

# Evaluación de pronósticos numéricos calibrados subestacionales de la temperatura mínima y máxima

Nota Técnica SMN 2024-159

**Alejandro A. Godoy<sup>1</sup>, Federico Cutraro<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, SMN

<sup>2</sup> Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, SMN

Enero 2024

### *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

El pronóstico semanal de temperatura es utilizado por varios sectores para conocer las perspectivas a mayor plazo. En este trabajo se evalúa la calidad de dos técnicas de calibración aplicadas a la temperatura máxima y la temperatura mínima semanal del pronóstico numérico del modelo GFS en un plazo de dos semanas. Las metodologías utilizadas son la BC-NOAA y la Regresión Adaptada basada en el Filtro de Kalman (RAFK). Los resultados muestran que ambas metodologías presentan un buen desempeño en corregir los errores sistemáticos del pronóstico. Sin embargo la metodología RAFK tiene mayores posibilidades de mejora al utilizar datos observados de estaciones. Se analizó también un caso de estudio para una ola de calor que afectó a gran parte del país en la que ambas metodologías lograron reducir un fuerte bias cálido en el pronóstico y en el caso de RAFK, también se observó una mejora en el pronóstico probabilístico.

## Abstract

The weekly temperature forecast is used by various sectors to estimate the longer-term outlook. In this work, the quality of two calibration techniques applied to the weekly maximum temperature and minimum temperature forecast of the GFS numerical model over a period of two weeks is evaluated. The methodologies used are BC-NOAA and Adapted Regression based on the Kalman Filter (RAFK). The results show that both methodologies present good performance in correcting systematic forecast errors. However, the RAFK methodology has greater possibilities for improvement by using observed data from stations. A case study was also analyzed for a heat wave that affected a large part of the country in which both methodologies managed to reduce a strong warm bias in the forecast and in the case of RAFK, an improvement in the probabilistic forecast was also observed.

**Palabras clave:** calibración, pronóstico semanal, temperatura

## Citar como:

Godoy, A. A., F. Cutraro, 2024: Evaluación de pronósticos numéricos calibrados de la temperatura semanal. Nota Técnica SMN 2024-159.

## 1. INTRODUCCION

La calibración de los modelos numéricos ha sido de vital importancia para mejorar la habilidad de los pronósticos de diferentes variables meteorológicas en diferentes escalas de tiempo. Para aplicar estas técnicas se necesita una base de datos observada y una buena capacidad de cómputo. El pronóstico de la variable temperatura es de vital importancia para diferentes sectores como salud, energía, recursos hídricos entre otros. Dependiendo de las necesidades de cada sector, se necesita conocer las perspectivas de temperatura en el mayor plazo de tiempo posible. Los ensambles de pronósticos poseen un error sistemático o sesgo (bias en inglés). El bias se puede eliminar a través de diferentes técnicas de calibración del modelo que permiten obtener un pronóstico de mejor calidad. Con el fin de proveer a los usuarios el mejor producto posible, en este trabajo se evalúa la calidad de dos técnicas de calibración aplicadas a la temperatura máxima y temperatura mínima pronosticadas por el ensamble de GFS en la escala semanal en un plazo de hasta 2 semanas. Estas dos técnicas son la técnica Bias-Corrected de la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (BC-NOAA, Cui y otros 2012) y la Regresión Adaptada basada en el Filtro de Kalman (RAFK) empleada en Cutraro y otros (2020). La verificación de ambas metodologías se llevó a cabo tanto comparando con observaciones en puntos de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) como para campos interpolados de observaciones.

## 2. METODOLOGÍA

Las dos metodologías evaluadas son la BC-NOAA y la RAFK, las mismas intentan estimar el error sistemático en los pronósticos al evaluar cómo los pronósticos calibrados se comparan con las observaciones para luego aplicar una corrección, pero difieren en la forma en que realizan la estimación. A continuación se describen cada una de las metodologías.

### 2.1 BC-NOAA

La metodología de corrección del bias de la NOAA (BC-NOAA, Cui y otros 2012) es un método de post-procesamiento estadístico que aplica un algoritmo similar al filtro de Kalman, para acumular el error sistemático de forma decreciente. La misma es aplicada para sus pronósticos del *North American Ensemble Forecast System* (NAEFS). El sesgo se calcula para todos los plazos de pronóstico como la diferencia entre el análisis  $a_{i,j}(t)$  y el pronóstico  $f_{i,j}(t)$  como  $b_{i,j}(t) = f_{i,j}(t) - a_{i,j}(t)$ . Luego se calcula el promedio del bias decreciente como:

$$B_{i,j} = (1 - w)B_{i,j}(t - 1) + w \cdot b_{i,j}(t)$$

Donde  $B_{i,j}(t - 1)$  es el Bias decreciente del día anterior,  $w$  es un coeficiente y el valor utilizado es el mismo que utiliza la NOAA (un valor de 0,02) de manera tal que incluir los sesgos de los últimos 50 pronósticos respecto al último pronóstico operativo. Finalmente se calcula el pronóstico calibrado como:

$$F_{i,j}(t) = f_{i,j}(t) - B_{i,j}(t)$$

El algoritmo desarrollado en base a esta metodología se aplica a cada punto de retícula de los pronósticos de la media del ensamble de la temperatura máxima media y mínima media semanal.

