

Verificación de los pronósticos del esquema determinístico del modelo WRF para el año 2020

Nota Técnica SMN 2021-95

Cynthia Matsudo¹, María Alejandra Salles¹ y Yanina García Skabar^{1,2}

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

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET)

Julio 2021

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

Esta nota técnica se desarrolla en el marco del Plan de Verificación Transversal de pronóstico del SMN. Aquí se presentan los resultados de la verificación de los pronósticos operativos del modelo WRF del esquema determinístico correspondientes al año 2020. Las variables que se verifican son las siguientes: temperatura a 2m, temperatura de rocío a 2m, temperatura mínima y máxima diaria, precipitación acumulada en 24 horas y magnitud del viento a 10m. Las observaciones para la verificación provienen de la red de estaciones de superficie del SMN. Se comparan los resultados con los correspondientes al modelo GFS. En líneas generales todas las variables pronosticadas muestran un desempeño similar o superior a los pronósticos obtenidos con GFS. La calibración de las temperaturas demuestra una mejora respecto de las mismas sin calibrar. Asimismo se puede ver que la calidad del pronóstico de la temperatura máxima es mejor que la de la temperatura mínima. Por otro lado, esta verificación contribuyó a detectar errores importantes en el pronóstico de la temperatura de rocío así como los de la magnitud del viento.

Abstract

This technical note is developed within the framework of the SMN's Forecast Cross-Verification Plan. Here are presented the operational forecast verification results of the WRF model of the deterministic scheme corresponding to the year 2020. The variables that are verified are the following: 2-m temperature, 2-m dew temperature, daily minimum and maximum temperature, 24-hour accumulated precipitation and 10-m wind speed. Observations for verification come from the SMN surface stations network. The results are compared with those corresponding to the GFS model. In general lines, all the predicted variables show a similar or superior performance to the predictions obtained with GFS. Calibration of temperatures shows an improvement over uncalibrated temperatures. It can also be seen that the quality of the forecast for the maximum temperature is better than that of the minimum temperature. In addition, this verification contributed to detect significant errors in the dew temperature as well as in the wind speed forecasts.

Palabras clave: Verificación, WRF, GFS

Citar como: Matsudo C., M.A. Salles, Y. Garcia Skabar, 2021: Verificación de los pronósticos del esquema determinístico del modelo WRF para el año 2020. Nota Técnica SMN 2021-95.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de contar con herramientas para mejorar los pronósticos de fenómenos de alto impacto asociados a la tormentas se implementó operativamente, en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el modelo Weather Research and Forecasting Model-Advance Research (WRF-ARW) con esquema determinístico en 2017. Desde ese momento, se realiza un pronóstico numérico regional de alta resolución por un plazo de 48 horas que abarca todo el país, los países vecinos y las regiones oceánicas adyacentes, con una resolución horizontal de 4km, permitiendo una representación de la atmósfera en mesoescala. Al ser un modelo regional, la producción de los pronósticos necesita incorporar condiciones iniciales y de borde. Las mismas se toman de modelos globales, en particular, se utiliza el modelo Global Forecast System (GFS) producido por el National Center of Environmental Prediction (NCEP), que se encuentra disponible en tiempos operativos con una resolución horizontal de aproximadamente 25 km. Este esquema se inicializa 4 veces por día para los ciclos 00, 06, 12 y 18 UTC.

Dadas las ventajas que mostró dicha implementación y con la incorporación de mayor cantidad de recursos computacionales, a partir de enero del 2020, este pronóstico numérico se extendió a 72 horas y se implementó un método operativo de calibración de la temperatura a 2 metros pronosticada (más detalles en Cutraro y otros, 2020). La descripción técnica del modelo WRF-ARW se puede encontrar en Skamarock y otros (2019) y las características particulares de la configuración utilizada en el Servicio Meteorológico Nacional se describen en Dillon y otros (2020).

