

# Estimación de precipitación diaria en base a la combinación de datos satelitales y pluviométricos en Argentina

María Paula Hobouchian<sup>1</sup>, Gonzalo Díaz<sup>1</sup>, Felix Carrasco<sup>2</sup>,  
Ramón de Elía<sup>1</sup>, Luciano Vidal<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA-MECON)  
[phobouchian@smn.gob.ar](mailto:phobouchian@smn.gob.ar)

**Resumen.** El rol de la precipitación en actividades socioeconómicas, los desafíos en su representación espacial y temporal, y las limitaciones en su medición directa, impulsan la combinación de distintas fuentes de datos para mejorar la estimación de precipitación. En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de un producto experimental de estimación de precipitación por satélite con ajuste pluviométrico (SQPE-OBS, por siglas que provienen del inglés). El producto SQPE-OBS combina la estimación satelital IMERG Early Run con las observaciones pluviométricas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, de los países limítrofes y de terceros. El ajuste inicial se realiza con un PDF-matching histórico y una interpolación del BIAS local en escala diaria para el sur de Sudamérica. La evaluación del producto en un periodo de 3 años mostró resultados alentadores y los beneficios de la integración continua de redes de observación por parte del SMN.

**Palabras clave:** Lluvia, sensoramiento remoto, calibración.

## 1 Introducción

La precipitación tiene un rol fundamental en diversas actividades científicas y socioeconómicas. La complejidad de esta variable implica un desafío en su representación espacial y temporal. Las mediciones directas y puntuales con observaciones pluviométricas son consideradas los datos de referencia, aunque no representan adecuadamente los patrones espaciales de la precipitación. Además, la red de observaciones puede no tener una distribución homogénea como es el caso de Argentina.

Entre las mediciones indirectas de la precipitación, las estimaciones de precipitación por radar permiten capturar la estructura espacial de la precipitación, pero requieren de un sofisticado control de calidad y no siempre cubren completamente la región de interés. Por su parte, las estimaciones de precipitación por satélite (SQPE, por sus siglas en inglés) tienen la ventaja de una cobertura espacial

homogénea y la continua evolución de productos reconocidos a nivel global con acceso libre.

Estos motivos impulsan la utilización y evaluación de las estimaciones de precipitación por sensores remotos, así como la combinación de las distintas fuentes de datos para mejorar la estimación de precipitación a nivel regional.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina tiene un recorrido de trabajo en el análisis, implementación, validación y mejoras de las estimaciones SQPE [1]. Para avanzar en la combinación de datos de precipitación, es necesario estudiar la estructura espacial de esta variable para definir los radios de influencia. En esta línea, varios trabajos estudiaron la correlación espacial de la precipitación según la época del año y la organización de los sistemas precipitantes [2, 3].

Las estimaciones SQPE integran múltiples datos satelitales y pluviométricos para mejorar su calidad. La caracterización de errores depende del algoritmo utilizado, las condiciones de la superficie, la región y época del año [4]. Las correcciones del error sistemático (bias, por su nombre en inglés) más comunes son aditivas o multiplicativas, interpolaciones con pesos por la distancia inversa (IDW, por sus siglas en inglés), métodos de estimación óptima a partir de derivar una función de costo, métodos de Kriging, correcciones por la máxima coincidencia entre distribuciones (PDF-matching, por su nombre en inglés), y algunas técnicas de aprendizaje automático con bosques aleatorios, entre otras.

Para contribuir a mejorar la estimación de la precipitación a partir de los productos SQPE, en este trabajo se muestran los avances en el estudio de la estructura espacial de la precipitación, el desarrollo experimental de un ajuste pluviométrico y la validación del producto disponible en Argentina.