## 2.2 RAFK

La metodología de Regresión Adaptada basada en el Filtro de Kalman consiste en una regresión lineal múltiple en donde los predictores son variables pronosticadas por el modelo numérico a calibrar y el predictando es la corrección que se debe realizar al pronóstico. A partir de comparar los pronósticos que se realizan día a día con las observaciones, mediante el uso del Filtro de Kalman, los coeficientes de la regresión lineal se ajustan de manera óptima para que la relación hallada entre el predictando y los predictores sea correcta. Para ver en detalle la formulación de la metodología, referirse a Cutraro y otros (2020).

Dado que esta metodología se puede emplear solamente en aquellos puntos en los que se tienen observaciones regularmente, se la aplicó en los puntos donde se encuentran las estaciones meteorológicas de superficie del SMN. Para calibrar aquellos puntos que no poseen observaciones, se realizó una interpolación de los coeficientes obtenidos de la metodología asignando pesos según la inversa de la distancia al cuadrado a los puntos con observaciones al igual que como se describe en Cutraro y otros (2020).

Una ventaja de esta metodología respecto de la BC-NOAA es que permite calibrar cada miembro de un ensamble y no solamente la media, permitiendo así obtener información acerca de la dispersión de este y brindar información acerca de la probabilidad de un evento.

## 3. DATOS UTILIZADOS PARA LA CALIBRACIÓN

### 3.1 Pronósticos

Los pronósticos que se calibraron son los del ensamble de GFS (EGFS) en su corrida de 00Z. Para calcular las mínimas y máximas diarias se tomaron en cuenta los pronósticos cuya validez está comprendida entre las 06Z y 06Z y este valor es el que se comparó con las observaciones.

### 3.2 Observaciones

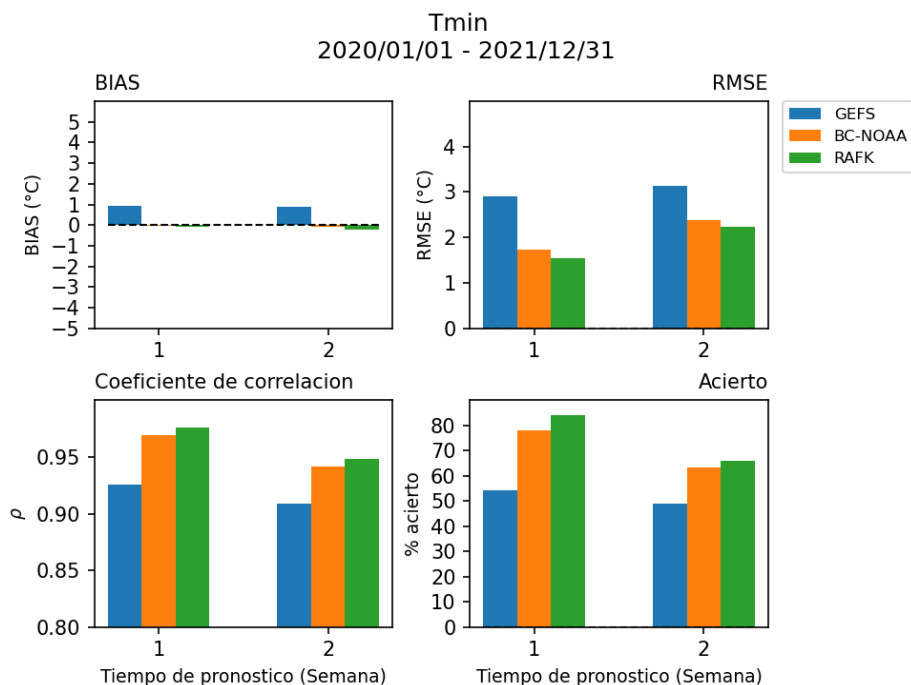
Dado que la metodología BC-NOAA se basa fuertemente en tener observaciones reticuladas, las observaciones que se utilizaron para aplicar en la comparación de ambas metodologías son las generadas por el NCEP-NCAR a partir de interpolar las observaciones recibidas por el Sistema Global de Telecomunicaciones ([https://psl.noaa.gov/thredds/catalog/Datasets/cpc\\_global\\_temp/catalog.html](https://psl.noaa.gov/thredds/catalog/Datasets/cpc_global_temp/catalog.html)), y que se utilizan para calibrar el pronóstico del NAEFS. La metodología RAFK al ser menos restrictiva en ese punto puede utilizar las observaciones obtenidas en las estaciones del SMN, pero para realizar la comparación entre ambas metodologías se optó por tomar las observaciones de la base reticulada para el punto más cercano a las estaciones del SMN. Más allá de esto, se realizó también una evaluación empleando las observaciones del SMN.

Una vez definidos los pares de pronósticos y observaciones correspondientes para el período 2020-2021, se realiza la calibración de los pronósticos de temperatura máxima y temperatura mínima semanal y se realiza la comparación de ambas metodologías.

