

Calibración de los pronósticos de precipitación acumulada diaria

Nota Técnica SMN 2024-164

Silvina Righetti^{1,2}, Federico Cutraro¹, Yanina García Skabar¹ y Maximiliano Sacco¹

¹Dirección de Productos de Modelación Ambiental y Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.

²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires.

Febrero 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

En la siguiente nota técnica se busca presentar la metodología de calibración de la precipitación acumulada diaria que se aplica actualmente en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y realizar una primera evaluación de su desempeño durante los años 2022 y 2023 para los modelos WRF y GFS (determinístico y ensamble). El método seleccionado es el denominado Empirical Quantile Mapping (EQM) el cual se basa en encontrar una función de transferencia tal que al ser aplicada al pronóstico de precipitación su nueva distribución sea igual a la distribución de la precipitación observada. Para el cálculo de dicha función se consideraron las observaciones de precipitación del producto SQPE que se genera en el SMN y los pronósticos de WRF y GFS desde el 1 de enero de 2018. Al analizar los resultados de la calibración en ambos modelos se observó una mejora de los pronósticos en todo el dominio de estudio, siendo más notoria en las regiones cercanas a la cordillera de los Andes. También se observó un mejor ajuste de las funciones de distribución de probabilidad a los datos observados luego de calibrar y mejores estadísticos. Por último, se analizó la viabilidad de aplicar la calibración a pronósticos con intervalos de acumulación de precipitación de 24 hs distintos al día pluviométrico y nuevamente los resultados fueron muy prometedores, indicando la posibilidad de utilizar esta metodología para corregir dichos casos.

Abstract

This technical note presents the daily cumulative precipitation calibration methodology currently used at the National Meteorological Service (SMN, for its initials in Spanish) and evaluates its performance for the years 2022 and 2023 for the WRF and GFS models (deterministic and ensemble). The method used is Empirical Quantile Mapping (EQM). EQM finds a transfer function that makes the distribution of the precipitation forecast equal to the observed precipitation distribution. The function is calculated using the precipitation observations of the SQPE product generated by the SMN and the WRF and GFS forecasts from 1 January 2018. Upon analysing the calibration results of both models, an improvement in the forecasts was observed across the entire domain, being more noticeable in regions near the Andes mountain range. Additionally, a better fit of the probability distribution functions to the observed data was observed after calibration, along with improved statistics. Finally, the study analysed the feasibility of applying the calibration to forecasts with 24-hour precipitation accumulation intervals other than the pluviometric day. The results were promising, indicating the possibility of using this methodology to correct such cases.

Palabras clave: calibración, precipitación, empirical quantile mapping.

Citar como:

Righetti, S., F. Cutraro, Y. García Skabar y M. Sacco, 2024: Calibración de los pronósticos de precipitación acumulada diaria. Nota Técnica SMN 2024-164.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, desde la Dirección de Producto de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos (DSMR) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se trabajó en el desarrollo e implementación de una metodología capaz de corregir los errores sistemáticos de los pronósticos de temperatura e intensidad del viento en puntos de interés (Cutraro y otros, 2020; Righetti y otros, 2024). También se lograron obtener campos calibrados de estas variables a partir de la aplicación de un método que permite interpolar espacialmente la corrección puntual del bias.

Con la idea de continuar calibrando los pronósticos de variables meteorológicas se planteó entonces avanzar con la corrección de los campos de precipitación acumulada diaria. En este sentido existen diversas técnicas de postprocesado capaces de reducir el bias de los pronósticos. Entre los métodos más utilizados con precipitación se encuentran aquellos basados en transformaciones estadísticas cuyo objetivo es ajustar la distribución de probabilidad del modelo de pronóstico a la observada. Para realizar esta tarea de ajuste existen variedad de metodologías distintas, entre las cuales una de las que ha demostrado tener mejores resultados es el Empirical Quantile Mapping (EQM) (Gudmundson, 2012; Gutjahr y Heinemann, 2013; Chen y otros, 2013; Teng y otros, 2015; Yèkambèssoun y otros, 2016; Devi y otros, 2019).

Se plantea entonces, como objetivo, aplicar la metodología de EQM para corregir los errores sistemáticos presentes en los campos pronosticados de precipitación acumulada diaria, tanto de WRF como de GFS (ambos en sus versiones determinística y por ensamble), y analizar su desempeño para los años 2022 y 2023.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Los métodos de transformación estadística para la corrección del bias de los modelos tienen como objetivo encontrar la función de transferencia h tal que al ser aplicada al pronóstico de precipitación P_m su nueva distribución sea igual a la distribución de la precipitación observada P_o , es decir:

$$P_o = h(P_m) \quad (1)$$

Si se considera F_m a la función de distribución acumulada (CDF, de sus siglas en inglés) de P_m y F_o a la CDF de P_o , entonces la función h cumple la siguiente condición:

$$F_o(h(P_m)) = F_m(P_m) \quad (2)$$

De este modo, a partir de (2) se obtiene que:

$$P_o = F_o^{-1}(F_m(P_m)) \quad (3)$$

donde F_o^{-1} es la inversa de la CDF (o función cuantil) de P_o .

En la Figura 1 se presentan dos gráficos esquemáticos que ayudan a comprender lo expresado en las ecuaciones (1) a (3). La imagen de la izquierda presenta un gráfico cuantil-cuantil entre P_o y P_m , junto con la función h que es usada para ajustar la precipitación modelada a la observada. Cuanto más alejada esté la curva h de la diagonal ($P_o = P_m$) mayor será la diferencia entre las funciones de distribución de probabilidad (PDF, de sus siglas en inglés) de la precipitación modelada y de la observada. La imagen de la derecha

muestra un esquema con las CDF de P_0 y P_m y la corrección realizada por la función h . A partir de este ejemplo se puede apreciar la idea del “mapping” o ajuste de cuantiles propuesto por la ecuación (2).

