

# Sistema de Asimilación de Datos y Pronóstico Numérico del SMN: el Impacto del Supercómputo y del Sensoramiento Remoto

P. Maldonado<sup>1</sup>, M. E. Dillon<sup>1,2</sup>, C. Matsudo<sup>1</sup>, M. Alvarez Imaz<sup>1</sup>, F. Cutraro<sup>1</sup>, Y. García Skabar<sup>1</sup>, S. Osoreo<sup>1</sup>, S. Righetti<sup>1</sup>, M. Sacco<sup>1</sup>

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

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

**Abstract.** El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) genera en forma diaria un conjunto de pronósticos numéricos regionales desde 2020 a partir de la adquisición del sistema de supercómputo Huayra Muyu. Estos pronósticos han demostrado ser una herramienta crucial para mejorar la precisión de los alertas y advertencias emitidos a través del Sistema de Alerta Temprana (SAT). En este contexto de mejora continua se ha desarrollado el Sistema de Asimilación de Datos y Pronóstico Numérico del SMN (SAP.SMN) que, al incorporar observaciones de alta resolución de satélites y radares meteorológicos entre otras, muestra una mejora significativa en la precisión de los pronósticos de precipitación. Este avance tecnológico no solo impulsa la investigación científica y la innovación en Argentina, sino que también posiciona al país como uno de los líderes regionales en el pronóstico meteorológico.

**Keywords:** pronóstico numérico, ensamble, calibración, asimilación de datos

## 1 Introducción

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ejecuta en forma operativa el modelo de pronóstico numérico del tiempo *Weather Research and Forecasting* (WRF) [1] proporcionando pronósticos regionales en alta resolución tanto en su versión determinística como probabilística desde 2016 y 2020, respectivamente [2][3]. Este cambio en la forma de generar pronósticos considerando la incertidumbre asociada a la dinámica propia de la atmósfera fue posible gracias a la adquisición del sistema de supercómputo Huayra Muyu en el año 2018 [4].

Desde la implementación operativa del sistema de pronóstico numérico se ha trabajado en forma continua para su mejora. Se desarrollaron calibraciones de las variables pronosticadas, en particular temperatura [5], intensidad de viento [6] y precipitación diaria [7]. Asimismo, se incluyó un modelo de transferencia radiativa, permitiendo generar imágenes satelitales sintéticas [8]. Se desarrollaron múltiples productos a partir de los pronósticos de acuerdo con los requerimientos de diferentes usuarios dándole una mayor utilidad a los pronósticos generados. A su vez, en la región se ha estado trabajando con el sistema de asimilación de datos *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF) [9] en diferentes contextos. Se han evaluado distintos períodos y múltiples casos de estudio con diferentes resoluciones horizontales,

se han desarrollado capacidades para la asimilación de nuevas observaciones y hasta se han implementado sistemas experimentales en tiempo real, obteniendo resultados alentadores [10][11][12][13][14].

El objetivo de este trabajo es presentar el estado actual del Sistema de Asimilación de datos y Pronóstico numérico del Servicio Meteorológico Nacional (SAP.SMN), analizando el impacto de las mejoras realizadas desde su implementación operativa y presentando los principales productos que se ofrecen a diversos usuarios. Asimismo, se presenta la potencial mejora que se obtendrá en los pronósticos mediante la transferencia a operaciones del sistema regional de asimilación de datos. En la sección 2 se describe la componente operativa del SAP.SMN, mientras que en la sección 3 se caracteriza la componente experimental del mismo. Por último, en la sección 4 se presentan algunas reflexiones finales.

## 2 Componente operativa del SAP.SMN

El SAP.SMN emplea el modelo regional WRF v4.0 y cuenta con un esquema determinístico (SAP.SMN-DET) y otro probabilístico (SAP.SMN-ENS). Ambos utilizan un dominio computacional que cubre Argentina y los océanos adyacentes (Figura 1). El mismo consta de 1000 x 1250 puntos de retícula, utiliza la proyección conforme de Lambert con una resolución horizontal de 4 km y 45 niveles verticales, con el tope del modelo en 10 hPa. Se ejecutan 4 inicializaciones al día a las 00, 06, 12 y 18 UTC y las salidas que se obtienen son horarias con un plazo máximo de 72 horas para el esquema determinístico y de 48 horas para el probabilístico.



