útil para la gestión a nivel provincial. Se definen posibles utilidades, principalmente relacionadas con planificación de tareas, preparación de equipamiento, difusión a otras áreas del gobierno municipal, coordinación interinstitucional al interior del gobierno local, entre municipios y entre gobiernos locales con gobierno provincial, medidas de prevención en espacios públicos y arbolado, inspección de sitios de interés, programación de tareas de limpieza de arroyos. |
| Pronóstico extendido a 7 días | Este producto es utilizado para realizar seguimiento de situaciones, organización de guardias y coordinación entre áreas de gobierno para acciones puntuales. |
| Alerta meteorológico | Se considera indispensable para la planificación a corto plazo y la gestión del riesgo. La emisión de un Alerta Amarillo activa un interés por el seguimiento de la situación de actualización de los alertas y posible emisión de ACP. Asimismo, activa acciones e intervenciones como el aviso a cuadrillas y referentes barriales, verificación y limpieza de sumideros, difusión por canales oficiales, tareas de despeje de elementos colgantes en vía pública. En el caso de un Alerta Naranja, las cuadrillas operativas se encuentran preparadas para posibles intervenciones de emergencias durante la ocurrencia del fenómeno meteorológico. En caso de ser necesario, se sugiere cancelación de eventos. |
| Aviso a corto plazo | Resulta útil para la comunicación a otras áreas, pero no cambia la acción en terreno si hubo alerta porque ya se superó la etapa de preparación o implementación de acciones preventivas. Está relacionado con una práctica reactiva, asociada a situaciones severas, por ejemplo, preparación y disponibilidad para salir a la atención de emergencias, tareas de intervención y posible preparación de centros de evacuados. |

3.3 Sector marino

El SMN provee, desde el año 1932, apoyo meteorológico a los barcos que navegan en el Océano Atlántico sudoccidental, y desde la creación del Centro Meteorológico Antártico emplazado en la Base Marambio - a todas las embarcaciones que transitan por una vasta porción de los mares antárticos. El SMN tiene asignado el sector o Área Oceánica METAREA VI, según el acuerdo de los Servicios Meteorológicos Nacionales, "con el objeto de proveer pronósticos y alertas meteorológicos en apoyo a la preservación de la vida y los bienes en el mar".

La finalidad de los servicios meteorológicos marinos es poner a disposición de los usuarios específicos, tanto en el mar como en la costa, de la información meteorológica que se necesita para realizar las operaciones con seguridad y gran eficacia, utilizando medios adecuados de difusión. El mayor desafío en el sector marino será lograr que las mejoras en el suministro de la información meteorológica marítima se traduzcan en un mejor uso de ésta por parte de los usuarios, a la hora de tomar decisiones fundamentales. Si bien en la actualidad existe una relación con un usuario muy específico, que es la Prefectura Naval Argentina, aún queda pendiente llegar a aquellos que desarrollan diversas actividades sea en zonas costeras o mar adentro, en puerto en lagos y en la costa misma.

Escala espacial y temporal del pronóstico marino

Actualmente en el SMN brinda información para alta mar y sobre zonas costeras que incluye avisos meteorológicos y pronósticos. Los pronósticos sobre las costas y los océanos se preparan dos veces al día a horas programadas y el período de validez de la predicción es de 24 horas. Los pronósticos de las zonas costeras cubren las costas de Mar del Plata, Bahía Blanca, Península de Valdés, Golfo San Jorge, Costas patagónicas incluyendo Islas Malvinas. Los límites de las zonas de aguas costeras están definidos desde la línea de la costa hasta 150/200 millas náuticas (MN). Las áreas oceánicas van desde los 35° 50´ Sur hasta las costas antárticas y desde el meridiano 20° 00´ Oeste hasta la longitud del Cabo de Hornos, el cual se subdivide en 5 subáreas fijas.

La información brindada es difundida para la Prefectura Naval Argentina a través de sus medios de comunicación, a la escucha de todos los navegantes. Si bien la decisión final queda bajo la responsabilidad del capitán, normalmente los buques quedan resguardados en puerto ante la posibilidad de un temporal, o logran retornar a puerto antes que llegue el temporal mar adentro.