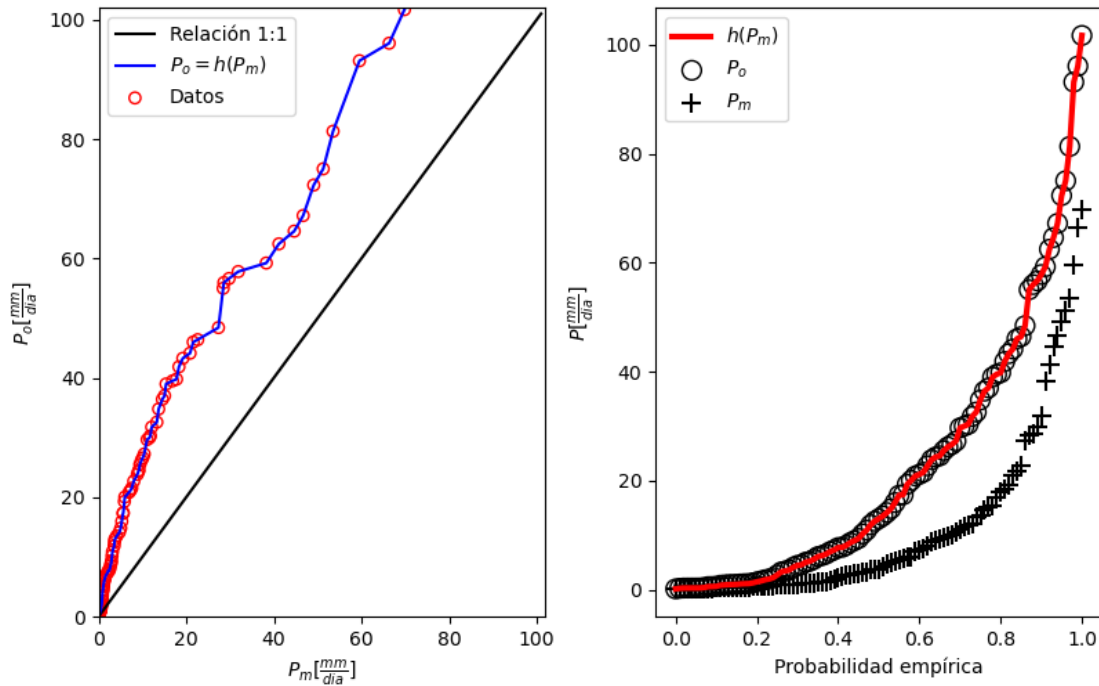


Figura 1: Izquierda: Gráfico cuantil-cuantil entre la precipitación observada (P_o) y pronosticada (P_m) (círculos), junto con la transformación dada por (1) (línea azul), para un punto del dominio de calibración. Derecha: CDF empírica de las observaciones (círculos), de los pronósticos (cruces) y de la precipitación ajustada (línea roja) (Figura basada en Gudmundsson y otros, 2012).

Además de calibrar la intensidad de la precipitación, es importante realizar un ajuste de la frecuencia de días con lluvia. Para ello, se propone seguir lo planteado por Ines y Hansen (2006), donde se definen umbrales para determinar días con precipitación, tanto para la observación (U_o) como para el pronóstico (U_m). En el primer caso, U_o se fija en 0,1 mm, con lo cual todo valor acumulado mayor a este número será considerado como día con precipitación observada. En el segundo caso, U_m se fija de modo tal que la cantidad de días con lluvia pronosticada se ajuste a lo observado. Para tratar de explicar mejor esta idea se presenta la Figura 2, donde se muestran las CDF de las observaciones (círculos rojos) y del pronóstico (cruces negras). En este caso, se busca la frecuencia de días observados con un valor de precipitación menor o igual a U_o (f_{umb} en el gráfico) y, a partir de este valor, se define el umbral U_m como la precipitación pronosticada que presenta dicha frecuencia. El valor mínimo permitido para U_m es 0,1 mm. Es importante aclarar, que este ajuste se realiza solo en los casos en que el pronóstico presenta mayor cantidad de días con lluvia que los que se observan, ya que en caso contrario se incurriría en una sobrestimación de la frecuencia.

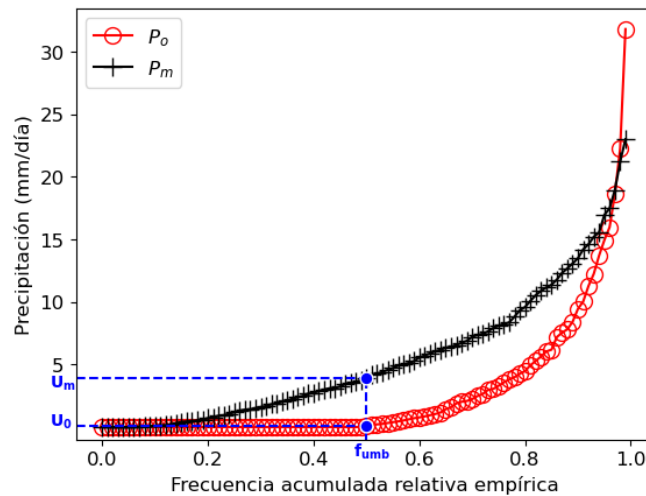


Figura 2: Ejemplo para ilustrar la determinación del umbral U_m en el ajuste de las frecuencias de la precipitación pronosticada.

2.1 Observaciones de precipitación

Para aplicar la metodología EQM se requiere contar con observaciones diarias de precipitación. Para ello se podrían utilizar los datos medidos por estaciones meteorológicas convencionales y automáticas, los cuales representan un valor fiel de la precipitación, pero tienen la gran desventaja de que dicha medición es representativa de una pequeña área y que, además, no existe una red de observación lo suficientemente densa. Otra opción podría ser la de trabajar con estimaciones satelitales de precipitación que tienen la ventaja de que son un producto reticulado (buena densidad de información), pero que, al ser una estimación, puede no representar correctamente el valor real. Debido a estas limitaciones es que se pensó en trabajar con un producto que combine ambas fuentes de información. Actualmente, en el SMN se está utilizando, de manera experimental, la técnica de estimaciones cuantitativas de precipitación por satélite (SQPE, por sus siglas en inglés), que combina estimaciones satelitales de precipitación con observaciones, para generar un producto de mayor calidad el cual presenta resultados alentadores (Hobouchian y otros, 2021). Estas observaciones de precipitación son de carácter diario y el acumulado se corresponde con el del día pluviométrico (12 UTC a 12 UTC) para la región comprendida entre -56° y -20° de latitud y -76° y -49° de longitud con una resolución de $0,1^\circ$ y se disponen datos desde el 1 de enero de 2018 hasta la actualidad.

Es importante mencionar que al trabajar con los datos del producto SQPE se encontraron algunos casos, mayormente sobre el océano Atlántico, donde los acumulados diarios de lluvia eran muy grandes y resultaban sospechosos. Esta problemática se comunicó a los desarrolladores del producto y se está trabajando en su solución. De manera temporal se están eliminando los valores que resultan evidentemente erróneos con una adaptación de la metodología para eliminar valores extremos propuesta por Rossi Lopardo y otros (2021), donde se tomó el percentil 75 en vez del 90 propuesto en dicho trabajo.

2.2 Pronósticos de precipitación

Dado que la metodología EQM se basa fuertemente en tener un largo período histórico de pronósticos (varios años) para comparar con las observaciones, contar con pocos años de datos puede afectar la calidad de la

calibración. Para el caso de los pronósticos realizados por el modelo GFS este no es un problema porque existen repositorios de donde se pueden obtener datos históricos (por ejemplo, <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>), pero para el WRF la situación es completamente distinta. En este último caso, los pronósticos determinísticos que usan la configuración actualmente operativa en el SMN se encuentran disponibles desde el 1 de enero de 2020 (Dillon y otros, 2020a), con lo cual para calibrar los pronósticos de 2022 se contaría solo con 2 años de histórico. Para intentar aliviar esta problemática se consideró utilizar también los pronósticos desde el 1 de enero de 2018, realizados con la configuración previa del WRF (García Skabar y otros, 2018), permitiendo así incrementar la base de datos. Se realizaron algunas pruebas y los resultados preliminares apuntaron a una mejora de los pronósticos considerando esta información, por lo que se los agregó como parte del histórico. Es importante mencionar que ambas configuraciones consideran la misma parametrización de la microfísica (asociada a los procesos que conducen a la precipitación), por lo tanto, es de esperar que si existiera algún bias el mismo sea muy similar en ambos casos. La diferencia más notoria entre ambas versiones es la cantidad de plazos de pronóstico que realiza el modelo, mientras que en la configuración actual se tienen pronósticos hasta 72 hs, en la anterior se tenía solo hasta 48 hs, por lo que el último día de la configuración actual no puede ser mejorado por añadir estos pronósticos.