## 2 Datos

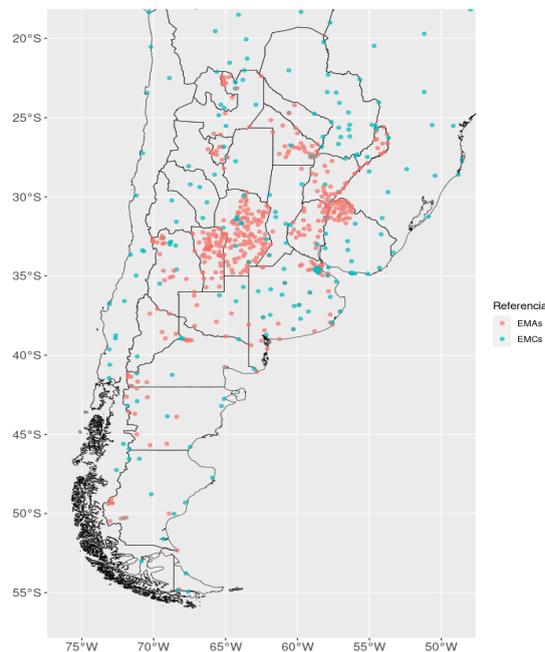
Los datos SQPE utilizados parten de la estimación Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement [5] Final Run con ajuste pluviométrico (IMERG FR) para las distancias de correlación, y Early Run de menor latencia (IMERG ER) para el ajuste pluviométrico. Estos datos tienen una resolución espacial de  $0.1^\circ$  y se procesaron en escala diaria desde el 2001.

Para la validación del producto desarrollado, se agregó la versión Late Run (IMERG LR) en la comparación, así como la estimación Global Satellite Mapping of Precipitation [6] en su versión Near Real Time (GSMaP NRT) y Real Time (GSMaP NOW).

Los datos pluviométricos que el producto SQPE-OBS utiliza diariamente varían en base a su disponibilidad y calidad para cada día específico. Estos datos provienen de las estaciones meteorológicas convencionales (EMCs) del SMN y de las redes oficiales de los países limítrofes (Figura 1). Este grupo de estaciones conforman la red de referencia, es decir, la red de datos con mayor confiabilidad. Ante una limitada representación espacial con datos oficiales por falta de cantidad de puntos de observación, se determinó agregar más observaciones mediante el uso de información de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), algunas del propio SMN y muchas

otras de terceros (Figura 1). Algunos de los datos provenientes de EMAs pertenecientes a terceros se encuentran integradas al repositorio interno de datos del SMN, mientras que otras son obtenidas a partir de servicios externos al SMN. Entre las redes de terceros podemos incluir a: Bolsa de Cereales de Córdoba y Entre Ríos, Ministerio de Producción de Chaco y Corrientes, SINARAME, Represa Salto Grande, Universidad de La Punta de San Luis, IANIGLA, Red Hidrológica Nacional, entre otras. El proceso de captura de datos de todas las redes de estaciones y un control de cantidad de datos faltantes permitidos por día para generar el valor acumulado diario se encuentran documentados en una plataforma de desarrollo de software GitLab oficial del SMN. Para remover errores críticos en los datos pluviométricos, se aplican técnicas basadas en datos satelitales [7, 8] y un método de consistencia espacial [9]. Por último, en el marco de un proyecto público-privado (FONTAR) se llevó a cabo el desarrollo de una aplicación web para la evaluación de datos en base a metodologías de correlación espacial [10]. Esta herramienta permite definir un grado de confiabilidad a los datos de las redes de terceros.

La región de estudio se ubica al sur de Sudamérica ( $56^{\circ}\text{S}$ - $20^{\circ}\text{S}$  y  $76^{\circ}\text{O}$ - $49^{\circ}\text{O}$ ) y se utilizaron seis regiones climáticas definidas por la Dirección Central de Monitoreo del Clima del SMN [11]. Los trimestres considerados son diciembre-enero-febrero (DEF), marzo-abril-mayo (MAM), junio-julio-agosto (JJA) y septiembre-octubre-noviembre (SON).