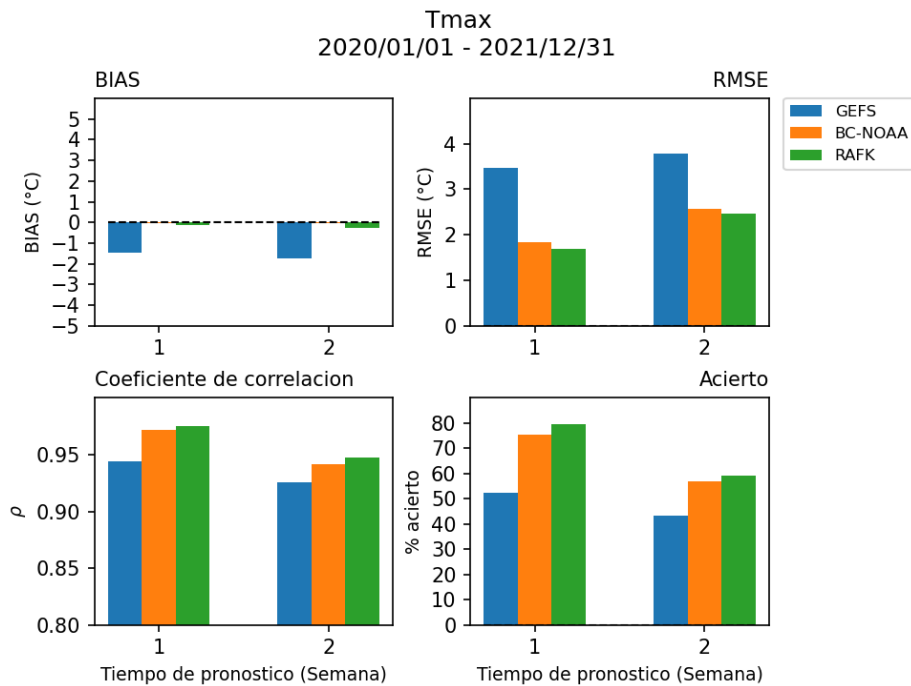
## 4. RESULTADOS

### 4.1 Comparación de metodologías

La primera comparación que se realizó fue para los años 2020 y 2021 en los sitios con estaciones del SMN, aunque como se mencionó anteriormente para realizar la calibración y la verificación se utilizaron las observaciones de la base reticulada tomando el punto más cercano a las estaciones. En las Figuras 1 y 2 se presentan los estadísticos obtenidos de comparar las temperaturas mínimas y máximas del pronóstico sin calibrar y el pronóstico calibrado aplicando las dos metodologías contra las observaciones. Se puede ver que ambas metodologías representan una clara mejora respecto del pronóstico sin calibrar, especialmente para la semana 1, aunque los resultados empleando la metodología RAFK son levemente mejores. Donde principalmente se nota la mejora en los pronósticos calibrados es en el acierto, definido como el porcentaje de casos en que el error en el pronóstico es menor a 2°C, para el cual el pronóstico sin calibrar tiene un acierto que ronda el 50% en la semana 1 y en los pronósticos calibrados ronda el 80%. De este análisis se concluye que para los sitios en donde se aplicó la metodología RAFK, esta presenta un mejor desempeño que la BC-NOAA.



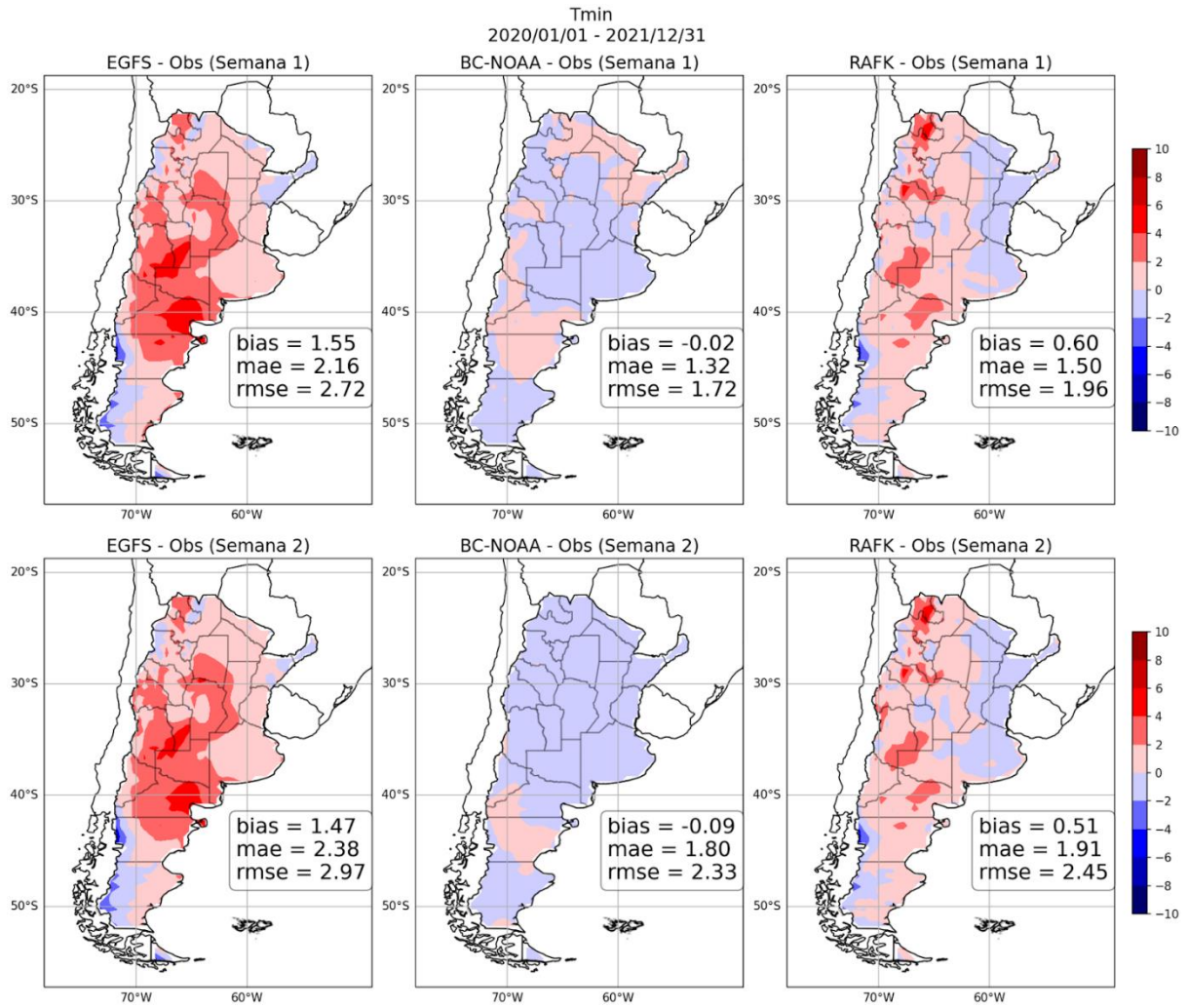
**Fig. 1:** Estadísticos calculados para la temperatura mínima semanal comparando los pronósticos calibrados y sin calibrar con las observaciones de la base de datos reticulada.