Hasta el momento, ningún modelo numérico puede producir un pronóstico del tiempo en forma perfecta debido a que existen diferentes fuentes de incertezas. Estos pueden ser los errores en las observaciones que se incorporan, errores en la condición inicial que no se conoce exactamente, y errores en la representación de la física del modelo en parte por los procesos físicos que no se conocen completamente y en parte debido a las aproximaciones que se utilizan en los modelos numéricos de pronóstico, todo esto sumado a la naturaleza caótica de la atmósfera que imponen un límite a su predictibilidad. Por estos motivos, un sistema de pronóstico debe contar con un esquema de verificación del mismo. Asimismo con el cambio del modelo de pronóstico es imprescindible conocer las debilidades del mismo no solo para poder corregirlas sino también para saber manejarnos con el mismo, por lo que para ello es fundamental verificar las variables pronosticadas comparándolas con las observaciones mediante el uso de indicadores estadísticos. Esta necesidad de evaluar la calidad de los pronósticos numéricos motivó el desarrollo de un esquema de verificación que permita conocer las fortalezas y debilidades del sistema a lo largo del tiempo.

El objetivo de esta Nota Técnica es presentar una síntesis del desempeño de los pronósticos para el año 2020 de precipitación acumulada en 24hs, temperatura a 2m, temperatura máxima y mínima en ambos casos se compara la temperatura sin calibrar y calibrada, temperatura de rocío a 2m y magnitud del viento a 10m generados por el WRF y, en la medida de lo posible, se los compara con los pronósticos del GFS.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizan los pronósticos horarios del modelo WRF-ARW (versión 4.0) que se generan en forma operativa en los ciclos 00, 06, 12 y 18 UTC y que forman parte del esquema determinístico. Estos pronósticos tienen una resolución horizontal de 4km, 45 niveles verticales (tope 10hPa) y plazo máximo de 72hs. Utilizan como condición inicial y de borde, los análisis y pronósticos del GFS como se describe en Dillon y otros (2020).

Asimismo, se utilizan pronósticos horarios del modelo GFS correspondientes al esquema determinístico. A diferencia de los pronósticos del WRF, estos se encuentran disponibles con una resolución horizontal de 0.25°, que representa aproximadamente 25 km y 38 niveles verticales. Si bien el plazo de pronóstico de GFS alcanza las 2 semanas, en este informe se verifican sólo las primeras 72 horas que se comparan con el pronóstico operativo generado con el WRF.

Las variables pronosticadas que se verifican son: temperatura a 2 metros (T2m), temperatura de rocío a 2 metros (TD2m), temperatura a 2 metros calibrada (T2cal), magnitud del viento a 10 metros (magViento), precipitación acumulada en 24 horas (PP24), temperatura máxima diaria (Tmáx) y mínima diaria (Tmín) y las respectivas calibradas (Tmáx_cal y Tmín_cal). En el caso de las temperaturas mínimas y máximas calibradas de GFS solo están disponibles a partir de julio de 2020.

Para todos los ciclos, la Tmín corresponde al valor mínimo horario pronosticado entre 00 y 12Z (horas de la mañana) mientras que la Tmáx corresponde al valor máximo horario pronosticado entre 12 y 00Z (horas de la tarde). Se verifican los valores correspondientes al “día+12” y “día+2” siendo “día” la fecha de análisis de la corrida. Los respectivos valores calibrados (Tmáx_cal y Tmín_cal) se obtienen aplicando la misma metodología de calibración que para T2cal (Cutraro y otros, 2020). Los datos observados de precipitación corresponden a la precipitación acumulada en 24 horas válida a las 12Z de cada día (día pluviométrico).

Los datos observados provienen de la red de estaciones de superficie del SMN disponible en tiempo real. Por cuestiones metodológicas y de disponibilidad de información, para este informe se consideraron 101 estaciones meteorológicas (ver ANEXO I). Para el cálculo de los estadísticos (ver ANEXO II), los datos observados se comparan con el dato del punto más cercano de la retícula de cada modelo. En este sentido, se considera que dicho punto no se ubique sobre el agua en el caso

de estaciones cercanas a la costa y tengan la mayor correspondencia con la altura de la estación (más detalles en Cutraro y otros, 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados del desempeño del modelo WRF para las distintas variables. Asimismo, se presentan los resultados para el modelo GFS para algunos casos donde se cuenta con datos.