A partir de los datos para cada plazo de pronóstico se acumularon los mismos para obtener la precipitación diaria teniendo en cuenta el día pluviométrico, de 12 UTC a 12 UTC. En los casos en que faltaba al menos una hora de pronóstico se consideró toda la precipitación de ese día como dato faltante. Como los pronósticos de todos los modelos se encuentran en un dominio y con una resolución diferente a la de las observaciones se interpolaron los campos pronosticados a la retícula de estas últimas.

2.3 Implementación de la metodología

La implementación desarrollada de la metodología EQM está basada en la librería *qmap* de R (<https://cran.r-project.org/package=qmap>) (Gudmundsson y otros, 2012) y para explicarla se la puede separar en 2 partes. Primeramente, se debe calcular la función h que transforma la CDF pronosticada en la observada y, luego, a partir de esto, se realiza la calibración de los pronósticos. Es importante aclarar que dicha función h se calcula para cada estación del año (trimestre) de modo de contemplar los distintos regímenes de precipitación que se pueden encontrar a lo largo del año y para poder analizar la estacionalidad del bias del modelo.

2.3.1 Cálculo de la función h

A continuación se describen los pasos seguidos para generar la función h en cada punto de retícula (i, j) del dominio, en el caso de un pronóstico determinístico:

1. Se leen los pronósticos y observaciones del período histórico para cada estación del año (trimestre). Para cada punto (i, j) se consideran también los pronósticos y observaciones de sus puntos vecinos como se ve en la Figura 3. Esto se hace para incrementar la cantidad de datos disponibles para el cálculo de las CDF y para permitir una mayor flexibilidad en la ubicación de la precipitación por parte del pronóstico.
2. Se estima el umbral de precipitación del pronóstico (U_m) para el cual se considera que hubo precipitación siguiendo lo propuesto por Ines y Hansen (2006).
3. Se obtienen las series con días de lluvia observada y pronosticada considerando solamente los casos que superan los umbrales definidos.

4. De las series obtenidas en el punto 3 se seleccionan los días donde existen pares de observación-pronóstico. Si bien la metodología de EQM no es clara acerca de la necesidad de implementar este filtro, se siguió este criterio ya que también es utilizado en el producto SQPE.
5. Se calcula la CDF pronosticada y observada a partir de los datos que pasaron los controles realizados en los pasos 3 y 4. Para poder contar con una buena representación de la distribución se consideran sólo los casos en que se cuentan con más de 10 datos válidos.
6. Se genera la función h realizando una interpolación lineal a trozos entre las CDF pronosticada y observada.

Estos pasos se ejecutan mensualmente para ajustar la transformación a los nuevos pronósticos y observaciones del último mes.

Para el caso del pronóstico por ensambles se calcula la CDF pronosticada para cada miembro y luego se estima su valor medio. Dicho valor es el que se compara con la CDF observada para obtener la función h .

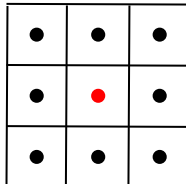


Figura 3: Ejemplo para mostrar los puntos que se consideran para calibrar la precipitación en el punto (i,j) .

2.3.2 Calibración de la precipitación

Una vez calculada la función h para cada punto (i,j) se procede a calibrar la precipitación en dicho punto. Este procedimiento se puede sintetizar en los siguientes pasos:

1. Se genera el campo de precipitación diaria acumulada pronosticada.
2. Se interpola el campo de precipitación al dominio y resolución de las observaciones.
3. Para cada punto de retícula se aplica la función h al valor de precipitación pronosticada. En los casos que no se pudo generar la función h la calibración no se realiza y el valor resultante es un código de dato faltante (NaN).

En el caso del pronóstico por ensamble estos pasos son aplicados a cada miembro.

3. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos en la corrección de los errores del campo de precipitación acumulada, para cada modelo numérico, en el período que va del 1 de diciembre de 2022 al 30 de noviembre de 2023.

3.1 WRF determinístico

En la Figura 4 se muestra la diferencia media entre el campo pronosticado y el calibrado, junto con los campos de BIAS del pronóstico y del campo corregido, para todo el período en los días 0 y +1. Se puede ver que el

pronóstico presenta un importante BIAS positivo (sobreestimación de la lluvia) sobre la cordillera de los Andes el cual es removido casi en su totalidad por la calibración en los dos plazos de pronóstico. Por otro lado, se observan regiones con BIAS negativo (subestimación de la precipitación) en el sur de Brasil y noreste de Argentina, y también sobre el océano Atlántico, en cercanías a la costa del sur de la provincia de Buenos Aires. En estos casos, nuevamente la calibración reduce el error del pronóstico. Por último, al analizar los estadísticos BIAS, MAE y RMSE sobre todo el dominio (recuadros negros en la figura) se puede ver una reducción en todos ellos luego de aplicar la metodología EQM, lo que indica un mejor desempeño frente a los pronósticos sin calibrar.

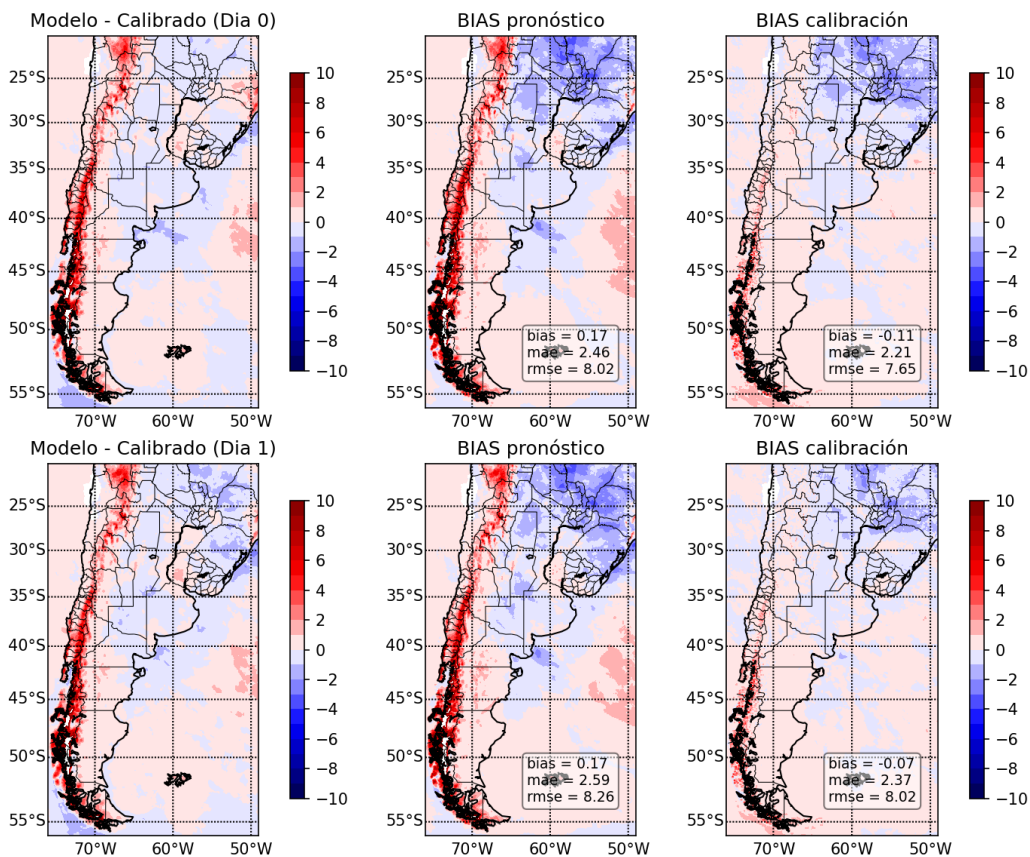


Figura 4: Campos de diferencia media entre el pronóstico y la calibración (columna izquierda) y bias medio del pronóstico (columna central) y la calibración (columna derecha) respecto de las observaciones para los días 0 (fila superior) y 1 (fila inferior) para el ciclo 00 UTC de WRF determinístico.

