

INTERCOMPARACIÓN DE DOS METODOLOGÍAS DE CALIBRACIÓN DE PRONÓSTICOS DE TEMPERATURA

Silvina Righetti^{1,2}, Federico Cutraro¹, Rahel Weber³, Omar Bellprat³, Lorena Ferreira¹,
Yanina García Skabar¹
srighetti@smn.gob.ar

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO, FCEyN, UBA)

³ Swiss Federal Office of Meteorology and Climatology (MeteoSwiss)

Palabras clave: RAFK, EMOS, ENANDES

1) INTRODUCCIÓN

En el marco de las colaboraciones entre pares del proyecto ENANDES+ (Sur-Sur-twinning) se identificó la necesidad de mejorar los pronósticos meteorológicos a corto y mediano plazo a partir de la incorporación de la calibración de los mismos usando información observada de estaciones meteorológicas. Actualmente, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) aplica la metodología de Regresión Adaptada basada en el Filtro de Kalman (RAFK) para calibrar los pronósticos horarios de temperatura y viento (determinísticos y ensamble) desde el año 2021 (Cutraro y otros, 2020; Righetti y otros, 2024). Por otro lado, MeteoSwiss también realiza una corrección de sus pronósticos de temperatura por ensambles considerando la metodología Ensemble Model Output Statistics (EMOS) (Gneiting y otros, 2005). En este trabajo se busca realizar una comparación de ambas metodologías aplicadas a los pronósticos por ensamble de temperatura a 2 m generados en el SMN por el Sistema de Asimilación y Pronóstico Numérico (SAP.SMN-ENS; Matsudo y otros, 2022).

2) METODOLOGÍA

Existe una amplia variedad de métodos para corregir los errores de los pronósticos. En el SMN se está aplicando, desde el año 2021, en sus versiones determinística y por ensamble, la metodología RAFK. Este método consiste en una regresión lineal donde los predictores son variables pronosticadas por el modelo numérico y el predictando es el valor observado de la variable pronosticada. Los coeficientes de esta regresión se calculan de forma secuencial aplicando las ecuaciones del filtro de Kalman, lo que permite actualizar sus valores en cada paso de tiempo. Para más detalle de la metodología ver Cutraro y otros (2020).

Por otro lado, existen otros tipos de métodos de postprocesamiento estadístico que se aplican específicamente a los pronósticos por ensamble, donde se busca ajustar sus distribuciones de probabilidad a las observadas. En particular, en MeteoSwiss utilizan el método denominado EMOS que es una variante de la regresión lineal múltiple de la metodología Model Output Statistics (MOS) (Glahn and Lowry, 1972) adaptada a pronósticos por ensamble. Para el caso particular de la temperatura, considerando que esta presenta una distribución gaussiana, con la aplicación del EMOS se busca ajustar la PDF (o CDF) considerando que la distribución de probabilidades presenta:

$$\text{Media: } \mu(t) = a + b\bar{x}(t) \tag{1}$$

$$\text{Desvío estándar: } \tau(t) = \sqrt{c + ds(t)^2} \tag{2}$$

donde $\bar{x}(t)$ es la media del ensamble y $s(t)$ su desvío estándar y a , b , c y d son los coeficientes a ajustar. Para optimizar dichos coeficientes se busca minimizar el estadístico CRPS (Continuous Ranked Probability Score) considerando 30 días de pares de pronóstico-observación pasados. Para más detalle de la metodología, ver Gneiting y otros (2005).

En el presente trabajo se busca entonces comparar las metodologías RAFK y EMOS y analizar el desempeño de las mismas al aplicarlas al ensamble de 20 miembros del SAP.SMN-ENS. Para esto se consideraron los pronósticos horarios de temperatura a 2 m y las observaciones de

las estaciones sinópticas de superficie de toda la Argentina (excepto Antártida). El período de tiempo analizado fue del 1 de diciembre de 2024 al 28 de febrero de 2025.