3.1 Precipitación

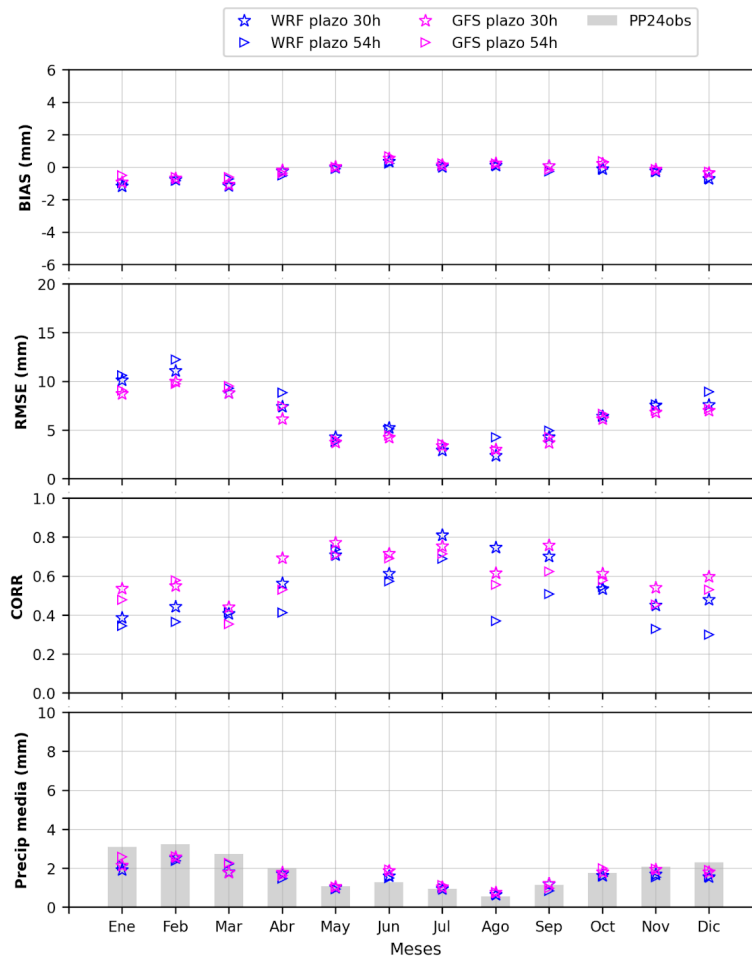


Figura 1: Evolución anual de estadísticos continuos de la PP24 (BIAS, RMSE, coeficiente de correlación, precipitación media) para el ciclo 06Z. Las barras grises corresponden al valor de precipitación media observada en todas las estaciones.

En todos los ciclos de ejecución de los modelos (00Z, 06Z, 12Z y 18Z) se observan características similares, a modo de ejemplo se muestra el ciclo de las 06Z.

Se observa claramente el ciclo anual de la precipitación el cual queda reflejado en los estadísticos tanto para el WRF como para el GFS (Figura 1). El BIAS se mantiene en torno al valor cero, observándose una subestimación en los meses cálidos donde se registra la mayor cantidad de lluvia mientras que para los meses de invierno hay una ligera sobreestimación. Cabe destacar que estos resultados se ven afectados por tratarse de un promedio de los errores de todas las estaciones meteorológicas de Argentina los cuales pueden estar compensados. El RMSE presenta un mínimo en los meses de invierno cuando ocurren los acumulados mínimos mientras que la correlación presenta un máximo en esos meses. El WRF presenta resultados comparables con el GFS, con leves mejoras en los meses de invierno. Como era de esperarse, los pronósticos de precipitación acumulada para el día+2 (plazo 30-54hs) muestran un menor desempeño que para el día+1 (plazo 6 a 30hs) con valores de RMSE mayores y correlaciones más bajas.