**Fig. 2:** Ídem Figura 1 pero para la temperatura máxima semanal.

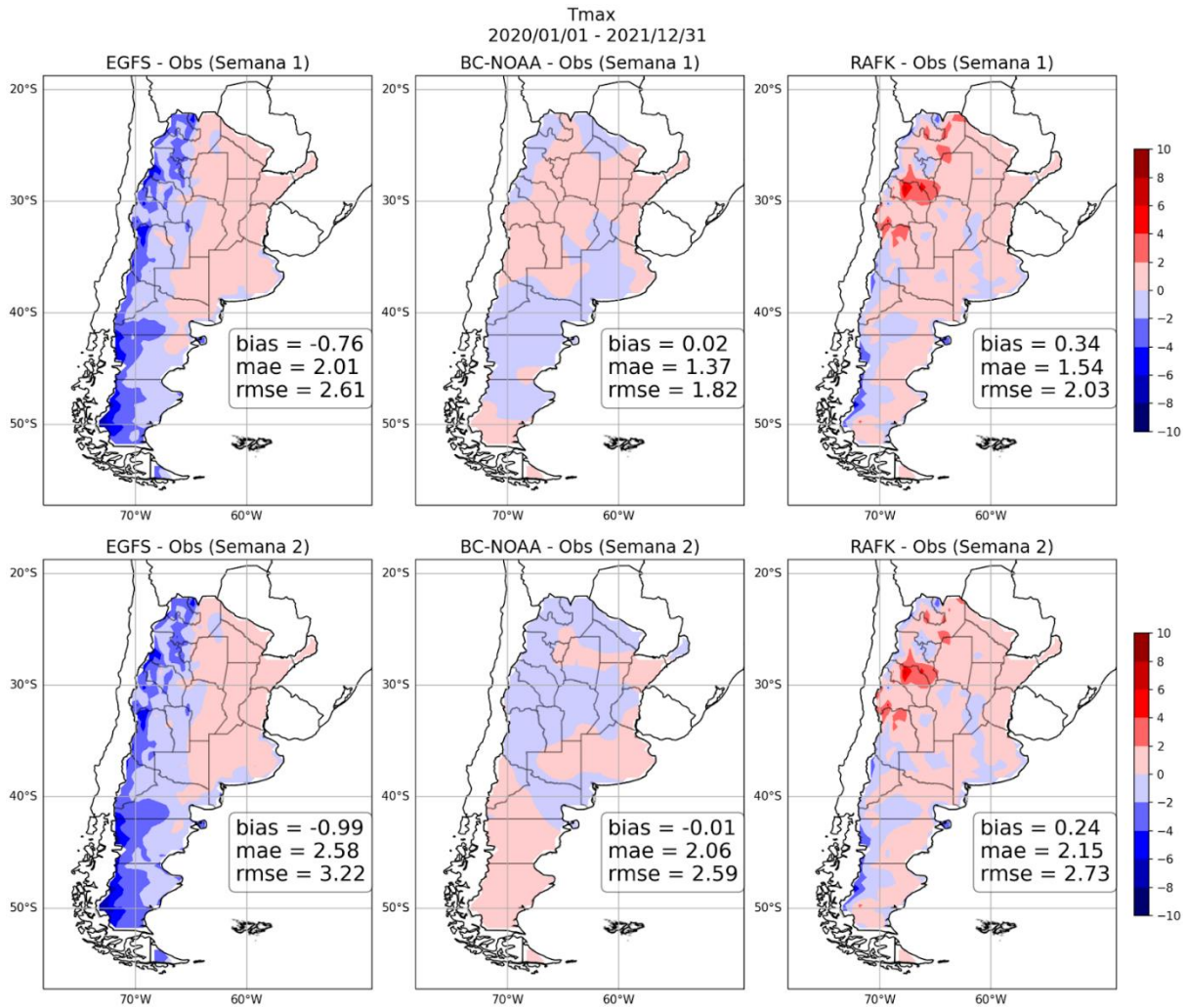
El siguiente análisis realizado fue el de comparar los campos pronosticados y calibrados con la base de datos reticulada. En la Figura 3 se muestran los campos de bias entre los pronósticos sin calibrar y calibrados de temperatura mínima contra las observaciones y estadísticos que resumen la información total del campo. En los pronósticos sin calibrar, para las dos semanas, se puede ver un claro bias positivo indicando que los pronósticos tienden a tener temperaturas mayores que las observadas, especialmente en el norte de la Patagonia y la región central. En los pronósticos calibrados con la metodología RAFK, el bias es reducido en gran parte quedando solo algunas regiones con valores mayores a 2 °C que se pueden asociar a zonas con menor densidad de estaciones meteorológicas y la calibración proviene de la interpolación con estaciones que podrían no estar representando las particularidades específicas de la región. Con la metodología BC-NOAA la corrección es aún mejor presentando un bias cercano a cero, uniforme a lo largo de todo el país y con mejores estadísticos que con RAFK.