Al analizar el año completo se pierde la variabilidad de los errores con las estaciones. Para poder estudiar que sucede en los trimestres más extremos se muestra la Figura 5 donde se presentan los campos de BIAS, para el día 0 de pronóstico, para verano (diciembre, enero y febrero) e invierno (junio, julio y agosto). En los paneles superiores, correspondientes al verano, se puede ver que los errores del pronóstico son mayores a los mostrados en la Figura 4, tanto los positivos en la cordillera (sobre todo la porción norte) como los negativos en el noreste y centro de Argentina y los del océano Atlántico. En este caso la calibración disminuye considerablemente los errores positivos y en menor medida los negativos. En los estadísticos para todo el dominio se observan valores mayores a los de la Figura 4, indicando un peor desempeño en este trimestre en relación al promedio anual tanto en los pronósticos sin calibrar como calibrados. Durante el invierno (panel inferior) los mayores errores en el pronóstico de la precipitación en Argentina se ven en la región centro y sur

de la cordillera y en la meseta patagónica, los cuales disminuyen su magnitud luego de aplicar la metodología EQM. Al analizar los valores de BIAS, MAE, RMSE de todo el dominio se puede ver que sus magnitudes son menores a las de verano y a los de la media anual, lo que parece indicar que este trimestre presenta un mejor desempeño. Algo importante de mencionar es la aparición de regiones de color blanco (noroeste del dominio), tanto en verano como en invierno, las cuales ocurren cuando no se pudo calibrar por ausencia de días con precipitación (se requieren al menos 10 días con pares de precipitación observación-pronóstico como se indica en la sección 2.3.1).

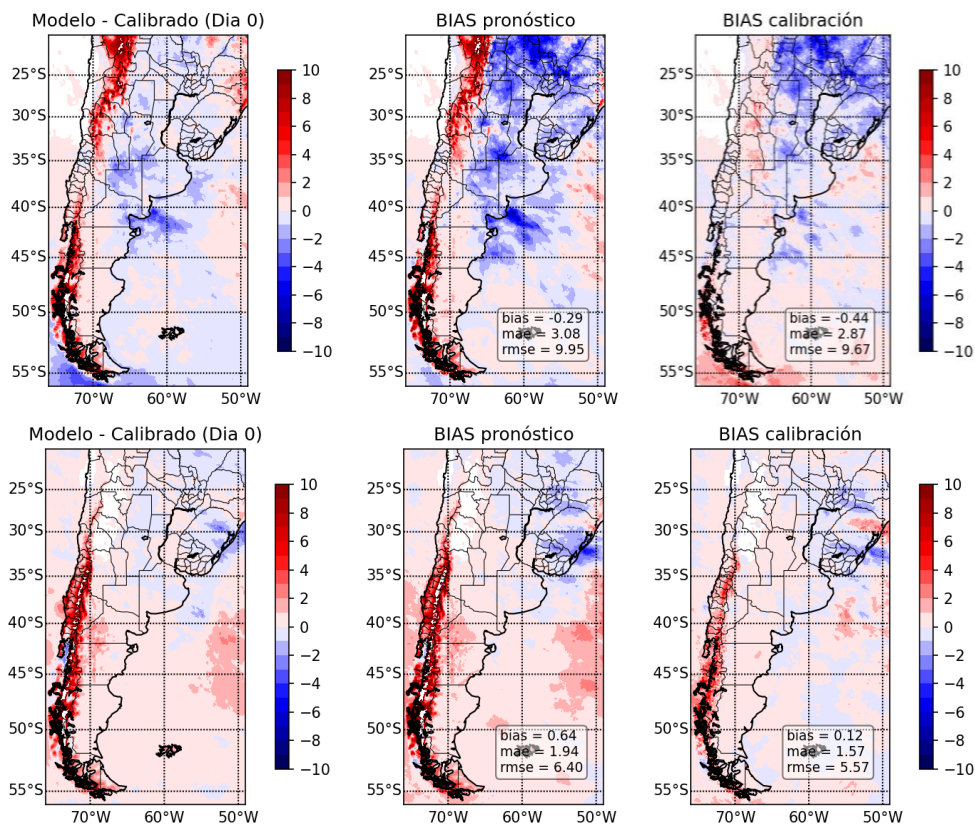


Figura 5: Campos de diferencia media entre el pronóstico y la calibración (columna izquierda) y bias medio del pronóstico (columna central) y la calibración (columna derecha) respecto de las observaciones para el día 0 de pronóstico durante verano (fila superior) e invierno (fila inferior) para el ciclo 00 UTC de WRF determinístico.

Para evaluar la performance de los pronósticos para distintos umbrales de precipitación se realizaron los diagramas de desempeño que se presentan en la Figura 6, a la izquierda se muestra el diagrama para el pronóstico sin calibrar y a la derecha para el calibrado. Los umbrales seleccionados fueron 1 mm, 5 mm, 10 mm, 25 mm y 50 mm. Este tipo de figura permiten visualizar de manera clara 4 métricas: la probabilidad de detección (POD, por sus siglas en inglés), la tasa de éxito (SR, por sus siglas en inglés), el BIAS de frecuencia y el índice de éxito crítico (CSI, por sus siglas en inglés). Lo primero que se puede mencionar al observar la figura es que al calibrar el BIAS de frecuencia se acerca a 1 para todos los umbrales y para ambos plazos, indicando una buena corrección en la frecuencia de días con precipitación. Otra característica que se puede apreciar al calibrar es el aumento de los estadísticos POD, SR y CSI en prácticamente todos los casos, lo que demuestra nuevamente una mejora en el desempeño.