**Fig. 1.** Dominio computacional del SAP.SMN.

Los esquemas que parametrizan los procesos físicos subreticulares incluyen el modelo radiativo RRTMG [15], el modelo de suelo Noah-MP [16], los esquemas de microfísica de un momento Lin [17] y WSM6 [18] y los esquemas de capa límite planetaria YSU [19], MMYN [20] y Shin-Hong [21]. Cabe destacar que dada la resolución horizontal empleada no se parametrizan los procesos convectivos. La combinación de los esquemas de microfísica y de capa límite permite generar un ensamble multifísica con 6 combinaciones diferentes (Tabla 1). El SAP.SMN-DET utiliza las mismas parametrizaciones que el miembro 001.

**Tabla 1:** Combinación de las configuraciones físicas de los miembros del SAP.SMN.

Combinación configuración de los miembros del ensamble					
Microfísica	Nro de miembro- capa límite				
WSM6	001-MYJ	002-MYJ	003-MYJ	004-SH	005-SH
	006-SH	007-YSU	008-YSU	009-YSU	010-MYJ
LIN	011-MYJ	012-MYJ	013-MYJ	014-SH	015-SH
	016-SH	017-YSU	018-YSU	019-YSU	020-YSU

Las condiciones iniciales y de borde del SAP.SMN son provistas por los análisis y pronósticos del modelo global GFS (de sus siglas en inglés) del *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), respectivamente. Las mismas se obtienen combinando la versión determinística, de 0.25° de resolución horizontal, con la versión por ensambles (GEFS), de 0.5° de resolución horizontal [22]. Primeramente, se calculan 20 perturbaciones a partir de los pronósticos de GEFS, haciendo la diferencia entre cada miembro del ensamble y la media de todo el conjunto. Luego, se suman dichas perturbaciones al pronóstico determinístico de GFS. De esta forma, se obtienen 20 perturbaciones iniciales y de borde con 0.25° de resolución horizontal.

A continuación, se describen los procesos llevados a cabo sistemáticamente para sumar valor agregado a los pronósticos numéricos.

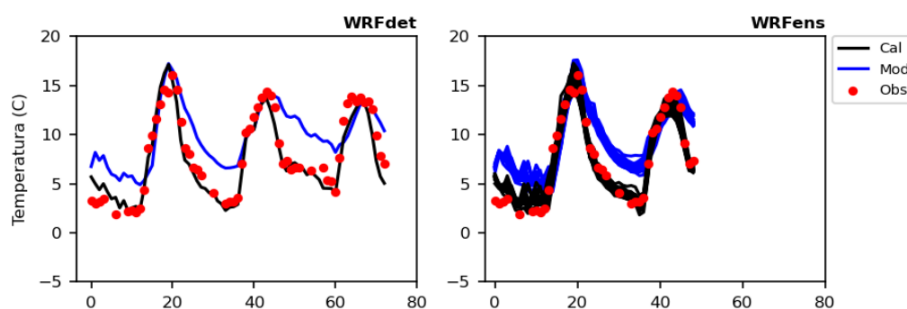
## 2.1 Calibración

Los modelos de pronóstico numérico presentan errores en sus predicciones de las variables meteorológicas. Dichos errores, especialmente en las variables cercanas a superficie, se deben principalmente a la inhabilidad de los modelos numéricos para resolver fenómenos de pequeña escala y a las limitaciones en la representación de procesos físicos por parte de las parametrizaciones. Los errores poseen tanto una parte sistemática como una parte aleatoria. Mientras que la parte aleatoria suele ser difícil de estimar, debido a la complejidad en separar la inexactitud del modelo y el estado inicial del error [23], la parte sistemática es comúnmente removida mediante métodos estadísticos [24]. Las metodologías comúnmente aplicadas para corregir estos sesgos consisten en una regresión lineal, donde los predictores son variables pronosticadas por el modelo numérico y el predictando es el valor observado de la variable a corregir [25][26].

El método implementado en el SMN para calibrar tanto los pronósticos de temperatura (horaria y mínima y máxima diarias) como los de intensidad del viento a 10 metros, es la Regresión Adaptada basada en el Filtro de Kalman (RAFK), el cual considera las ecuaciones del filtro de Kalman en forma secuencial para actualizar los coeficientes de una regresión lineal a partir de observaciones de la variable a corregir. En aquellos puntos donde no se cuenta con datos observados no es posible la aplicación del método RAFK. En esos casos, la solución implementada fue la de interpolar los coeficientes obtenidos en las estaciones cercanas a dichos sitios. Un mayor detalle de la metodología se presenta en [5].