**Fig. 1.** Red de estaciones meteorológicas disponibles en escala diaria compuesta por las EMCs del SMN y de los países limítrofes (*círculos celestes*) denominada red de referencia, y compuesta por las EMAs del SMN y de terceros (*círculos rojos*) denominada red integrada.

### 3 Metodología

Para estudiar la estructura espacial de la precipitación, se utilizó la serie diaria de IMERG FR y se estimó la distancia a partir de la cual la correlación entre un punto de interés con el resto del entorno decae exponencialmente. A tal efecto, se calculó la correlación de Kendall Tau Rank más robusta para la variable precipitación en función de la distancia [2] y se ajustó un modelo de decaimiento exponencial [3].

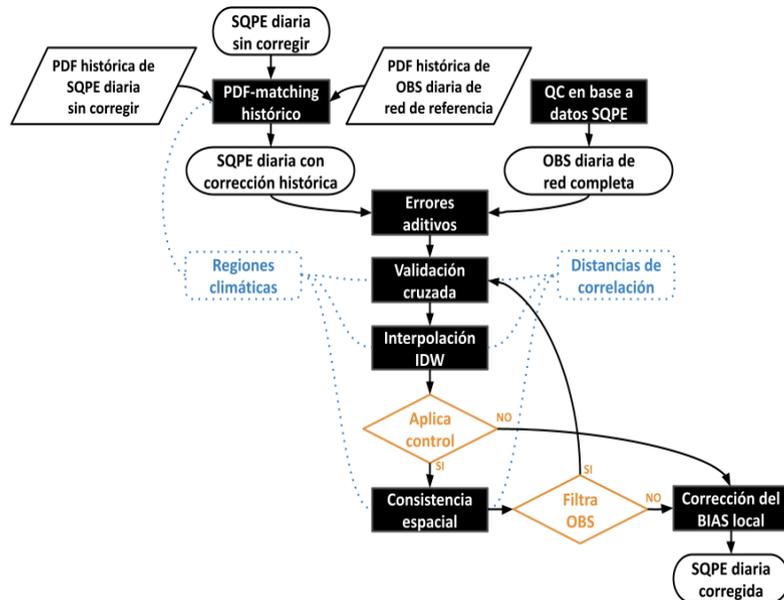
Las distancias de correlación se calcularon por trimestres y se utilizan como radios de influencia de la precipitación en el proceso de interpolación del bias para corregir la SQPE de base. Los valores más grandes se encuentran en las regiones asociadas a una mejor organización de los sistemas precipitantes en el trimestre de análisis.

Para combinar IMERG ER con datos pluviométricos diarios se aplicó: 1) una corrección histórica por PDF-matching por regiones y trimestres [12]; y 2) una corrección local por interpolación del bias basada en una modificación de la técnica IDW [9]. El producto resultante se denomina SQPE-OBS y está implementado de manera experimental en el SMN. La Figura 2 muestra el diagrama de flujo que resume los pasos principales de la metodología.

El método de PDF-matching permite remover el bias de la estimación satelital mejorando la magnitud estimada y la distribución de eventos de precipitación. Los factores de corrección se obtienen de la coincidencia entre las distribuciones de los datos diarios de IMERG Early Run y de la red pluviométrica de referencia desde el año 2001.

El método de interpolación del bias permite reforzar la medición directa observada en el día de interés e incluir el valor agregado de las EMAs disponibles. La modificación de la técnica IDW considera la densidad de la red de datos utilizada y se aplica diariamente sobre la estimación satelital IMERG ER (corregida previamente con el PDF-matching) utilizando la red completa de observaciones pluviométricas.