En la Figura 4 se muestra la misma comparación pero para la temperatura máxima. En este caso los pronósticos sin calibrar presentan una temperatura máxima menor en la región cordillerana y mayor en el este del país respecto de la observación. Ambas metodologías realizan un gran trabajo reduciendo estos sesgos presentando un desempeño prácticamente similar excepto en algunas regiones del noroeste donde RAFK realiza una sobre-corrección generando un bias positivo donde los pronósticos presentaban uno negativo.



**Fig. 3:** Campos de bias de la media del ensamble para los pronósticos de temperatura mínima sin calibrar (primera columna) y calibrados con la metodología RAFK (segunda columna) y BC-NOAA (tercera columna) para las semanas 1 (primera fila) y 2 (segunda fila).



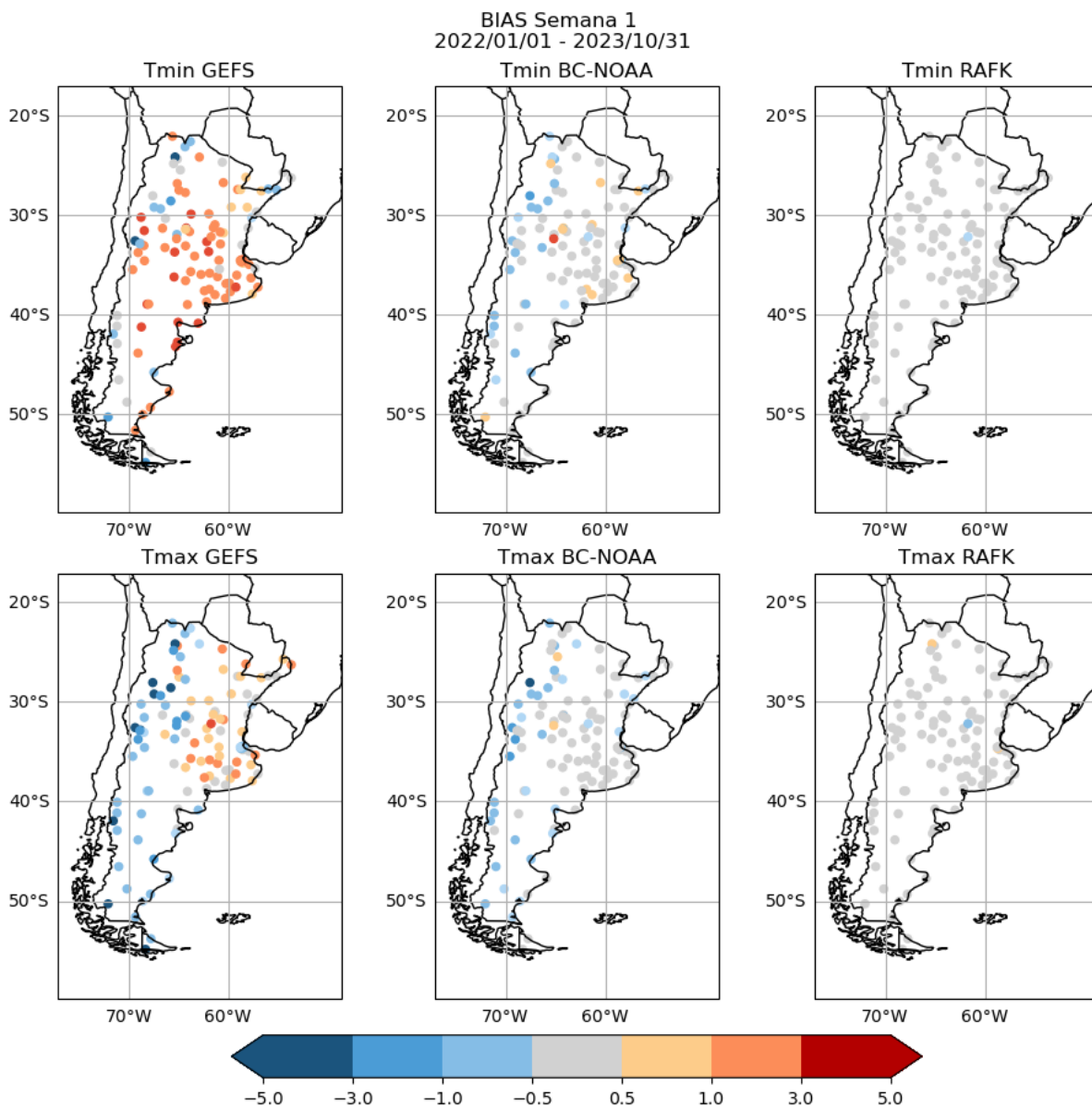


**Fig. 4:** Ídem Figura 3 pero para la temperatura máxima.

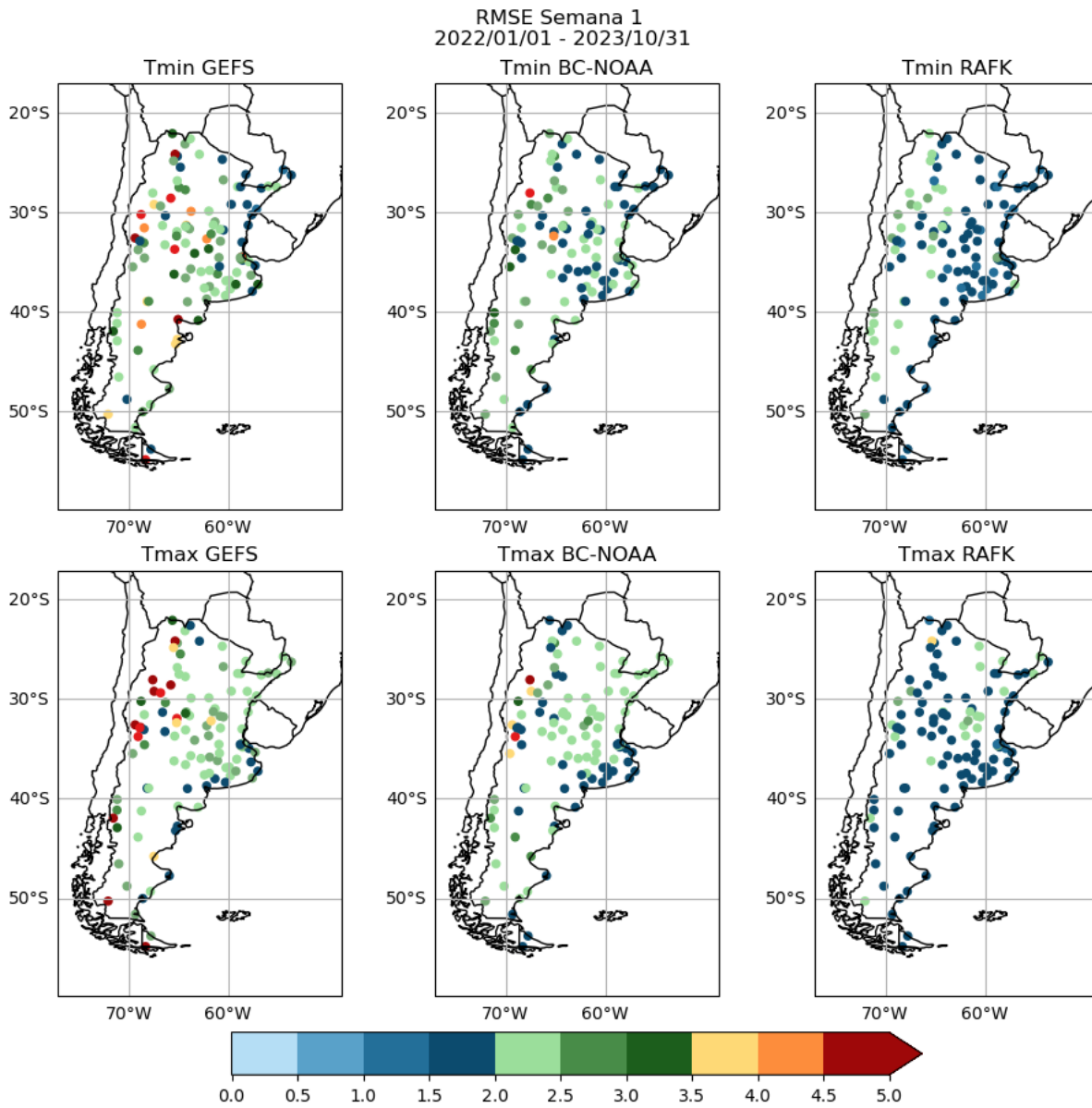
De la comparación de las dos metodologías de calibración se concluye que ambas mejoran el pronóstico respecto del no calibrado teniendo cada una mejores resultados en el análisis más favorable para cada una de ellas. Por un lado, al analizar a nivel de estación meteorológica, la metodología RAFK por ser aplicada específicamente en esos puntos y presentar un esquema de adaptación a cambios en el error del modelo más sensible, ofrece mejores resultados que BC-NOAA. Por otro lado, al analizar los campos de temperatura pronosticada, como BC-NOAA emplea los mismos campos que se usaron para verificar para realizar la calibración, era de esperar que presentara mejores resultados ya que cualquier característica que las observaciones pudieran tener se transfiere al pronóstico durante la calibración. Más allá de eso, es para destacar el buen resultado que brinda la metodología RAFK sólo con calibrar en una pequeña cantidad de puntos y realizar una interpolación a todo el dominio.