En la Figura 2 se puede ver un ejemplo del resultado de aplicar la calibración para el pronóstico de temperatura horaria en Mendoza para el SAP.SMN-DET y el SAP.SMN-

ENS. En ambos casos, se puede apreciar que la incorporación de las calibraciones tiene un impacto positivo en la calidad de los pronósticos, mostrando una mayor coincidencia con los datos observados que los pronósticos sin calibrar.

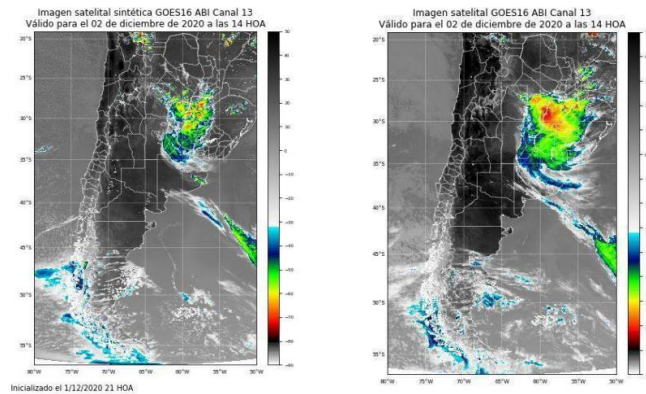


**Fig. 2.** Evolución horaria de temperatura en la estación de Mendoza para el SAP.SMN-DET (izquierda) y el SAP.SMN-ENS (derecha). En línea azul se muestra el pronóstico sin calibrar, en negro el pronóstico calibrado y en puntos rojos las observaciones.

## 2.2 Modelo de transferencia radiativa CRTM

Una imagen satelital sintética es una representación de cómo se vería una imagen satelital con las condiciones pronosticadas por los modelos numéricos. Este producto es de gran utilidad a la hora de realizar un pronóstico ya que resume las condiciones de toda la atmósfera en una sola imagen y, además, como es algo directamente comparable con las observaciones de los satélites, puede utilizarse como una herramienta adicional para verificar los pronósticos.

Para su generación se emplea el modelo *Community Radiative Transfer Model* (CRTM) [27], el cual toma como variables de entrada los perfiles de temperatura, presión, humedad y contenido de hidrometeoros y otras asociadas a la superficie como la temperatura y la cobertura, las cuales son obtenidas del SAP.SMN-DET. A partir de estas variables, el CRTM resuelve la ecuación de transferencia radiativa y estima la radiación que llega al sensor a bordo del satélite que se quiere simular. Actualmente, se simulan los canales 7, 8, 9, 10 y 13 del sensor ABI montado en el satélite GOES-16. Un ejemplo comparando la imagen pronosticada con la observada puede verse en la Figura 3, en la que se observa una clara correspondencia en la representación de la nubosidad.



**Fig. 3.** Comparación entre una imagen satelital sintética generada a partir del SAP.SMN-DET (izquierda) y observada por GOES-16 (derecha), para un caso de convección profunda en el noreste de Argentina.

### 2.3 Productos

En forma operativa, se generan un conjunto de productos para dar respuesta a distintas necesidades de usuarios internos al SMN como pueden ser pronosticadores, servicios sectoriales, pronosticadores aeronáuticos, prensa y comunicación, entre otros. También se desarrollan, en forma diferida, diversos productos que surgen de requerimientos específicos de usuarios externos con finalidades particulares.

La nueva política de datos establecida por la Organización Meteorológica Mundial en el 2021 y la propia del SMN, desde abril de 2022, potenciaron la disponibilización en forma abierta y de manera gratuita de los pronósticos determinísticos de diversas variables de superficie del SAP.SMN al repositorio de *Amazon Web Services* (AWS). Los mismos están disponibles en <https://registry.opendata.aws/smn-ar-wrf-dataset/>. De esta manera, el SMN busca profundizar la interacción y ampliar el diálogo con los distintos usuarios, con el fin de despertar el interés por aprovechar la información meteorológica, y que se pueda hacer un uso creativo de ella para investigación y para alimentar el aparato productivo del país.

Un vínculo que resulta de gran interés para el SMN es el sostenido con la Prefectura Naval Argentina, dando apoyo a las tareas de búsqueda y rescate sobre nuestro territorio. Actualmente, se trabaja en la provisión, en forma operativa, de pronósticos de viento a 10 m de alta resolución que permitan una mayor precisión en respuesta a la localización de personas y objetos.