A partir de mayo comienza una de las actividades más importantes en el ámbito pesquero marítimo que es la zafra de la especie langostino. Esta se desarrolla en zonas ubicadas entre las latitudes 42° a 46° Sur y a distancias mayores a 140 MN de la costa, y en la cual participan más de cien buques pesqueros que, por las características de la zona y la distancia donde operan, se encuentran expuestos a las condiciones del viento y del mar. Por tal motivo a partir del 2019 se puso en práctica un servicio especial, para la difusión con una anticipación de 2 a 4 días, de posibles temporales en los puertos o mar adentro. Evaluamos con la parte interesada que tipo de información sería necesaria y que respondiera a sus necesidades. Lo fundamental es poder anticipar un temporal con una antelación suficiente para notificarlo a los usuarios y que permita volver a puerto a cualquier buque alejado del mismo.

Ejemplo de información brindada oportunamente

El día 29 de junio del 2019 se emitió un informe poniendo en conocimiento a toda la flota pesquera sobre la probabilidad de vientos a partir del día 3 de Julio, con intensidad de temporal sobre una determinada área. Este informe fue emitido por la Autoridad Marítima Argentina, dando una recomendación sobre los recaudos que los navegantes debían adoptar para evitar accidentes al encontrarse con condiciones hidrometeorológicas adversas.

El 30 de junio a 140 MN de las costas de Península de Valdés había una concentración de más de 100 buques pesqueros.

Esta información se emitió a través de las principales estaciones costeras marítimas, como Mar del Plata, Comodoro Rivadavia y Ushuaia; y, además, se retransmitió desde los principales puertos, como Quequén, Bahía Blanca, Rawson, Puerto Madryn, San Antonio Oeste, Bahía Camarones, Caleta Olivia, Puerto Deseado, Punta Quilla y Río Gallegos. De esta forma se logró que la flota tome el mensaje con gran atención y adopte como medida precautoria guarecerse en puertos costeros.

Progresivamente, la flota pesquera se fue desconcentrando de las zonas de pesca y regresó a los puertos de Puerto Deseado, Caleta Olivia, Bahía Camarones, y, principalmente, Puerto Madryn. En consecuencia, cuando el temporal azotó la zona de pesca el día 3 de julio, ya no había buques en operaciones de captura o navegando en el área, de esta manera se logró evitar incidentes que podrían haber derivado en casos de Búsqueda y Salvamento o de Asistencia Marítima.

4. CONCLUSIONES

La mejora en la predicción de los forzantes en la escala subestacional (S2S) permitieron aumentar la habilidad de los modelos en predecir los fenómenos atmosféricos a mayor plazo y reducir la brecha entre escalas. Los usuarios de diferentes sectores necesitan información para la toma de decisiones en diferentes escalas de tiempo, por lo que un pronóstico sin discontinuidades es de suma utilidad para el seguimiento de los posibles eventos extremos y su impacto en las actividades. Aunque la implementación del pronóstico con este nuevo enfoque puede conllevar dificultades de diferente índole que dependen de la disponibilidad de recursos tanto tecnológicos como humanos, hay un consenso de la comunidad meteorológica respecto de las enormes ventajas que presenta la provisión de servicios desde un enfoque sin discontinuidades.

En particular, el pronóstico sin discontinuidades plantea un desafío para el SMN, ya que propone un cambio en la forma de generar y / o brindar los productos y servicios que actualmente se ofrecen. En esta nota técnica se presenta un relevamiento de los principales productos de pronóstico y herramientas utilizadas en las diferentes escalas involucradas, desde el corto plazo hasta el pronóstico estacional, así como también ejemplos de aplicaciones con usuarios específicos. Dicho relevamiento tiene como objetivo, por un lado, sentar las bases del punto de partida de información y recursos con los que cuenta en SMN para poder ofrecer productos y servicios desde una perspectiva sin discontinuidades, y por el otro, poner en discusión algunas de las dificultades y desafíos que este nuevo enfoque conlleva.