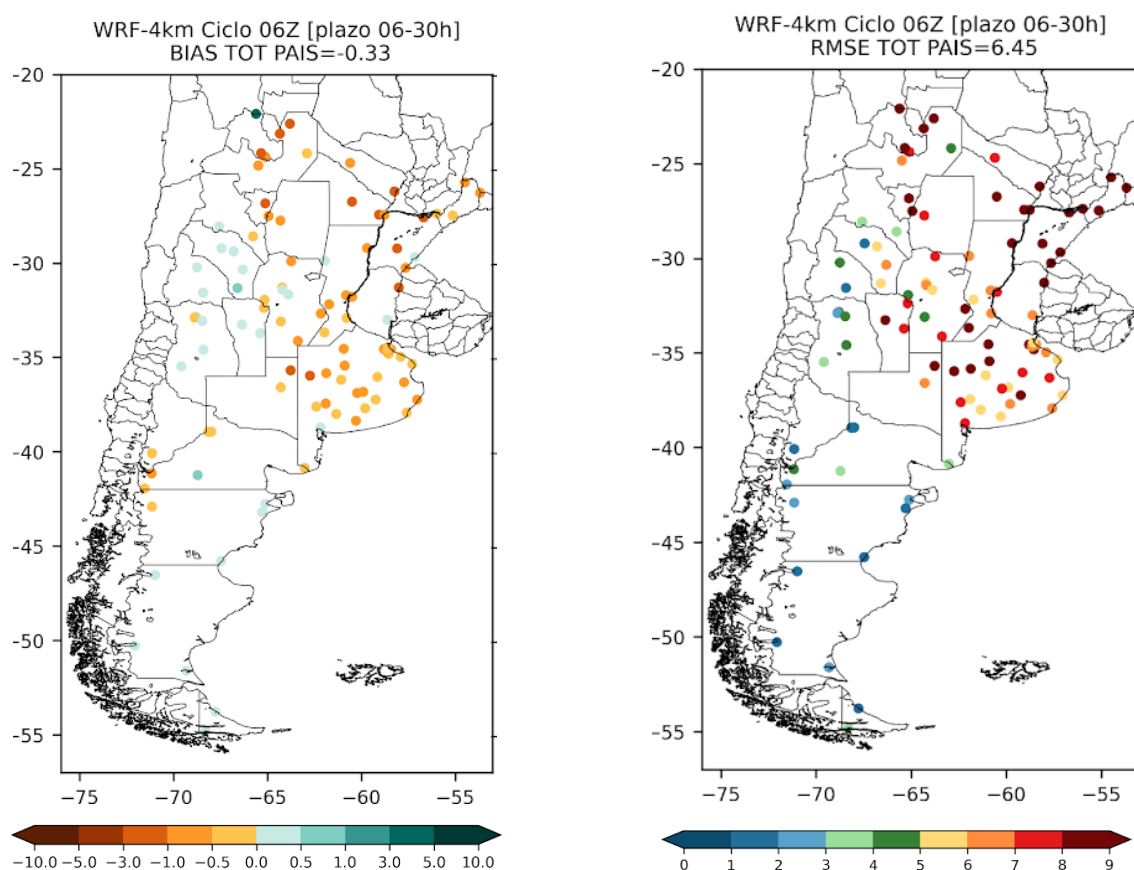


Figura 2: Distribución de BIAS (izq.) y RMSE (der.) de la PP24 válido para las 12Z [mm/día] (ciclo 06Z). El valor total que se muestra en el título corresponde al valor medio anual de todas las estaciones. Notar que la escala de colores de cada gráfico representan diferentes valores numéricos.

La distribución regional-estacional de RMSE (no mostrada) presenta valores menores en los meses de JJA respecto a los otros trimestres (DEF, MAM, SON), (estos informes están disponibles en https://drive.google.com/drive/folders/1yplscxdn5V6uQfVdlSFja2v_W1bnPXLK). En todos los casos la Patagonia, cuyos acumulados de precipitación son menores, tiene valores más bajos de RMSE que el NE como también se puede ver a nivel anual en la Figura 2 (panel derecho). En las zonas más secas como el sur de la Patagonia, los errores de sobreestimación (Figura 2, panel izquierdo) no superan los 3mm mientras que las estaciones más occidentales como Chapelco, Bariloche, El Bolsón y Esquel (que están dentro de la selva Valdiviana) subestiman con valores de alrededor de 5 o 6mm. En la región de Cuyo y San Luis predominan errores de sobreestimación que se encuentran entre 4 y 6mm. La región que muestra mayor subestimación es la zona del centro, NE y norte del país.