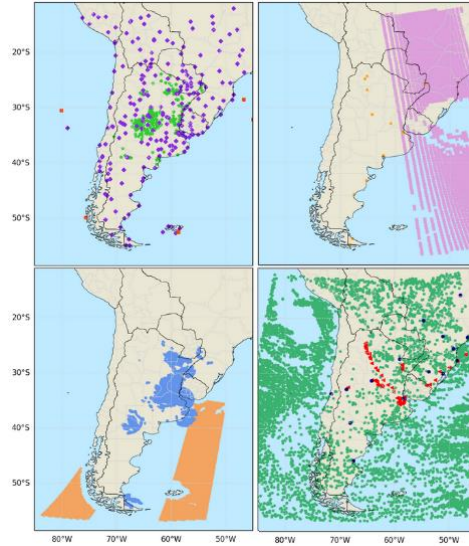
Otro sector importante con el que se interactúa es el agrícola. En este caso, junto con la Dirección de Servicios Sectoriales del SMN, se realizan pronósticos calibrados de temperatura horaria con foco en la predicción de heladas para usuarios definidos en distintas zonas del país, como son San Pedro (provincia de Buenos Aires) y el Alto Valle del Río Negro (Río Negro).

### 3 Componente experimental del SAP.SMN

El sistema de asimilación de datos emplea el método basado en ensambles en su versión cuatridimensional 4D-LETKF acoplado con el modelo WRF. El sistema LETKF-WRF ha sido utilizado y testeado en nuestra región y a nivel mundial en múltiples contextos con resultados alentadores [28] (c.f., Sección 1).

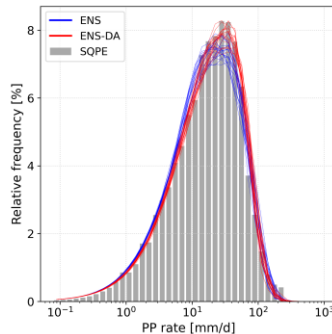
El sistema genera análisis horarios con 4 km de resolución horizontal y empleando un ensamble de 40 miembros. Las condiciones iniciales y de borde se obtienen de igual forma que para el SAP.SMN-ENS, utilizando la perturbación de los miembros 01-20 de GEFS en orden ascendente para los primeros 20 miembros del SAP.SMN-ANA y en orden descendente para los segundos 20 miembros del SAP.SMN-ANA. El sistema emplea el método de inflación *relaxation-to-prior-spread* (RTPS) [29] con un parámetro de inflación de 0.95 y el método de localización en R [30] con una escala de localización para las observaciones convencionales de 50 km en la horizontal y  $0.4 \cdot \ln(p)$  en la vertical, mientras que para las observaciones de radar se utilizó una escala horizontal de 7 km y vertical de 2 km.

Las observaciones asimiladas incluyen datos de temperatura, humedad, viento y presión provistos por estaciones de superficie convencionales (ADPSFC), automáticas (ADPAUT, AWOS) y a bordo de barcos (SFCSHP) y boyas (SFCBUY); perfiles verticales de temperatura, viento y humedad relativa provistos por sondeos (ADPUPA); datos de temperatura y viento provistos por aviones (AIRCFT); estimaciones satelitales de perfiles verticales de temperatura y humedad provistos por el sensor AIRS (AIRSRT); viento sobre el océano a partir del sensor ASCAT (ASCATW); vectores de movimiento derivados a partir del satélite GOES-16 (G16DMW); y datos de reflectividad provistos por los radares de banda C (RADARC) de la red nacional de radares [31]. La Figura 4 muestra a modo de ejemplo la distribución espacial de las mismas para el 30/03/2024. Las observaciones se asimilan durante una ventana temporal de una hora previa al tiempo del análisis, subdividida en 6 intervalos temporales (slots) centrados de 10 minutos. Se usa un modo cíclico parcial, de modo que todos los días a las 18 UTC empieza a ejecutarse el sistema con el modelo global como condición inicial, se obtienen 24 ciclos horarios consecutivos y luego se repite la secuencia diariamente.



**Fig. 4.** Distribución espacial de las observaciones asimiladas el 30/03/2024. a) Estaciones de superficie convencionales (ADPSFC, violeta), automáticas (ADPAUT, verde) y a bordo de barcos (SFCBUY, rojo) y boyas (SFCBUY rojo), b) sensor AIRS (AIRSRT, rosa) y estaciones automáticas en aeropuertos (AWOS, naranja), c) sensor ASCAT (ASCATW, naranja) y radares de banda C (RADARC, azul) y d) satélite GOES-16 (G16DMW; verde), sondeos (ADPUPA, azul) y aviones (AIRCFT, rojo).