## 4.2 Comparación con observaciones del SMN

Para este análisis, el cambio que se hizo fue el de emplear las observaciones de estaciones del SMN para calibrar con la metodología RAFK y para verificar los pronósticos y calibraciones. En este caso, se actualizó el período analizado por uno más reciente comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de octubre de 2023. En la Figura 5 se muestra el bias calculado para las temperaturas mínimas y máximas de la semana 1 comparando con estaciones del SMN. Se puede ver que ambas metodologías mejoran sustancialmente el pronóstico, pero RAFK tiene un mejor desempeño, especialmente sobre la cordillera, donde logra reducir aún más el bias respecto de BC-NOAA. Al graficar el RMSE (Figura 6) se observa también una mejora en los pronósticos al utilizar ambas calibraciones pero esta es más notoria al emplear RAFK.



**Fig. 5:** Bias para las temperaturas mínimas y máximas de la semana 1 comparando ambas metodologías de calibración con las observaciones de estaciones meteorológicas del SMN.

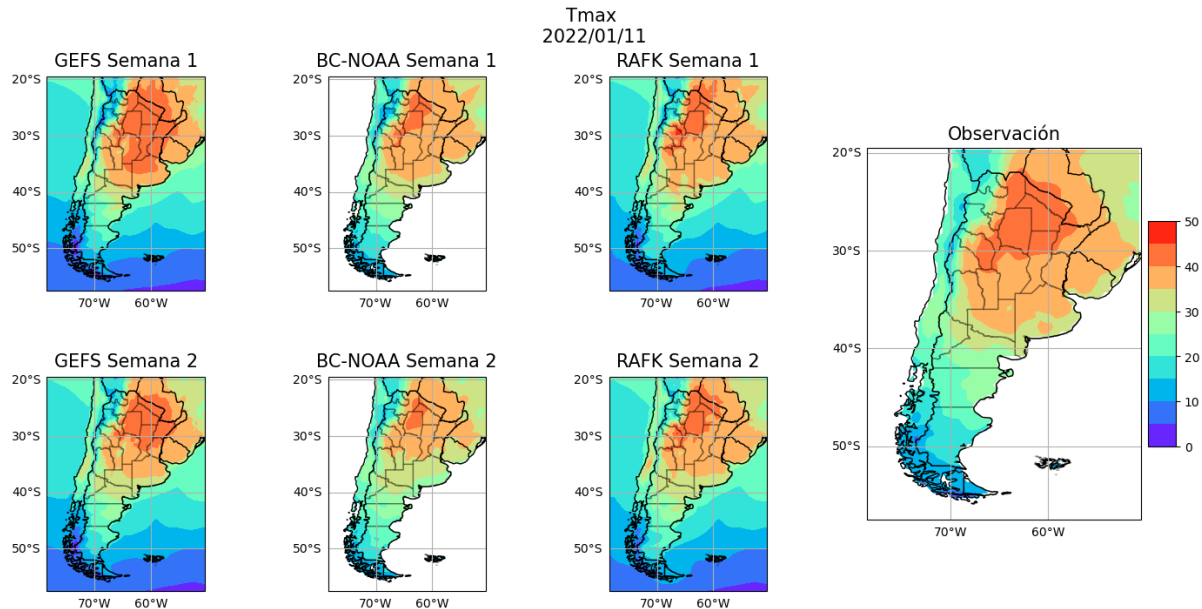


**Fig. 6:** Ídem Figura 5 pero para el RMSE.

### 4.3 Caso de estudio

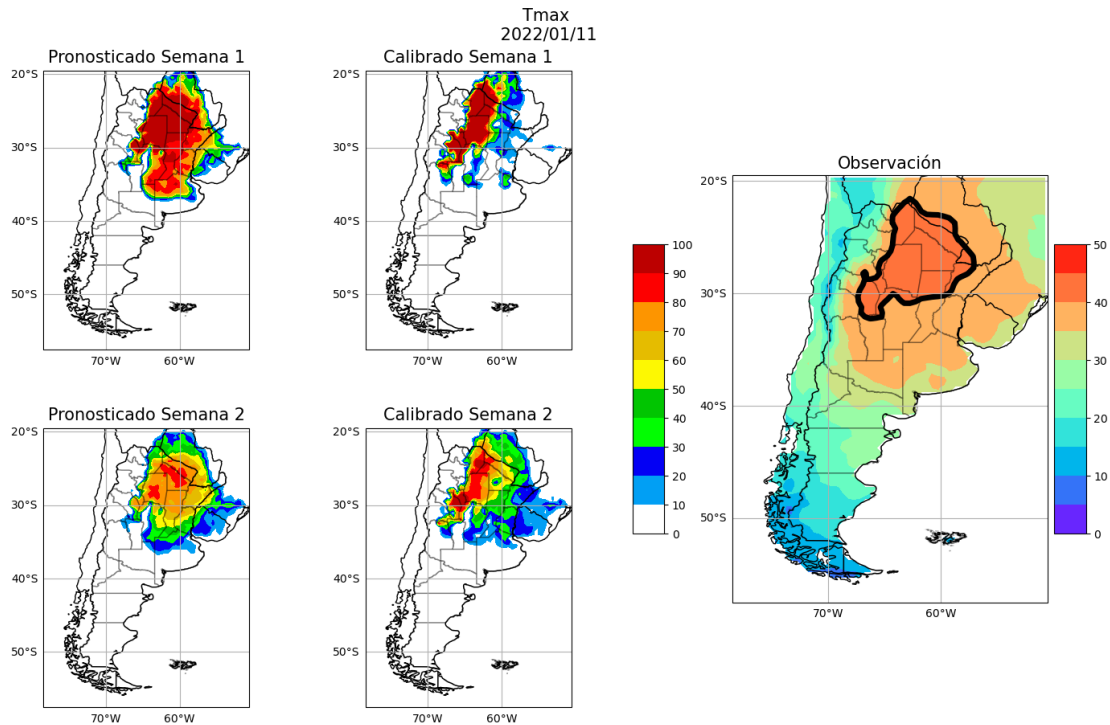
La última evaluación que se hizo fue la de comparar el desempeño de ambas metodologías en un caso de estudio específico, con el fin de mostrar la utilidad de los pronósticos calibrados y los pronósticos probabilísticos. Para ello se eligió la ola de calor que ocurrió en enero del año 2022 en el que se superaron los 40°C en gran parte del centro y norte del país. La semana que se usó para verificar fue la comprendida entre los días 11 y 17 de enero del 2022 y los pronósticos que se utilizaron fueron los realizados el día 11 de enero para el caso de la primera semana y el 4 de enero para la segunda semana. En la Figura 7 se muestran los pronósticos de temperatura máxima media para las semanas 1 y 2 de ambas metodologías y la observación. Lo que resalta de esta figura es la sobrestimación del área con una temperatura media

mayor a 40°C en el pronóstico sin calibrar, sobreestimación que es claramente corregida por ambas metodologías de calibración pero que RAFK logra aproximar mejor a la observación.



**Fig. 7:** Campos de temperatura máxima media pronosticados, calibrados con las metodologías BC-NOAA y RAFK y observados para la semana comprendida entre el 11 y el 17 de enero de 2022 en pronóstico a 1 y 2 semanas.