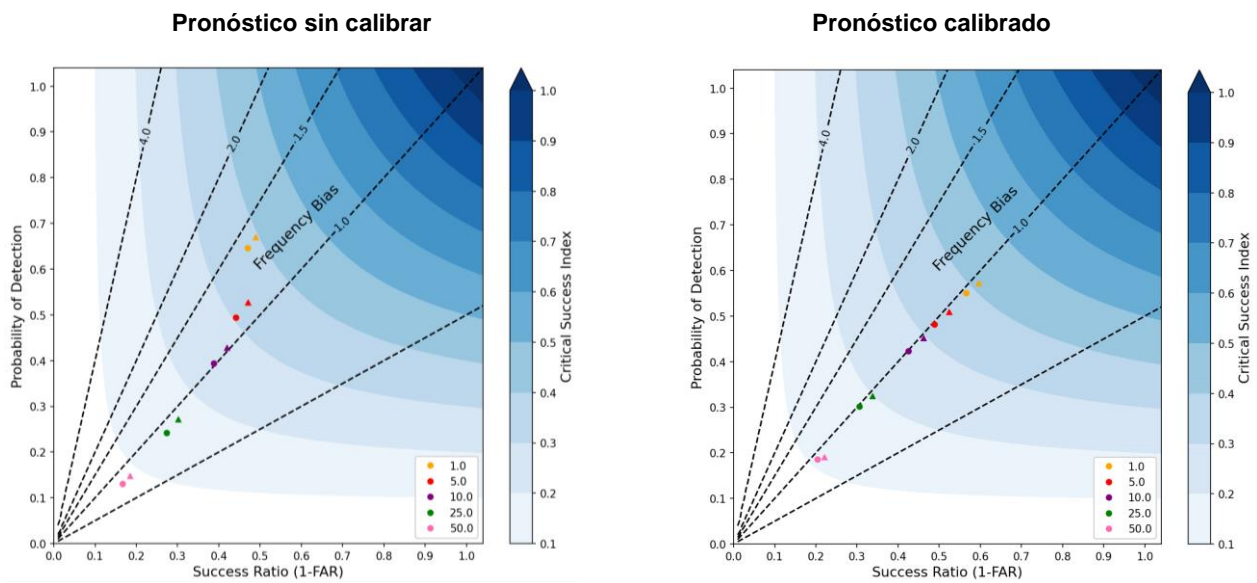


Figura 6: Diagramas de desempeño del pronóstico sin calibrar (izquierda) y calibrado (derecha) del ciclo 00 UTC para el modelo WRF determinístico. Los colores representan los distintos umbrales de precipitación y las formas indican el plazo de pronóstico. En triángulos se presenta el día 0 y en círculos el día +1.

Dado que el objetivo de la metodología implementada para calibrar los pronósticos se basa en encontrar una función que transforme la distribución de las precipitaciones pronosticadas en las de las observadas, se calcularon las funciones de densidad de probabilidad volumétricas de la precipitación que muestran el porcentaje de precipitación que aporta al total distintos rangos de precipitación. Para ambos plazos de pronóstico se puede ver en la Figura 7 que el pronóstico sin calibrar presenta mayores frecuencias para los valores bajos y menores para los más altos respecto de las observaciones, mismo comportamiento que se evidenció en los diagramas de desempeño de la Figura 6. Por otro lado, se observa que al calibrar la PDF se ajusta muy bien a las observaciones, demostrando la mejora del pronóstico.

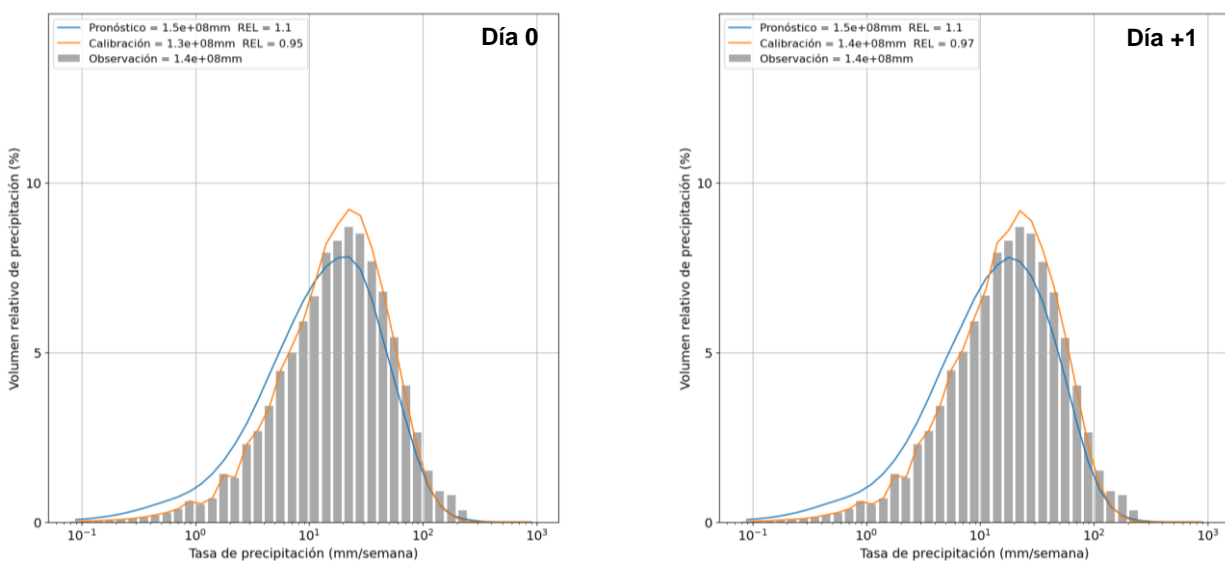


Figura 7: Funciones de distribución de probabilidad volumétrica para los días 0 (izquierda) y 1 (derecha) para el ciclo 00 UTC de WRF determinístico. En línea azul se muestra el pronóstico, en línea naranja la calibración y en barras grises la observación.

3.2 GFS

En la Figura 8 se puede ver la diferencia media entre el campo pronosticado y calibrado y el bias de ambos respecto de las observaciones para los días 0, +3 y +7 de pronóstico del modelo GFS. Para todos los plazos presentados los resultados son similares a los hallados para el WRF, observándose una sobrestimación de la precipitación pronosticada en la cordillera de los Andes, principalmente en sus sectores centro y sur, y una subestimación al noreste del dominio. En ambos casos la calibración tiende a disminuir los errores, siendo mayor la corrección sobre la zona de topografía compleja. Al analizar los estadísticos para todo el dominio se observa una disminución del BIAS y del MAE luego de realizar la calibración de la precipitación acumulada, pero un incremento del RMSE.

En la Figura 9 se muestran los diagramas de desempeño de los pronósticos sin calibrar (izquierda) y luego de aplicar la corrección (derecha) para todos los plazos de pronóstico. En los mismos se puede observar un comportamiento similar al presentado en el WRF, con una sobrestimación de casos para los umbrales más bajos y una subestimación para los más altos que, nuevamente, es en gran parte corregido por la calibración.

En la Figura 10 se muestran las funciones de distribución de probabilidad para los días 0, +3 y +7 de pronóstico. Al igual que para el WRF, el GFS tiene la distribución desplazada hacia valores más bajos respecto de las observaciones, lo cual es corregido por la calibración.