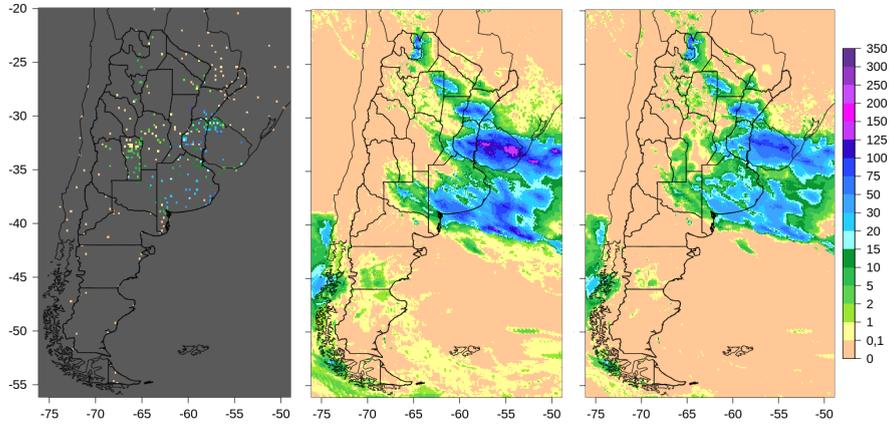
La validación del producto se realizó en un periodo de 3 años entre el 01/08/2018 y el 31/07/2021. La selección de datos para la evaluación consistió en una muestra aleatoria uniforme de la red de referencia de cada región climática (10% del total de observaciones). Esta muestra se separó para la evaluación y se generó una nueva serie de datos SQPE con ajuste pluviométrico. Para el análisis, se calcularon distintos índices estadísticos continuos y categóricos por regiones y trimestres, así como gráficos que facilitaron el análisis como las PDFs-volumétricas [13], el diagrama de rendimiento [14] y el diagrama de Taylor [15].



**Fig. 2.** Diagrama de flujo del producto SQPE-OBS con los pasos de la metodología (rectángulos llenos negros), los datos de entrada/salida e históricos (borde lleno negro), los datos fijos calculados previamente (borde punteado azul) y las instancias de decisión (borde lleno naranja).

## 4 Resultados

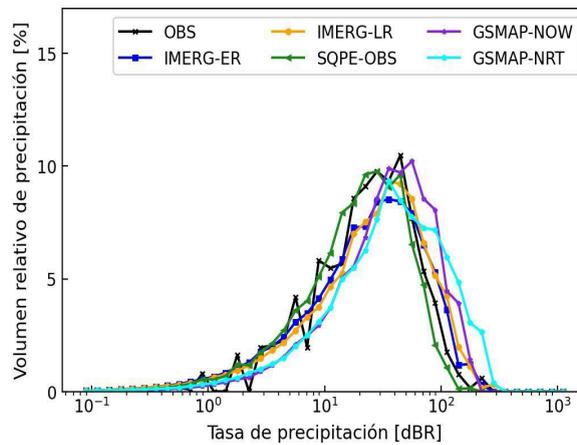
A la fecha de este trabajo, el producto SQPE-OBS tiene una latencia de aproximadamente 4 horas que depende del último dato de IMERG ER disponible. El proceso de ajuste dura aproximadamente 5 minutos y la salida numérica se dispone en formato GeoTIFF y NetCDF. En la Figura 3 se muestra la precipitación obtenida para el día pluviométrico del 10 de abril de 2021 como ejemplo de la visualización del producto.



**Fig. 3.** Precipitación [mm/día] del 10 de abril de 2021 a partir de la red de observaciones pluviométricas disponible (*panel izquierdo*), IMERG ER sin corregir (*panel central*), y producto combinado SQPE-OBS (*panel derecho*).