A modo de evaluación del desempeño del sistema SAP.SMN-ANA, se realizó una implementación experimental en el periodo correspondiente al 22/08 al 09/12 de 2023 [32]. Durante el mismo, se ejecutaron en forma diaria, 18 ciclos horarios de asimilación desde las 18 UTC hasta las 12 UTC del día siguiente y un pronóstico por ensamble a 24 horas inicializado a las 12 UTC a partir de los análisis regionales. A esta implementación la denominaremos ENS-DA. Cabe destacar que durante este periodo el sistema de asimilación de datos se ejecutó en forma estable, observándose correcciones razonables a partir de las observaciones asimiladas. Se realizó una verificación de los pronósticos de variables de superficie como temperatura y viento, comparándolos con estacionales convencionales. Asimismo, se verificaron los pronósticos de precipitación acumulada diaria provenientes del sistema ENS-DA utilizando como observaciones el producto de estimación satelital de precipitación SQPE desarrollado en el SMN, el cual combina estimaciones satelitales de precipitación con observaciones puntuales de estaciones de superficie, para generar un producto de mayor calidad [33]. En la Figura 5 se aprecia que los miembros del sistema ENS-DA logran representar mejor la distribución de la precipitación acumulada en 24 horas, con respecto a los miembros del SAP.SMN-ENS. Los resultados obtenidos a partir de esta implementación experimental sugieren que la transferencia a operaciones del sistema de asimilación colaborará con la mejora de la calidad de los pronósticos numéricos generados en el SMN.



**Fig. 5.** Función de distribución de probabilidad volumétrica de la precipitación diaria para el SAP.SMN-ENS operativo (ENS), el ensamble con asimilación de datos (ENS-DA) y en barras grises se muestra la distribución de precipitación observada (SQPE).

## 4 Conclusiones

Desde 2020, el sistema de asimilación de datos y pronóstico numérico del Servicio Meteorológico Nacional se procesa continuamente y ha demostrado ser muy útil y de gran valor para diferentes usuarios. Una verificación completa de los resultados de la componente operativa se puede ver en [34], donde se muestran diferentes estadísticos que evidencian su calidad.

Mantener el sistema en un proceso de mejora continua representa un desafío, principalmente, por las limitaciones de recursos computacionales disponibles. Actualmente, la realización de experimentos numéricos necesarios para evaluar mejoras en pos de una nueva implementación operativa, se llevan a cabo en el mismo sistema de cómputo que se utiliza para las ejecuciones operativas. Contar con equipos de cómputo dedicados exclusivamente al desarrollo de la componente experimental permitiría testear nuevas implementaciones con mayor facilidad.

## References

1. Skamarock, W., J. Klemp, J. Dudhia, D. Gill, Z. Liu, J. Berner, X.Y. Huang, 2019: A description of the advanced research WRF model version 4. National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 145(145), 550.
2. García Skabar Y., Matsudo C., Sacco M., Ruiz J.J., Righetti S., 2018: Implementación modelo de pronóstico numérico WRF. Nota Técnica SMN 2018-45.
3. Dillon, M.E., Matsudo, C., 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.
4. de Elía R., M. Gené, V. Sala, P. Loyber, Y. García Skabar, M. Arianna, 2020: Un salto en la potencia de cálculo en el SMN: cómo se adquirió el nuevo HPC. Nota Técnica SMN 2020-67.
5. Cutraro, 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.