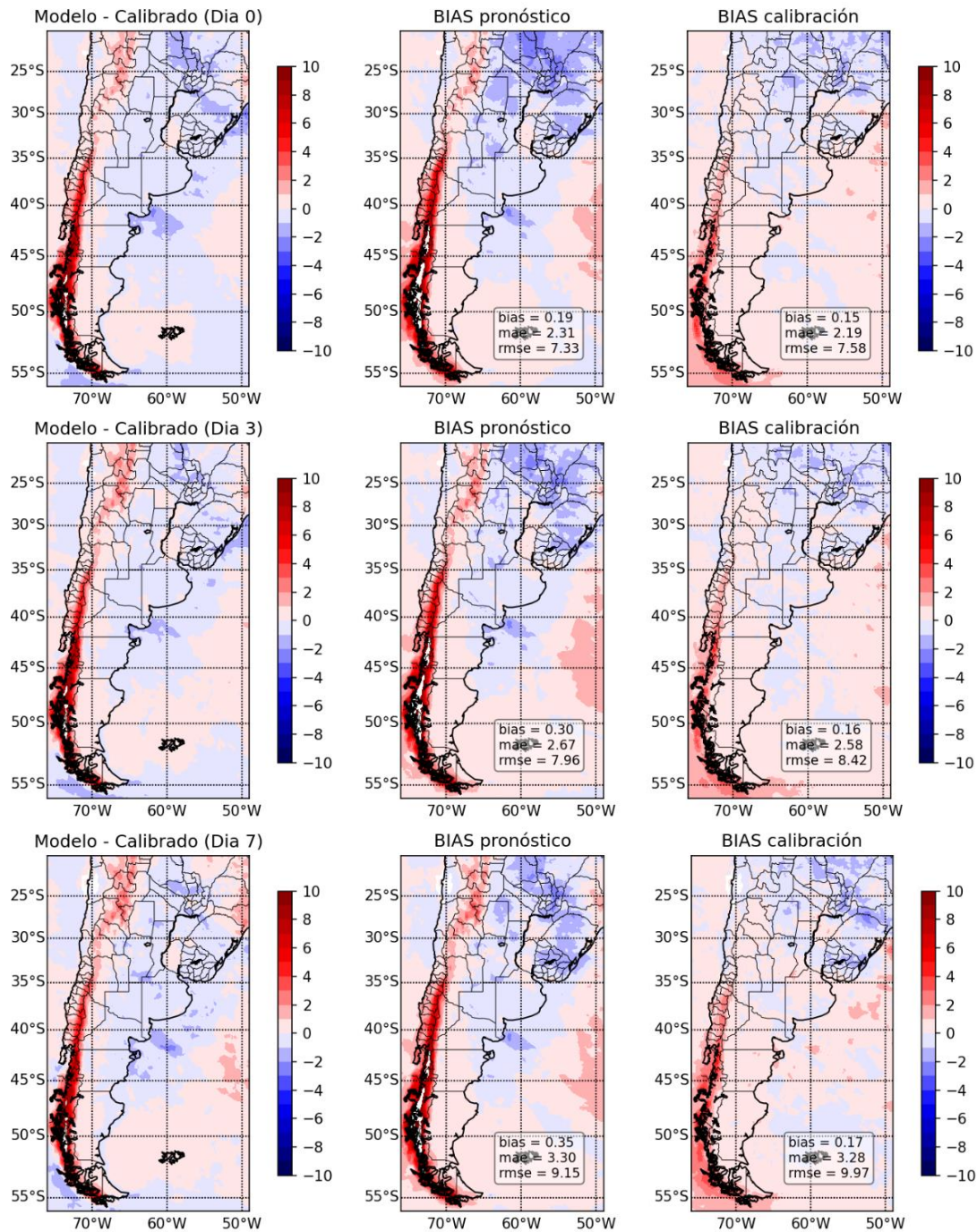


Figura 8: Campos de diferencia media entre el pronóstico y la calibración (columna izquierda) y bias medio del pronóstico (columna central) y la calibración (columna derecha) respecto de las observaciones para los días 0 (fila superior), 3 (fila central) y 7 (fila inferior) para el ciclo 00 UTC de GFS.

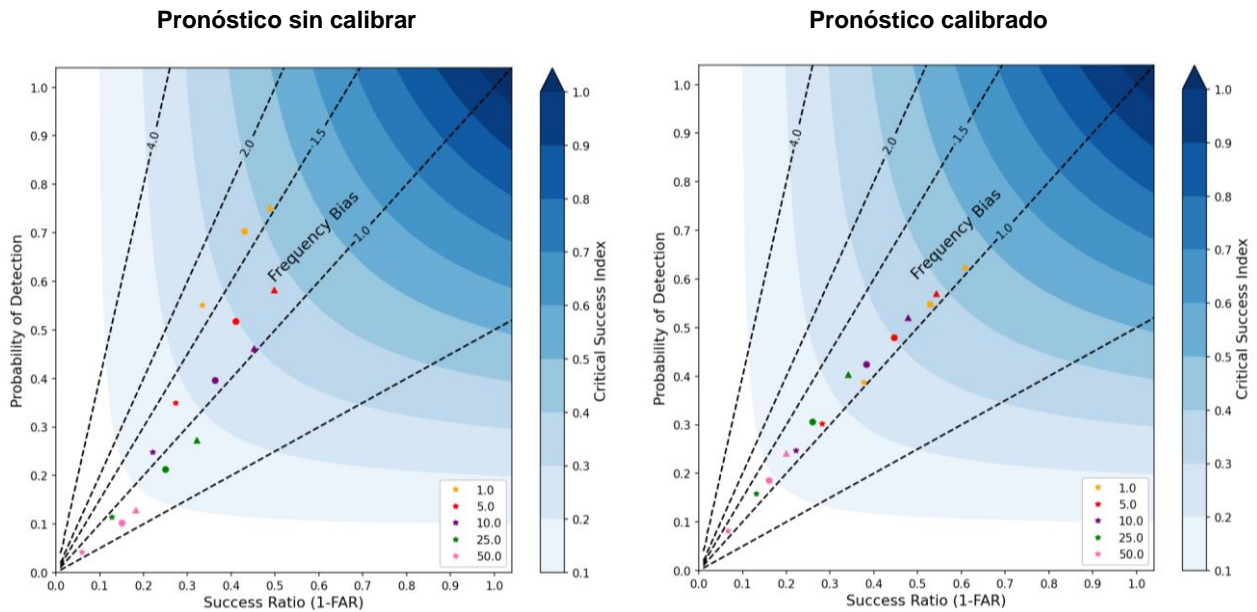


Figura 9: Diagramas de desempeño del pronóstico sin calibrar (izquierda) y calibrado (derecha) del ciclo 00 UTC para el modelo GFS. Los colores representan los distintos umbrales de precipitación y las formas indican el plazo de pronóstico. En triángulos se presenta el día 0, en círculos el día +3 y en estrellas el día +7.

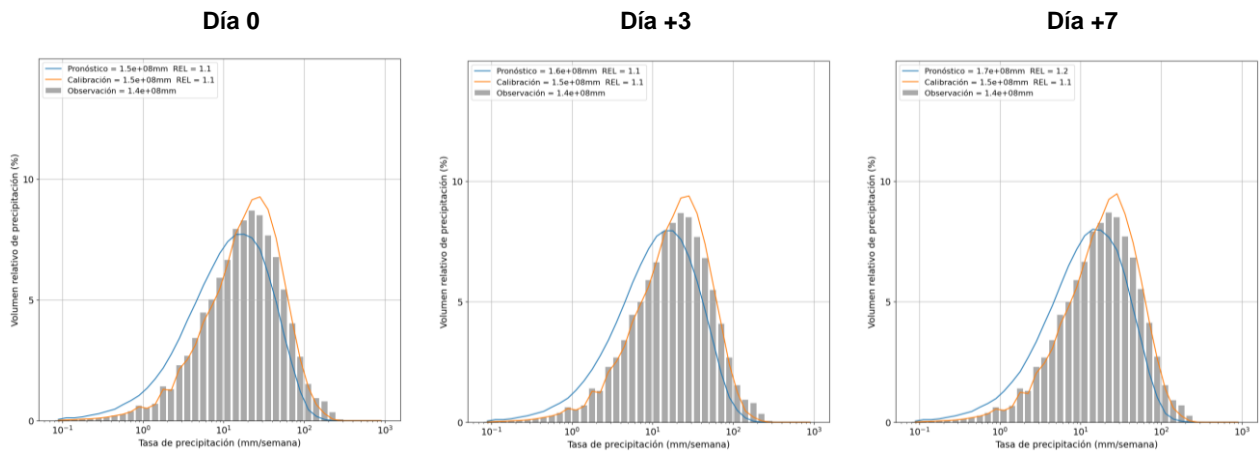


Figura 10: Funciones de distribución de probabilidad volumétrica para los días 0 (izquierda), 3 (centro) y 7 (derecha) para el ciclo 00 UTC de GFS. En línea azul se muestra el pronóstico, en línea negra la calibración y en barras las observaciones.