Dado que la metodología RAFK, al calibrar todos los miembros y no solo la media, permite representar la distribución del ensamble, se estimó la probabilidad de que la temperatura sea mayor a 40°C en los pronósticos sin calibrar y calibrados. Estas probabilidades se muestran en la Figura 8 en la que se añadió el campo observado con la isoterma de 40°C marcada en línea negra a modo de referencia. Para la semana 1 se puede ver que el área con probabilidad de superar los 40°C en el pronóstico se encuentra sobrestimada y con probabilidades que superan el 80% en gran parte de la misma, en cambio, para el pronóstico calibrado el área con alta probabilidad se encuentra reducida y tiene mayor similitud con la observación. Para la semana 2, la región con probabilidad de superar los 40°C en el pronóstico sin calibrar está sobrestimada y es relativamente similar a la de la semana 1, pero presentando un área con probabilidades mayores al 70% que se ajusta bien a la observación. El pronóstico calibrado por su parte, muestra regiones superando el 90% que se encuentran dentro del área observada y probabilidades bajas por fuera de esta.



**Fig. 8:** Campos de probabilidad de que la temperatura máxima semanal para la semana comprendida entre el 11 y el 17 de enero de 2022 supere los 40°C en pronósticos a 1 y 2 semanas.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizó una comparación entre dos metodologías de calibración de temperatura mínima y máxima para las semanas 1 y 2 mostrando ambas un buen desempeño en corregir los errores sistemáticos del pronóstico, y destacándose cada una en la evaluación que mejor se ajusta a cómo se aplica la metodología, RAFK en la comparación con estaciones y BC-NOAA en la comparación con los campos. Se analizó también un caso de estudio para una ola de calor que afectó a gran parte del país en la que ambas metodologías lograron reducir un fuerte bias cálido en el pronóstico y en el caso de RAFK, también se observó una mejora en el pronóstico probabilístico.

En conclusión ambas metodologías realizan una corrección adecuada al pronóstico. Pero la metodología RAFK, al emplear datos observados de estaciones, tiene una mayor probabilidad de mejorar en el futuro a partir de nuevos datos observados que puedan ser empleados.

## 6. REFERENCIAS

Cui, B., Toth Z., Zhu Y., Hou, D., 2012: Bias Correction for Global Ensemble Forecast, Weather and Forecasting, 27(2), 396-410.

Cutraro F. S. Rigueti, Y. Skabar, M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Calibración de temperaturas pronosticadas. Nota técnica 2020-81. SMN.

## 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](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto: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](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).