6. Righetti, S., F. Cutraro, Y. García Skabar y M. Sacco, 2024: Calibración de los pronósticos horarios de magnitud del viento. Nota Técnica SMN 2024-162.
7. Righetti, S., F. Cutraro, Y. García Skabar y M. Sacco, 2024: Calibración de los pronósticos de precipitación acumulada diaria. Nota Técnica SMN 2024-164.
8. Cutraro, F., Y. García Skabar y M. Sacco, 2022: Imágenes satelitales sintéticas a partir del modelo WRF. Nota Técnica SMN 2022-117.
9. Hunt, B. R., Kostelich, E. J. and Szunyogh, I. 2007. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, 230, 112–126.
10. 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.
11. Iglesias M., Dillon M.E., García Skabar Y. 2022. Impacto de la inclusión del nudging espectral en los análisis y pronósticos regionales generados con el LETKF-WRF. *Meteorológica*, Vol 47 no 1.
12. Corrales P., Galligani V., Ruiz J., Sapucci L., Dillon M.E., García Skabar Y., Sacco M., Schwartz C., Nesbitt S. 2023. Hourly Assimilation of Different Sources of Observations Including Satellite Radiances in a Mesoscale Convective System Case During RELAMPAGO campaign. *Atmos. Res.*, Vol 281, 19p.
13. Casaretto G., Dillon M.E., Garcia Skabar Y., Ruiz J., Sacco M. 2023. Ensemble Forecast Sensitivity to Observations Impact (EFSOI) applied to a regional data assimilation system over south-eastern South America. *Atmos. Res.*, Vol 295, 14 p.
14. 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.
15. Iacono, M. J., J. S. Delamere, E. J. Mlawer, M. W. Shephard, S. A. Clough, and W. D. Collins, 2008: Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. Geophys. Res.*, 113, D13103.
16. Yang, Z.-L., G.-Y. Niu, K. E. Mitchell, F. Chen, M. B. Ek, M. Barlage, L. Longuevergne, K. Manning, D. Niyogi, M. Tewari, and Y. Xia, 2011: The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 2. Evaluation over global river basins. *J. Geophys. Res.*, 116, D12110.
17. Chen, S.-H. and W.-Y. Sun, 2002: A one-dimensional time dependent cloud model. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 80(1), 99–118.
18. Hong, S.-Y. and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6), *J. Korean Meteor. Soc.*, 42, 129–151.
19. Hong, S.-Y., Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
20. Dyer, A. J., and B. B. Hicks, 1970: Flux-gradient relationships in the constant flux layer, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, 715–721.
21. Shin, H. H., and S.-Y. Hong, 2015: Representation of the subgrid-scale turbulent transport in convective boundary layers at gray-zone resolutions. *Mon. Wea. Rev.*, 143, 250–271.
22. Zhou, X., Y. Zhu, D. Hou, Y. Luo, J. Peng, R. Wobus, 2017: Performance of the New NCEP Global Ensemble Forecast System in a parallel Experiment. *Weather Forecast.* 32, 1989–2004.
23. Jung, T., 2005: Systematic errors of the atmospheric circulation in the ECMWF forecasting system. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 131, 1045–1073.
24. Kalnay, E., 2003: *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge University Press, 369 pp.
25. Glahn, H.R. y D. A. Lowry, 1972: The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting techniques development laboratory. *Journal of Applied Meteorology*, 11, 1203–1211.
26. Klein, W. H. y F. Lewis, 1970: Computer forecasts of maximum and minimum temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 9, 350–359.

27. 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.
28. Miyoshi T. y M. Kunii, 2011: The local ensemble transform Kalman filter with the Weather Research and Forecasting Model: Experiments with real observations. *Pure Appl. Geophys.*, 169, 321–333.
29. Whitaker J.S. y T. M. Hamill, 2012: Evaluating methods to account for system errors in ensemble data assimilation. *Monthly Weather Review*, 140, 3078–3089.
30. Greybush, S. J., E. Kalnay, T. Miyoshi, K. Ide, y B. R. Hunt, 2011: Balance and ensemble Kalman filter localization techniques. *Monthly Weather Review*, 139 (2), 511-522.
31. de Elía R., L. Vidal, P. Lohigorry, R. Mezher y M Rugna, 2017: La red Argentina de radares meteorológicos de Argentina. *Nota Técnica SMN* 2017-39.
32. Maldonado, P., M. E. Dillon, C. Matsudo, G. Casaretto, M. Sacco, F. Cutraro, D. Yañez, S. Righetti, M. Alvarez Imaz, Y. García Skabar, J. Ruiz, S. Osore. Evaluation of the Data Assimilation and Numerical Weather Forecasting System of the Argentinian National Meteorological Service. 8th WMO Workshop on the Impact of various observing systems on numerical weather prediction and earth system prediction. Norrkoping, Sweden, 2024.
33. Hobouchian, M. P., G. Díaz, L. Vidal, Y. García Skabar, L. Ferreira, M. Maas, M. S. Rossi Lopardo, H. Veiga y M. Rugna, 2021: Ajuste de la estimación de precipitación satelital IMERG con observaciones pluviométricas en Argentina. *Nota Técnica SMN* 2021-105.
34. Matsudo C., Y. Garcia Skabar, 2023: Verificación de los pronósticos del Sistema de Asimilación y Pronóstico numérico del SMN para el período 2020-2022. *Nota Técnica SMN* 2023- 145.