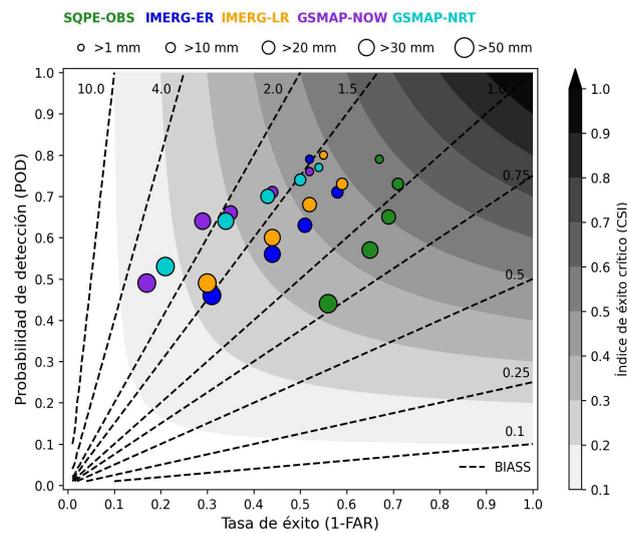
En cuanto a la validación, se destacan los resultados principales en el periodo completo de estudio y en el dominio total del producto.

Las PDFs volumétricas (Figura 4) muestran una mejor correspondencia de la distribución del producto SQPE-OBS (línea verde) con la distribución observada en superficie (línea negra), en comparación con las distribuciones del resto de los productos que están levemente corridas hacia los intervalos de precipitación más intensa.



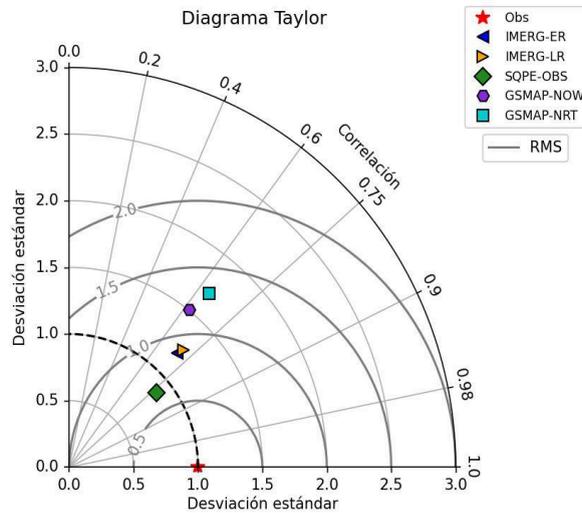
**Fig. 4.** PDFs volumétricas con las distribuciones de la precipitación estimada por IMERG ER (*línea azul*), IMERG LR (*línea naranja*), GSMaP NOW (*línea violeta*), GSMaP NRT (*línea celeste*), SQPE- OBS (*línea verde*) y la precipitación observada en superficie (*línea negra*).

El diagrama de rendimiento (Figura 5) resume los mejores resultados de los índices categóricos en la esquina superior derecha y sobre la diagonal del gráfico. De este modo, la tasa de éxito y la probabilidad de detección son más altas y las falsas alarmas son más bajas, mientras que se reduce la sobrestimación o subestimación del producto respecto a los eventos observados en superficie. Los resultados son más favorables en el caso del producto SQPE-OBS considerando principalmente el umbral de 10 mm. El resto de los productos se apartan de la zona de mejor rendimiento, mostrando una sobrestimación para las versiones de IMERG y mayor aún para las versiones de GSMaP.



**Fig. 5.** Diagrama de rendimiento de la precipitación estimada por IMERG ER (*azul*), IMERG LR (*naranja*), GSMaP NOW (*violeta*), GSMaP NRT (*celeste*) y SQPE- OBS (*verde*) para los umbrales 1, 10, 20, 30 y 50 mm.

El diagrama de Taylor (Figura 6) contribuye a este último análisis, donde el producto SQPE-OBS se separa del resto con una mayor correlación, menor error y dispersión, mientras que los resultados son menos favorables en el caso de los productos IMERG y GSMaP en línea con lo mencionado anteriormente.



**Fig. 6.** Diagrama de Taylor de la precipitación estimada por IMERG ER (*azul*), IMERG LR (*naranja*), GSMaP NOW (*violeta*), GSMaP NRT (*celeste*) y SQPE-OBS (*verde*).

## 5 Conclusiones

Este trabajo describe los avances en el producto experimental SQPE con ajuste pluviométrico (SQPE-OBS) desarrollado en el SMN. Este producto tiene el valor agregado local de la integración continua de redes de observación en superficie por parte del SMN que otras agencias globales no disponen.