Para analizar el desempeño de ambas calibraciones se consideraron los siguientes estadísticos calculados para la totalidad de los puntos con observaciones:

- BIAS: Representa el error sistemático o sesgo.
- RMSE: Es la raíz del error cuadrático medio.
- % Acierto: Es el porcentaje de casos en que el pronóstico estuvo a $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de la observación.
- CRPS: Es la generalización del error absoluto medio (MAE) para los pronósticos probabilísticos.

3) RESULTADOS

En la Figura 1 se presentan el BIAS y el RMSE de la media del ensemble en función del plazo de pronóstico, considerando todas las estaciones. Se puede ver que el pronóstico sin corrección presenta un BIAS que fluctúa aproximadamente entre -1°C y $1,5^{\circ}\text{C}$, mientras que al aplicar las metodologías de calibración el BIAS disminuye considerablemente presentando valores entre 0°C y $0,5^{\circ}\text{C}$ en prácticamente todos los plazos de pronóstico. Es importante mencionar que, si bien los resultados de ambas calibraciones disminuyen el error sistemático, parecería ser que RAFK tiene un mejor desempeño en este estadístico. En relación al RMSE también se puede observar una mejora importante al aplicar las correcciones, siendo RAFK levemente mejor a EMOS en las primeras 36 hs de pronóstico.

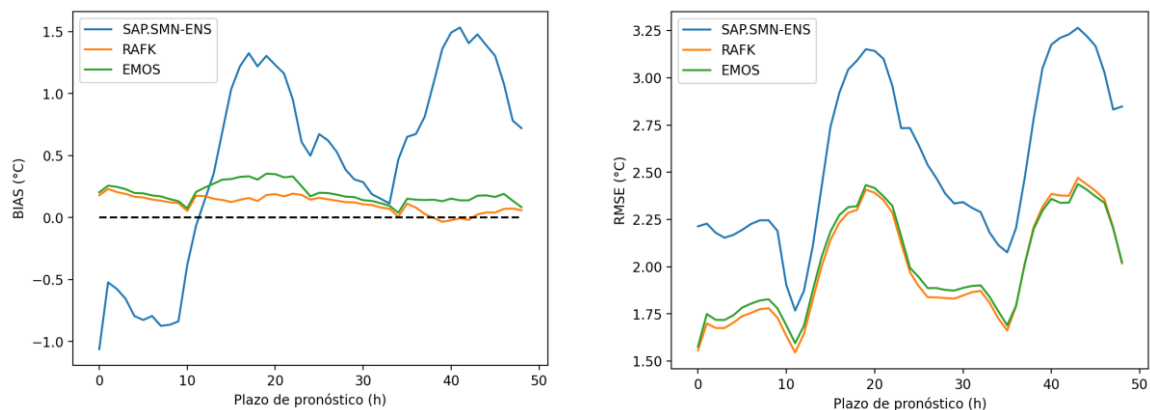


Figura 1: BIAS (izquierda) y RMSE (derecha) en función del plazo de pronóstico para la media del ensemble del SAP.SMN sin calibrar (línea azul), calibrado con RAFK (línea naranja) y calibrado con EMOS (línea verde).

Por otro lado, en la Figura 2 se presenta el porcentaje de acierto y el estadístico CRPS, ambos en función del plazo de pronóstico. Nuevamente se puede apreciar una mejora en las predicciones al calibrar (con ambos métodos), aumentando el porcentaje de aciertos en más de un 10% en casi todos los plazos de pronóstico. Aquí también es posible ver que RAFK tiene un desempeño levemente mejor que EMOS en las primeras 24 hs de pronóstico. En relación al CRPS se observa una disminución del índice al calibrar, pero en este caso los menores valores (mejor desempeño) los presenta EMOS, ya que en el cálculo de los coeficientes se busca minimizar este estadístico.