3.3 WRF ensemble y GEFS

Para analizar el comportamiento de la calibración de la precipitación para los ensambles se presenta la Figura 11 donde se observa el desempeño para el modelo WRF sin calibrar y calibrado. En la misma se aprecia una mejora en la tasa de éxito para todos los umbrales y en el índice CSI, especialmente para los umbrales más grandes. Sin embargo, se aprecia también una disminución del BIAS de frecuencia en todos los umbrales lo que estaría indicando una subestimación de la frecuencia de los pronósticos de precipitación luego de aplicar la calibración. Un comportamiento similar también se observa luego de calibrar en el modelo GEFS (no se muestra) lo cual hace pensar que la causa de este rasgo puede estar más asociada a los datos de

precipitación que a la metodología aplicada. Sin embargo, se continúa analizando la información para buscar la explicación de dicho comportamiento.

En la Figura 12 se presentan las PDF volumétricas para el plazo 0 de pronóstico por ensamble del modelo WRF sin calibrar y calibrado. Se puede observar un ajuste muy bueno del pronóstico calibrado para todos los acumulados de precipitación, pero al analizar el acumulado total se presentan valores inferiores a los observados, lo cual va en el mismo sentido de lo mencionado en el Figura 11. Esto también se presenta en la GEFS (no se muestra).

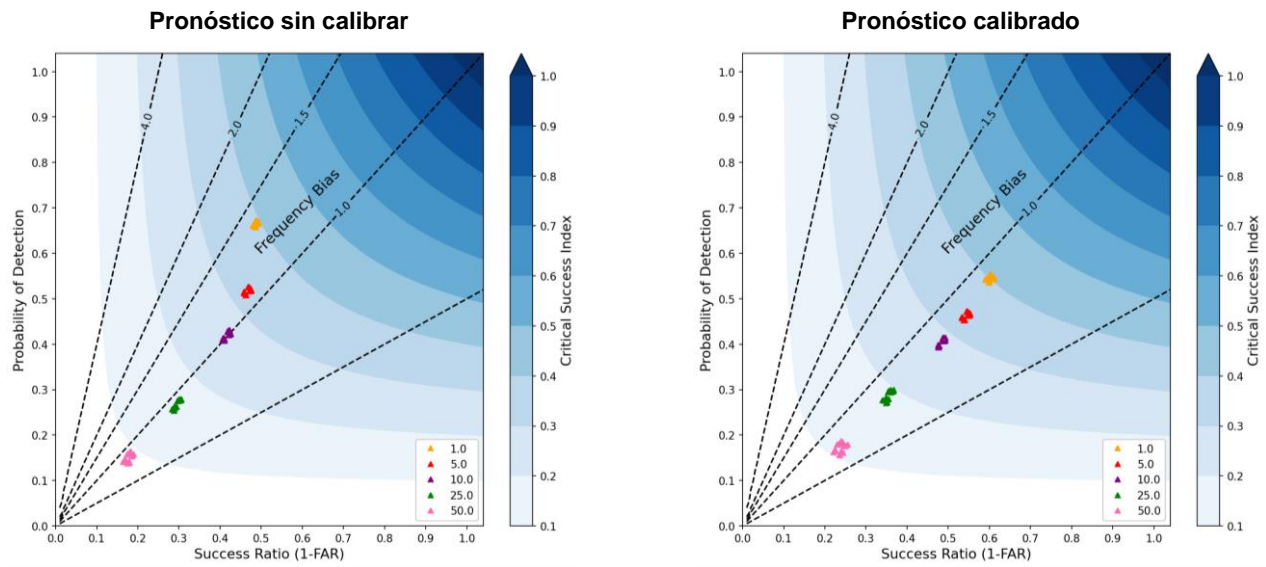


Figura 11: Diagramas de desempeño del pronóstico sin calibrar (izquierda) y calibrado (derecha) del ciclo 00 UTC para el modelo WRF ensamble. Los colores representan los distintos umbrales de precipitación. En triángulos se presenta el pronóstico del día 0 para cada uno de los miembros.

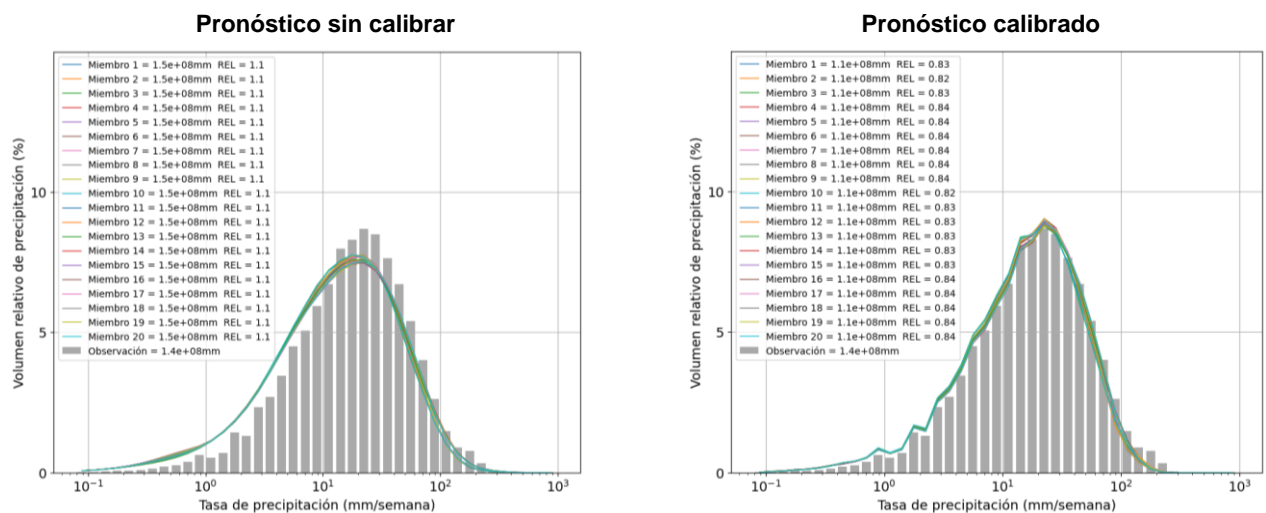


Figura 12: Funciones de distribución de probabilidad volumétrica para el día 0 de los pronósticos de cada miembro sin calibrar (izquierda) y calibrado (derecha) para el ciclo 00 UTC de WRF ensamble. En líneas de colores se muestra cada miembro y en barras grises las observaciones.