La validación mostró que la SQPE de base sin ajuste sobreestima la ocurrencia de precipitaciones débiles, así como la magnitud de las precipitaciones más intensas. Asimismo, el desempeño del producto SQPE-OBS fue mejor respecto a los productos sin ajuste pluviométrico.

Si bien este trabajo no incluye la validación completa por regiones y trimestres debido a la gran cantidad de gráficos similares, los resultados fueron más favorables en la región del Noreste y Centro este de Argentina, con mayores limitaciones en las regiones del Noroeste y la Patagonia. A su vez, los resultados fueron mejores durante el verano en comparación con el invierno.

A futuro, se espera que el producto siga evolucionando con la incorporación de nuevas observaciones pluviométricas de calidad y los avances en la SQPE de base utilizada. Además, se planea cambiar la segunda corrección del bias por otro método de combinación óptima que mejore la representación de los patrones espaciales de precipitación.

## Referencias

1. Hobouchian, M.P., Díaz, G., Vidal, L., García Skabar, Y., Ferreira, L., Maas, M., Rossi Lopardo, M.S., Veiga, H., Rugna, M.: Ajuste de la estimación de precipitación satelital IMERG con observaciones pluviométricas en Argentina. Nota Técnica SMN 2021-105 (2021).
2. Gervais, M., Tremblay, L.B., Gyakum, J.R., Atallah, E.: Representing Extremes in a Daily Gridded Precipitation Analysis over the United States: Impacts of Station Density, Resolution, and Gridding Methods. *Journal of Climate*, 27, 5201-5218 (2014).
3. Tokay, A., Roche, R.J., Bashor, P.G.: An Experimental Study of Spatial Variability of Rainfall. *Journal of Hydrometeorology*, 15, 801-812 (2014).
4. Ebert, E.E., Janowiak, J.E., Kidd, C.: Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 88, 47-64 (2007).
5. Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Braithwaite, D., et al.: Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG). *Satellite Precipitation Measurement. Advances in Global Change Research*, vol. 67, Springer (2020).
6. Kubota, T., Aonashi, K., Ushio, T., Shige, S., et al.: Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era. *Satellite Precipitation Measurement. Advances in Global Change Research*, vol. 67, Springer (2020).
7. Rossi Lopardo, M.S., Veiga, H., Díaz, G., Hobouchian, M. P., Ferreira, L.: Control de calidad de datos pluviométricos en tiempo real. Nota Técnica SMN 2021-98 (2021).
8. Chen, M., Shi, W., Xie, P., Silva, V.B.S., Kousky, V.E., Wayne Higgins, R., Janowiak, J.E.: Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *J. Geophys. Res.*, 113, D04110 (2008).
9. Zhang, J., Howard, K., Vasiloff, S., Langston, C., et al.: National Mosaic and multi-sensor QPE (NMQ) system: description, results and future plans. *Bull. Amer. Met. Soc.* 92, 1321-1338 (2011).
10. Díaz, G., Vita, M., Hobouchian, M.P., Ferreira, L., Giordano, L.: Expansión de la red de referencia empleando los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas automáticas de terceros. Nota Técnica SMN 2021-90 (2021).
11. Herrera, N.: Pronóstico trimestral estadístico y estadístico-dinámico del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2022-118 (2022).
12. Gudmundsson, L., Bremnes, J.B., Haugen, J.E., Engen-Skaugen, T.: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations - a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 3383-3390 (2012).
13. Amitai, E., Petersen, W., Lloret, X., Vasiloff, V.: Multiplatform comparisons of rain intensity for extreme precipitation events. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 50, 3, 675-686 (2012).
14. Roebber, P.J.: Visualizing multiple measures of forecast quality. *Wea. Forecasting* 24, 601-608 (2009).
15. Taylor, K.E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.* 106, 7183-7192 (2001).