En el más corto plazo, actualmente hay una gran brecha entre los productos que conforman el SAT, en particular, entre los Avisos a Corto Plazo y los Alertas, especialmente en términos de la continuidad temporal en la emisión de los productos. Por otra parte, en el mediano plazo, falta avanzar en el pronóstico mensual para complementar entre el semanal y el estacional.

Respecto del modelado numérico, es necesario avanzar en la investigación del desempeño de los pronósticos en diferentes plazos para conocer la habilidad de los pronósticos sin discontinuidades. Hasta el momento, el SMN no tiene la capacidad técnica necesaria para la mejora de los procesos de intraescala de los modelos numéricos.

El enfoque sin discontinuidades se puede trabajar desde el punto de vista de los productos, por ejemplo, mejorar la visualización, disponer de una plataforma con mejor usabilidad, navegabilidad, y optimizar los tiempos de latencia. En este sentido, una de las posibles líneas de trabajo a futuro tiene que ver con la mejora de la visualización y comunicación de los productos actuales para facilitar que los tomadores de decisión puedan acceder a un pronóstico en distintos plazos de tiempo. Para lograr esto es fundamental conocer las necesidades de los usuarios, trabajar en la mejora continua de los productos y en la utilidad de que un pronóstico se ajuste al concepto sin discontinuidades.

Actualmente el SMN está trabajando en brindar un valor agregado a los pronósticos semanales, haciendo una evaluación de diversos modelos para la elaboración de un mapa con áreas marcadas de temperaturas y precipitaciones relevantes para la segunda semana de pronóstico a nivel país. Este producto, aún en proceso de elaboración, es un ejemplo del trabajo en conjunto con distintas áreas del SMN para generar un prototipo que está en proceso de evaluación por usuarios del sector de gestión de Riesgo. De esta manera se espera obtener un producto codiseñado con las defensas civiles, que sirva de complemento a los productos de otras escalas ya disponibles, con el objetivo de que los usuarios puedan anticiparse y estar preparados a posibles escenarios de altas o bajas temperaturas y/o déficit o excesos de lluvias con 2 semanas de anticipación.

Por otra parte, este nuevo enfoque plantea una reformulación del esquema estructurado de los pronósticos tal como se los conoce hasta ahora, hacia algo más flexible, por ejemplo, en lugar de ofrecer un pronóstico a 7 días (fijo) diario, poder definir un período temporal más flexible.

Los párrafos precedentes dan un panorama de algunos de los desafíos que el SMN tiene por delante para poder llevar a cabo una transformación de los productos y servicios que actualmente ofrece con un enfoque sin discontinuidades. Para esto es necesario establecer un consenso a nivel institucional de los pasos a seguir y de las posibles líneas de trabajo.

Agradecimientos

Agradecemos a Paula Etala, Yanina García Skabar y Ramón De Elía por su participación en los encuentros y sus valiosos comentarios que llevaron a una mejor versión de este trabajo.

Referencias

Aldeco, L. S., 2011. Aplicación de la técnica de análogos a la generación de pronósticos probabilísticos de precipitación sobre algunas estaciones de la Argentina. Tesis de Licenciatura del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

Aldeco, L. S., Ruiz, J. J., Saulo A. C., De Elía, R., 2022: Calibración de los pronósticos semanales de precipitación y temperatura media operativos en el Servicio Meteorológico Nacional. Congremet XIV. Actas del Congreso Argentino de Meteorología.

Arruti, A., P. Maldonado, M. Rugna, M. Sacco, J. Ruiz, L. Vidal, 2021: Sistema de control de calidad de datos de radar en el Servicio Meteorológico Nacional - Parte I: Descripción del algoritmo. Nota Técnica SMN 2021-86.

Arruti, A., Ruiz, J., Salio, P., García Skabar, Y., 2019: Evaluación preliminar de un sistema de pronóstico de precipitación a muy corto plazo basado en la extrapolación de datos sintéticos de radar. Revista Meteorologica, v. 44 No.2, p. 56-77.