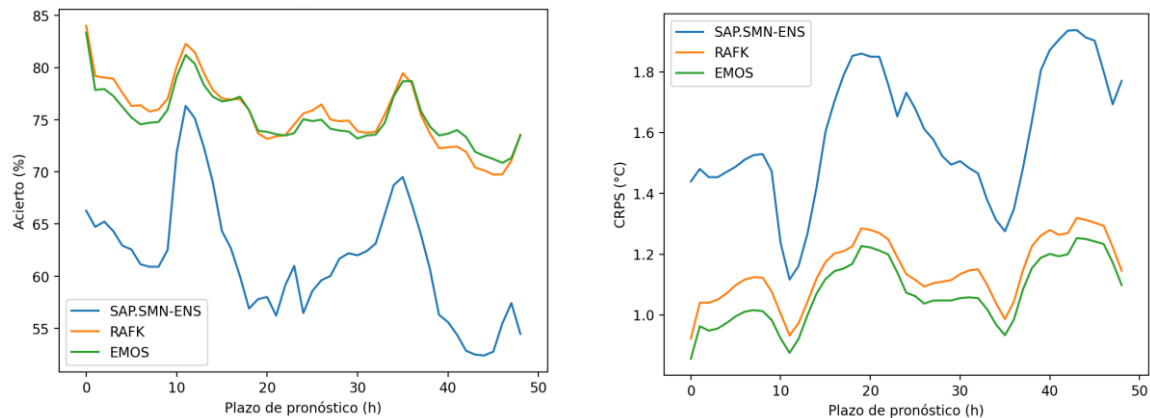


Figura 2: Porcentaje de acierto (izquierda) y CRPS (derecha) en función del plazo de pronóstico para el ensamble del SAP.SMN sin calibrar (línea azul), calibrado con RAFK (línea naranja) y calibrado con EMOS (línea verde).

4) CONCLUSIONES

En el marco del proyecto ENANDES+ se buscó realizar una comparación de 2 metodologías de calibración de pronósticos por ensamble: RAFK (SMN) y EMOS (MeteoSwiss). Al aplicar ambos métodos a los pronósticos realizados por el ensamble del SAP.SMN durante 3 meses se pudo observar que ambas metodologías disminuyen el BIAS y RMSE, siendo levemente mejor el RAFK en las primeras 36 horas. Los aciertos con ambas calibraciones también aumentan considerablemente, llegando en algunos plazos hasta un 20% de mejora. En relación al CRPS, en ambos casos se obtienen valores menores a los de los pronósticos sin calibrar, pero se aprecia un mejor desempeño para el EMOS.

En conclusión, ambas metodologías resultan buenas para reducir los errores sistemáticos y presentan pequeñas diferencias en su desempeño, lo que las convierte en herramientas útiles para ser incorporadas en el desarrollo de servicios. Actualmente, se está trabajando en la mejora del desempeño de la metodología EMOS al incluir información del ensamble del IFS (ECMWF, 2024), siendo los primeros resultados muy alentadores. Por otro lado, como parte de una posible siguiente etapa del proyecto ENANDES+, se está evaluando la posibilidad de extender la calibración a nivel regional, cubriendo toda Sudamérica.

REFERENCIAS

- Cutraro, F., Righetti, S., García Skabar, Y. y Sacco, M., 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Calibración de temperaturas pronosticadas. Nota Técnica SMN 2020-81.
- ECMWF, D. (2024). IFS documentation CY49R1-Part V: Ensemble prediction system. In IFS Documentation CY49R1 (Vol. 5). ECMWF.
- Glahn, H. y Lowry, D., 1972: The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. *Journal of Meteorology*, 11, 1203-1211.
- Gneiting, T., Raftery, A.E., Westveld, A.H. y Goldman, T., 2005: Calibrated probabilistic forecasting using ensemble model output statistics and minimum CRPS estimation. *Monthly Weather Review*, 133,1098–1118.
- Matsudo, C., García Skabar, Y., Righetti, S., Cutraro, F., Sacco, M., Dillon, M. E., Álvarez Imaz, M., Maldonado, P. y Salles, A., 2022: Sistema de Asimilación y Pronóstico Numérico del Servicio Meteorológico Nacional: Componente operativa. XIV Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires, Argentina. 7 al 11 noviembre 2022. Sesión de posters.
- Righetti, S., Cutraro, F., García Skabar, Y. y Sacco, M., 2024: Calibración de los pronósticos horarios de magnitud del viento. Nota Técnica SMN 2024-162.