

# ¿COMO FUNCIONA EL SISTEMA DE ASIMILACION DE DATOS Y PRONÓSTICO NUMERICO DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL?: ESTADO ACTUAL Y RETOS FUTUROS

Paula Maldonado<sup>1</sup>, Federico Cutraro<sup>1</sup>, María Eugenia Dillon<sup>1,2</sup>, Yanina García Skabar<sup>1</sup>, Cynthia Matsudo<sup>1</sup>, Maximiliano Sacco<sup>1</sup>, Milagros Alvarez Imaz<sup>1</sup>, Silvina Righetti<sup>1,3</sup>, Soledad Osoro<sup>1</sup>  
[pmaldonado@smn.gob.ar](mailto:pmaldonado@smn.gob.ar)

<sup>1</sup>Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA)

**Palabras clave:** Asimilación, Pronóstico, SAP.SMN

## 1) INTRODUCCIÓN

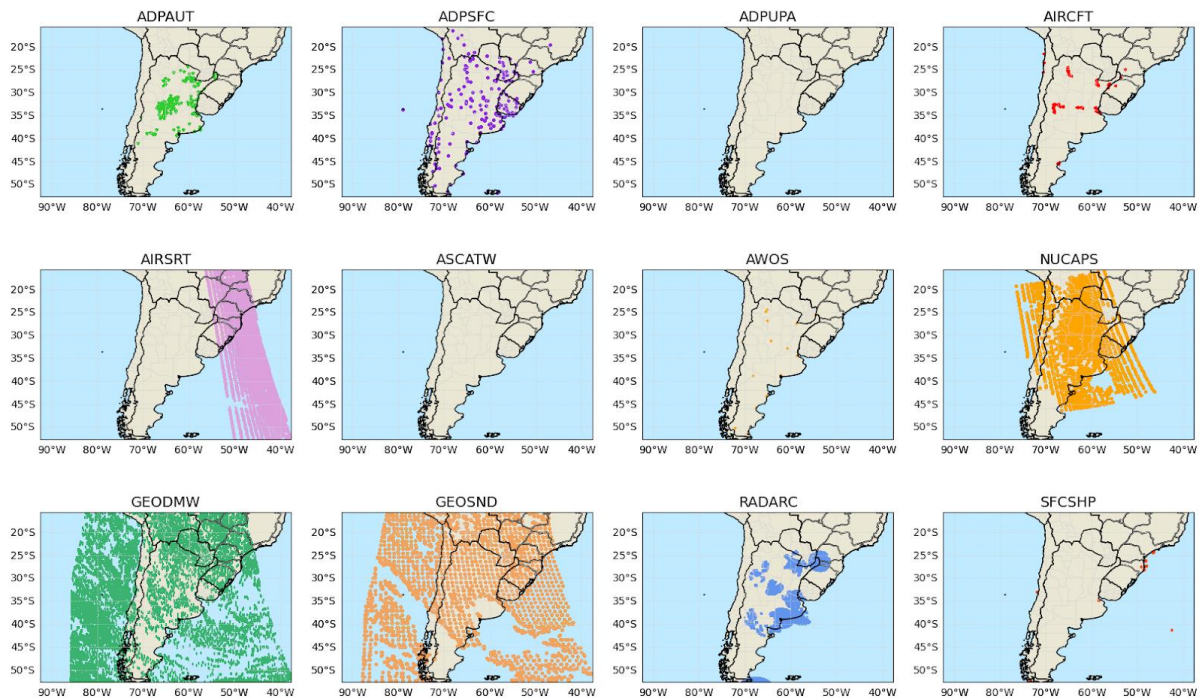
El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene como parte clave de su misión brindar información y pronósticos meteorológicos con el objeto de proteger a la población. En este sentido, desde 2016, el SMN proporciona pronósticos numéricos determinísticos regionales en alta resolución utilizando el modelo numérico WRF (Skabar y otros, 2018). Gracias a la adquisición de un sistema de cómputo de alto rendimiento (HPC) en 2018, el SMN incorporó la generación de pronósticos numéricos probabilísticos o por ensambles que permiten cuantificar la incertidumbre asociada a la dinámica de la atmósfera (Dillon y otros, 2020). Desde diciembre de 2024, el Sistema de Asimilación de datos y Pronóstico numérico del SMN (SAP.SMN) incorporó a sus procesos operativos un sistema regional de asimilación de datos basado en ensambles que permite mejorar las condiciones iniciales a partir de las cuales se generan los pronósticos numéricos. De esta forma, el SAP.SMN ha evolucionado rápidamente en la última década proporcionando una mejora considerable en la precisión de los pronósticos ofrecidos (Matsudo y otros, 2025). En este trabajo se presenta el estado actual del SAP.SMN, focalizando en los avances realizados desde comienzos de 2024, haciendo hincapié en los recursos computacionales necesarios para llevar adelante un sistema de estas características, analizando el impacto de las mejoras realizadas para un caso de estudio ocurrido en marzo de 2025 en Bahía Blanca, y planteando los retos y desafíos futuros en busca de la mejora continua del SAP.SMN.