Basualdo, Adriana B, 2015. Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. IICA, 82 p. ISBN: 978-92-9248-590-01.

Cerrudo Carolina, Godoy Alejandro, Díaz Gonzalo, Garbarini Eugenia María, Poggi Mercedes, Chamorro Lucas, Fisher Matthias, Cristanchi María Alejandra, Righetti Silvina, Ferreira Lorena, 2023: Co - producción de servicios climáticos orientados a la toma de decisión del sector hidroenergético. Actas XXVII Congreso Nacional del Agua 2023.

Cutraró, F., S. Righetti, Y. García Skabar y M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Calibración de temperaturas pronosticadas. Nota Técnica SMN 2020-81.

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.

D'Amen D, Yanina García Skabar, Mariano Re, Juan Ruíz, Federico Robledo, Marcelo García, Carlos Catalini, Matias Menalled, Leandro Kazimierski, Milagros Álvarez Imaz, Martín Vilariño, Sebastián López, Carolina

Cerrudo, Marina Lagos, Nadia Testani, Camila Prudente, Diego Moreira, Malena Lozada, 2023. Desarrollo de actividades territoriales y de comunicación para la conformación de un sistema de alerta temprana frente a inundaciones repentinas en la cuenca del Río Suquía (Córdoba) y la cuenca Sarandí-Santo Domingo (Buenos Aires). XXVII Congreso Nacional del Agua.

D'Amen D y Menalled M. 2022. "La construcción social del pronóstico". En Meteoros°. Revista de meteorología, edición 150 aniversario. Año 14. N°9. Servicio Meteorológico Nacional. URL: <https://www.smn.gov.ar/150%C2%B0-aniversario-del-smn>.

Dillon, M.E., Matsudo, C., Y. García Skabar, M. Sacco y M. Alvarez Imaz, 2020a: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración del ensamble. Nota Técnica SMN 2020-79.

Dillon, M. E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco, 2020b: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración de los pronósticos determinísticos. Nota Técnica SMN 2020-78.

Etala, P., 2000. "Modelos anidados para el cálculo de la onda de tormenta en el estuario de Bahía Blanca", Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 130 págs.

Etala, P., S. Alonso, D. Souto, C. Romero y P. Echevarría: Progreso en el modelo de pronóstico de olas hasta un mosaico global multiescala. Meteorológica (2014) Vol. 39, No. 2, 37-48.

Etala, P., 2009. Dynamic issues in the SE South America storm surge modeling. Nat Hazards 51, 79–95. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9390-3>

Folch, A., Mingari, L., Gutierrez, N., Hanzich, M., Macedonio, G., & Costa, A. (2020). FALL3D-8.0: a computational model for atmospheric transport and deposition of particles, aerosols and radionuclides—Part 1: Model physics and numerics. Geoscientific Model Development, 13(3), 1431-1458.

Goddard, L., Baethgen, W.E., Bhojwani, H. et al. 2014. The International Research Institute for Climate & Society: why, what and how. Earth Perspectives 1, 10. <https://doi.org/10.1186/2194-6434-1-10>

Godoy A. A., L. Ferreira, C. Cerrudo, G. Diaz, I. Enriquez. 2022. Experiencia en el codiseño de un pronóstico sin discontinuidades para tomadores de decisión del sector hídrico". Congremet XIV. CABA – Argentina.

Hamill, T. y Whitaker J. S., 2007. Ensemble Calibration of 500-hPa Geopotential Height and 850-hPa and 2-m Temperatures Using Reforecasts. Monthly Weather Review, 135, 3273-3280.

Herrera, N., F. Chesini, M.A. Saucedo, M.E. Menalled, C. Fernández, J. Chasco, A.G. Cejas, 2021: Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Calor (SAT-TE Calor): la evolución del SAT-OCS. Nota Técnica SMN 2021-111.