3.4 Aplicación de la metodología para acumulados de precipitación en días no pluviométricos

Dado que las observaciones del producto SQPE se generan para el día pluviométrico, la calibración se aplicó para los intervalos de 12 UTC a 12 UTC para que sean comparables. Sin embargo, muchos de los productos de precipitación que se generan a partir de los modelos tienen en cuenta plazos de 24 hs que no necesariamente se corresponden con el día pluviométrico. Por ejemplo, para la ejecución de las 00 UTC el acumulado de precipitación en 24 hs desde el inicio de la corrida se corresponde con plazos de 00 UTC a 00 UTC, por lo que la calibración no se podría aplicar. Debido a esto, es que se analizó la posibilidad de adaptar la metodología para poder aplicarla en este tipo de situaciones y poder contar con acumulados de precipitación calibrados en todos los casos. Para ello se compararon las distribuciones de probabilidad volumétricas para plazos de 24 hs que se inician desde la ejecución del modelo con las del día pluviométrico para los ciclos de 00 UTC, 06 UTC y 18 UTC (el de 12 UTC no se realizó porque coincide con el día pluviométrico) con la intención de evaluar sus diferencias. A modo de ejemplo, en la Figura 13, se muestran las distribuciones para el último acumulado de 24 hs completas (línea roja) y el último día pluviométrico (barras grises) para el ciclo de 00 UTC de los modelos WRF determinístico y GFS. Se puede ver que las distribuciones de precipitaciones acumuladas son bastante parecidas en ambos modelos por lo que es posible pensar que cualquier error sistemático que tenga el pronóstico para el día pluviométrico también se encuentra en otros plazos de 24 hs y, por lo tanto, sería posible aplicar la misma calibración en todos los casos.

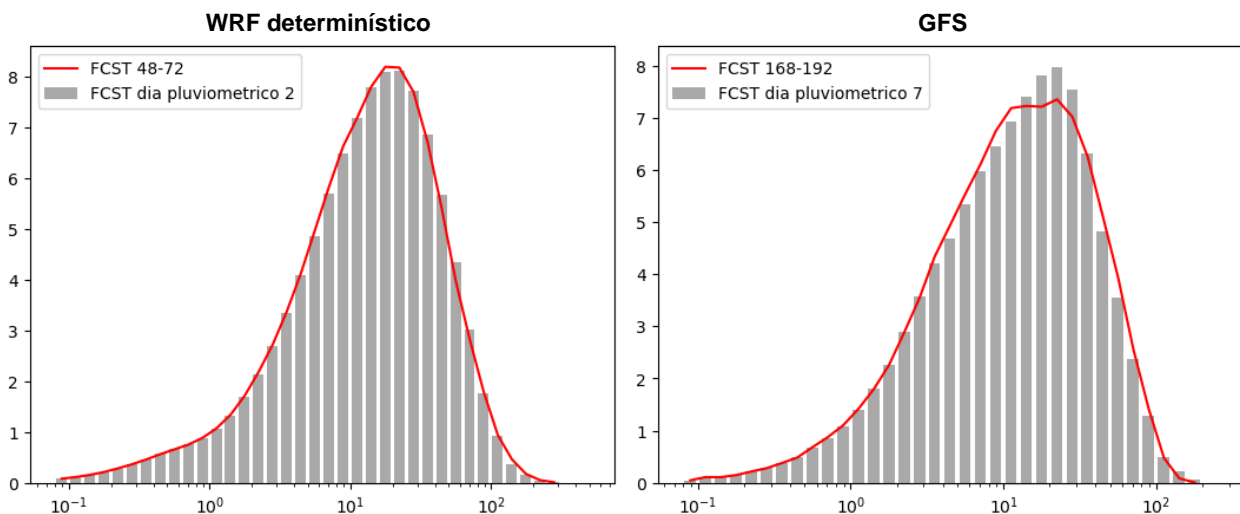


Figura 13: Comparación de las distribuciones de probabilidad volumétricas para el último día pluviométrico (barras grises) y el último plazo de 24 hs completo (línea roja) para el ciclo de 00 UTC de los modelos WRF determinístico (izquierda) y GFS (derecha).

4. CONCLUSIONES

Con el objetivo de calibrar los pronósticos de precipitación generados por los modelos numéricos de previsión del tiempo WRF y GFS se implementó la metodología Empirical Quantile Mapping (EQM) y se evaluó su desempeño durante los años 2022 y 2023. Se encontró que los campos calibrados presentan mejoras respecto de los sin calibrar para todos los plazos de pronóstico y umbrales de intensidad de lluvia y que la

calibración realizada para precipitaciones acumuladas en días pluviométricos podría ser aplicada a otros intervalos de 24 hs.

De todos modos, aún queda lugar para mejoras ya que las observaciones al presentar posibles valores erróneos afectan la calidad de la calibración y también se piensa evaluar un ajuste de las funciones de distribución a una función teórica sin realizar uno empírico.

5. REFERENCIAS

Chen J, Brissette FP, Chaumont D, Braun M, 2013: Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. *Water Resour Res* 49:4187–4205. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20331>

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.

Devi, Usha, Shekhar, M., Singh, G., 2020: Correction of mesoscale model daily precipitation data over Northwestern Himalaya. *Theoretical and Applied Climatology* 143 (1), 51-60. DOI:[10.1007/s00704-020-03409-8](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03409-8)

Dillon, M. E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco, 2020a: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración de los pronósticos determinísticos. Nota Técnica SMN 2020-78.

García Skabar Y., Matsudo C., Sacco M., Ruiz J.J., Righetti S., 2018: Implementación modelo de pronóstico numérico WRF. Nota Técnica SMN 2018-45.

Gudmundsson L, Bremnes JB, Haugen JE, Skaugen ET, 2012: Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using quantile mapping—a comparison of methods. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* 9:6185–6201. <https://doi.org/10.5194/hessd-9-6185>

Gutjahr O, Heinemann G, 2013: Comparing precipitation bias correction methods for high-resolution regional climate simulations using COSMO-CLM. *Theor Appl Climatol* 114:511–529. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0834-z>

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.

Ines, A.V.M, Hansen, J.W., 2006: Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 138, Issues 1–4, Pages 44-53, ISSN 0168-1923. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.009>

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.

Rossi Lopardo M. S., Veiga H., Hobouchian M. P., Díaz G. y Ferreira L., 2021: Control de calidad de datos pluviométricos en tiempo real. Nota Técnica SMN 2021-98.

Teng J, Potter NJ, Chiew FHS, Zhang L, Wang B, Vaze J, Evans JP, 2015: How does bias correction of regional climate model precipitation affect modelled runoff? *J Hydrol Earth Syst Sci* 19:711–728



Yèkambèssoun N'TM'P, Lawin AE, Oyerinde GT, Yao BK, Afouda AA, 2016: Comparison of daily precipitation bias correction methods based on four regional climate model outputs in Ouémé Basin, Benin. *Hydrology* 4(6):58–71. <https://doi.org/10.11648/j.hyd.20160406.11> <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/hyd>

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), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (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).