## 2) ESTADO ACTUAL DEL SAP.SMN

El SAP.SMN cuenta con 3 componentes principales: i) la componente de asimilación de datos SAP.SMN-ANA; ii) la componente probabilística SAP.SMN-ENS y iii) la componente determinística SAP.SMN-DET, las cuales se ejecutan en el HPC del SMN.

La componente SAP.SMN-ANA fue desarrollada con el fin de agregar valor a los pronósticos regionales operativos mediante la inclusión de información de diferentes fuentes observacionales. El SAP.SMN-ANA acopla el modelo WRF con el método de asimilación de datos basado en ensambles *Local Ensemble Transform Kalman Filter*, el cual ha sido evaluado en múltiples contextos en nuestra región (Dillon y otros, 2021; Maldonado, 2023). De este sistema se obtienen 40 análisis horarios con 4 km de resolución horizontal y 45 niveles verticales, considerando un esquema de ciclos parciales en el que todos los días a las 12 UTC se parte de una condición inicial provista por el modelo global GEFS, del cual se obtienen además las condiciones de borde. Entre las observaciones asimiladas se encuentran datos de estaciones meteorológicas convencionales (ADPSFC, SFCSHP) y automáticas (ADPAUT,

AWOS), radiosondeos (ADPUPA), aviones (AIRCFT), estimaciones satelitales de viento (ASCATW, GEODMW), perfiles verticales de temperatura y humedad estimados por satélites polares (AIRSRT, NUCAPS) y geoestacionarios (GEOSND) y reflectividad de radar (RADARC). A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra la distribución espacial de estas observaciones en un ciclo de asimilación.



*Figura 1: Distribución espacial de las observaciones asimiladas en un ciclo de asimilación (18Z del 06/03/2025).*

Las componentes SAP.SMN-ENS y SAP.SMN-DET generan 4 pronósticos diarios, a 48 h y 72 h, respectivamente. Actualmente, el SAP.SMN-ENS emplea como condición inicial 20 análisis regionales del SAP.SMN-ANA, mientras que el SAP.SMN-DET emplea como condición inicial el análisis global del modelo GFS de 0.25° de resolución. Uno de los desafíos continuos que presenta el SAP.SMN (en todas sus componentes) está relacionado con la generación de productos derivados que resulten innovadores y agreguen valor a la ejecución del pronóstico, destacándose el desarrollo del pronóstico del nivel de alerta del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del SMN, de pronósticos aeronáuticos TAF y de sistemas convectivos caracterizados por ascendentes rotantes.

A modo de ejemplo del desempeño del SAP.SMN, la Figura 2 muestra la probabilidad de precipitación acumulada en 12 h pronosticada por el SAP.SMN-ENS inicializado a las 00 UTC del 7 de marzo de 2025. Durante la madrugada y la mañana de ese día, la ciudad de Bahía Blanca y sus alrededores se vio afectada por eventos convectivos de gran magnitud con intensas precipitaciones. El SAP.SMN-ENS fue capaz de pronosticar correctamente la ubicación del sistema convectivo, no así su intensidad si se compara con el registro de 290 mm en 12 h medido en la estación meteorológica local.