Herrera, N., 2022: Pronóstico trimestral estadístico y estadístico-dinámico del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2022-118.

Herrera N. y otros, 2022: Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío). Nota Técnica SMN 2022-125.

Ishikame, G., P. Lohigorry, y L. Pappalardo, 2022: Caracterización a los avisos a muy corto plazo en el período 2014 - 2020. Nota Técnica SMN 2022-134. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2202>

Kirtman, B.P., and Coauthor, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585–601, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>.

Lohigorry P., R. de Elia, G. Russian, 2018: Pronostico de muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2018-46. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12160/649>

Mason S.J., M.K. Tippett, 2017: Climate Predictability Tool version 15.6.1, Columbia University Academic Commons, <https://doi.org/10.7916/D8SF37S0>.

Mason, S.J., Tippet, M.K., Song, L., and Muñoz, A.G., 2020: Climate Predictability Tool version 16.5.8. Columbia University Academic Commons. <https://doi.org/10.7916/d8-em5q-0f07>.

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

Menalled, M. y J. Chasco, 2022: Relevamiento de los usos y valoraciones del Sistema de Alerta Temprana en el sector de emergencias y gestión del riesgo de desastre entre 2020-2021. Nota Técnica SMN 2022-123.

OMM, 2015: Seamless prediction of the Earth system: from minutes to months. 2015. OMM-1156, 483 pp, https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=17276.

OMM, 2021: Open Consultative Platform White Paper #1 - Future of weather and climate forecasting. OMM-1263, 44 pp, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21856.

Osman, M., Coelho, C.A.S. and Vera, C.S, 2021: Calibration and combination of seasonal precipitation forecasts over South America using Ensemble Regression. *Clim. Dyn.* <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05845-2>.

Peuch, V. H., Engelen, R., Rixen, M., Dee, D., Flemming, J., Suttie, M., ... & Thépaut, J. N. (2022). The Copernicus Atmosphere Monitoring Service: From Research to Operations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(12), E2650-E2668.

Poggi, M. M., Skansi M. M., de Elía R., 2021: Metodología de verificación del pronóstico estacional por consenso. Nota Técnica SMN 2021-110. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1724>

Righetti, S.A., M.P. Hobouchian y Y. García Skabar, 2019: Corrección del BIAS del pronóstico de temperatura mínima y máxima del modelo GFS. Nota Técnica SMN 2019-57. Recuperado de <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1102>

Rodríguez, A., Lacunza, C., Serra, J., Saulo, A. C., Ciappesoni, H. H., Caranti, G. M., Bertoni, J.C., Martina, A., 2017. SiNaRaMe: El primer sistema integrado de radares hidro-meteorológicos de latinoamérica. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 4(1).

Ruti, P. M., and Coauthors, 2020: Advancing Research for Seamless Earth System Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 101, E23–E35, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0302.1>.

Sacco, M., A. Arruti, P. Maldonado, M. Rugna, J. Ruiz, L. Vidal, 2021: Sistema de control de calidad de datos de radar en el Servicio Meteorológico Nacional - Parte II: Implementación Operativa. Nota Técnica SMN 2021-87.

San Martino F., S. Pérez y G. Russián 2019: Verificaciones de pronósticos a muy corto plazo en el SMN. Nota Técnica SMN 2019-64. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1241>

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

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

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059-2077.

Tolman, H. L., 2009: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14., NOAA/NWS/NCEP Tech. Note 276, 220. [On-line]. Available: http://nopp.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf.

Weng, F., Han, Y., Delst, P., Liu, Q., Kleespies, T., Yan, B. and Le Marshall, J., 2006, JCSDA community radiative transfer model (CRTM)—version 1, Joint Center for Satellite Data Assimilation, Technical Report 122

White, C.J. and Coauthors, 2017, Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Met. Apps*, 24: 315-325. <https://doi.org/10.1002/met.1654>.

White, C. J., and Coauthors, 2022: Advances in the Application and Utility of Subseasonal-to-Seasonal Predictions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 103, E1448–E1472, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0224.1>.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

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

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

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

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