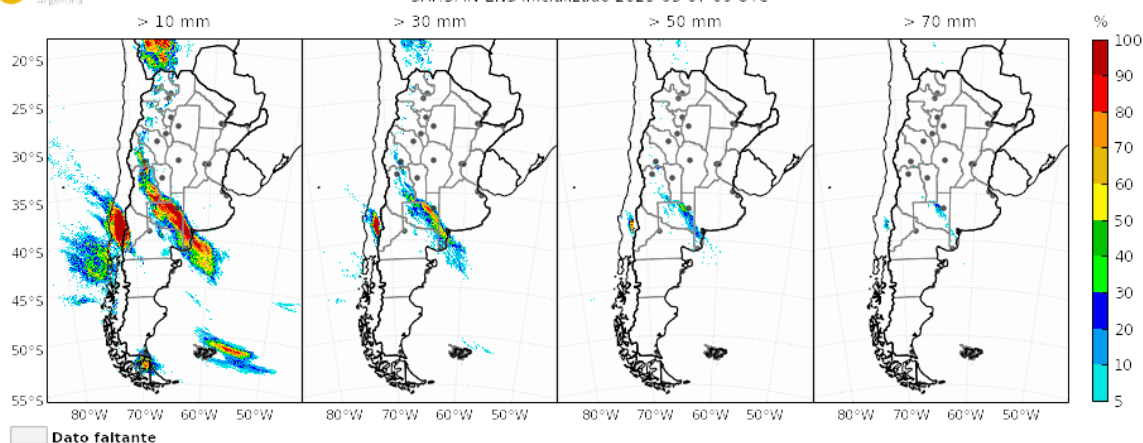


Figura 2: Probabilidad de precipitaciones acumulada en 12 h superior a 10 mm, 30 mm, 50 mm, y 70 mm (paneles de izquierda a derecha, respectivamente) pronosticada por el SAP.SMN-ENS inicializado a las 00 UTC del 7 de marzo de 2025.

### 3) RETOS FUTUROS DEL SAP.SMN

En vistas de continuar el proceso de mejora continua en lo que respecta a la precisión de los pronósticos numéricos brindados por el SMN, existen múltiples retos a futuro. Actualmente se está trabajando en completar la actualización del SAP.SMN, de forma de emplear los análisis regionales como condición inicial en la componente SAP.SMN-DET. Asimismo, se siguen evaluando mejoras en los análisis generados considerando la inclusión de nuevas observaciones (e.g., velocidad Doppler estimada por radar), mejoras en los procesos de control de calidad de estas y analizando la sensibilidad a los parámetros de *superobbing* y *thinning* para maximizar el beneficio en el uso de las observaciones con mayor densidad espacial como son las observaciones satelitales. A más largo plazo y proyectando una posible adquisición de nuevos recursos computacionales, la implementación de la técnica EFSOI para evaluar el impacto de las observaciones asimiladas en los pronósticos, facilitaría la evaluación de los cambios implementados. Por último, la sinergia con los desarrollos realizados en el marco del proyecto PREVENIR ([prevenir.smn.gob.ar](http://prevenir.smn.gob.ar)) resultan fundamentales para la mejora del SAP.SMN en conjunto.

### REFERENCIAS

- Dillon, M.E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco y M. Alvarez Imaz, 2020:** Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración del ensamble. Nota Técnica SMN 2020-79.
- Dillon, M. E., P. Maldonado; P. Corrales; Y. García Skabar; J. J. Ruiz, M. Sacco, F. Cutraro, L. Mingari, C. Matsudo, L. Vidal, M. Rugna, M. P. Hobouchian, P. Salio, S. Nesbitt, A.C. Saulo, E. Kalnay, T. Miyoshi, 2021:** A rapid refresh ensemble based data assimilation and forecast system for the RELAMPAGO field campaign. Atmospheric Research. vol.264 n°. p1 - 19.
- García Skabar Y., C. Matsudo, M. Sacco, J. Ruiz, S. Righetti, 2018:** Implementación modelo de pronóstico numérico WRF. Nota Técnica SMN 2018-45.
- Maldonado, P., 2023:** Implementación y evaluación de un sistema de asimilación de datos de radar meteorológico en escala convectiva para el desarrollo de un sistema de pronóstico por ensambles a muy corto plazo. Tesis de doctorado, DCAO, FCEyN, UBA.
- Matsudo, C., P. Maldonado, M. E. Dillon, G. Casaretto, M. Sacco, F. Cutraro, S. Righetti, M. Alvarez Imaz, Y. García Skabar, J. Ruiz, S. Osore, 2025:** Evaluación del Sistema de Asimilación de datos y Pronóstico numérico del Servicio Meteorológico Nacional: impacto de los análisis regionales en la inicialización del pronóstico por ensambles. Nota Técnica SMN 2025-193.