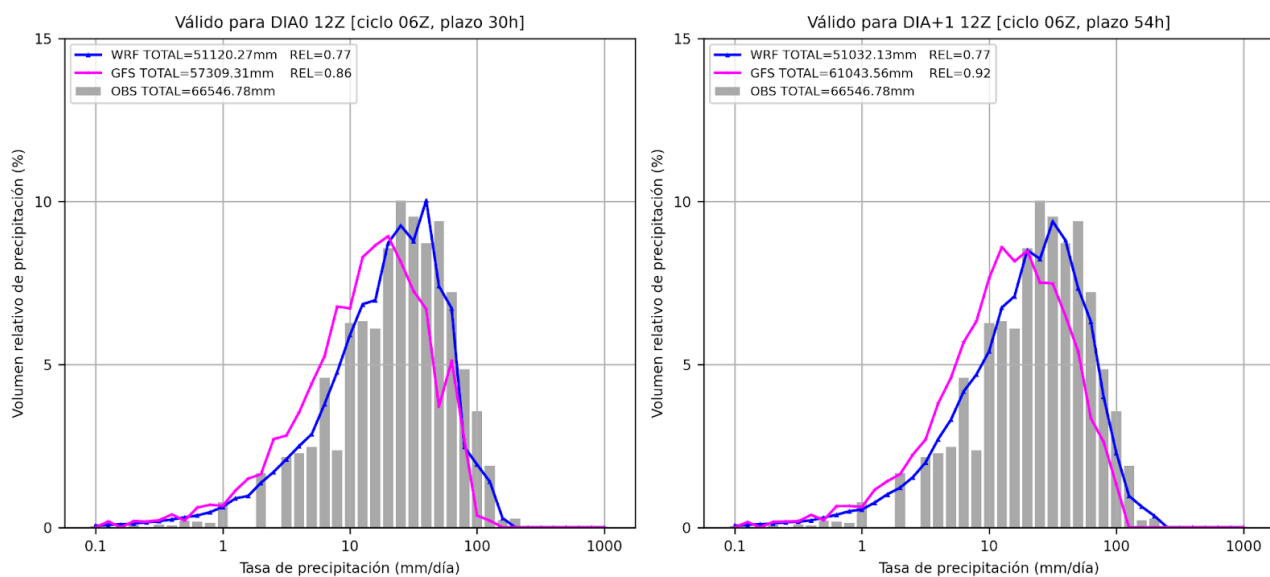


Figura 3: PDFs volumétricas de la precipitación diaria para el modelo WRF (línea azul) y GFS (línea fucsia) (ciclo 06Z) y distribución del volumen de precipitación de las observaciones (barras grises) válidas para el día0 (izq.) y para el día+1 (der.) (ciclo 06Z). En el cuadro se indican los valores totales de precipitación observada y pronosticada considerando el total de estaciones y la relación entre el total pronosticado respecto al observado.

La distribución de probabilidad de volumen de precipitación (Figura 3) indica que si bien el valor de la correspondencia entre el volumen total de precipitación observado y pronosticado por el modelo GFS es mejor que el del WRF (ver volúmenes pronosticados y medidos en el recuadro dentro de cada panel de la Figura 3), ambos modelos subestiman el volumen total tanto en los pronósticos del

día 0 como los del día+1. Las curvas muestran que el modelo WRF acompaña mejor los máximos y mínimos, donde el modelo WRF explica mejor el porcentaje de la precipitación total explicado en cada intervalo de lluvia (volumen relativo de precipitación). En cambio, la distribución del modelo GFS está desplazada hacia las precipitaciones más débiles en comparación con el máximo de precipitación observada.

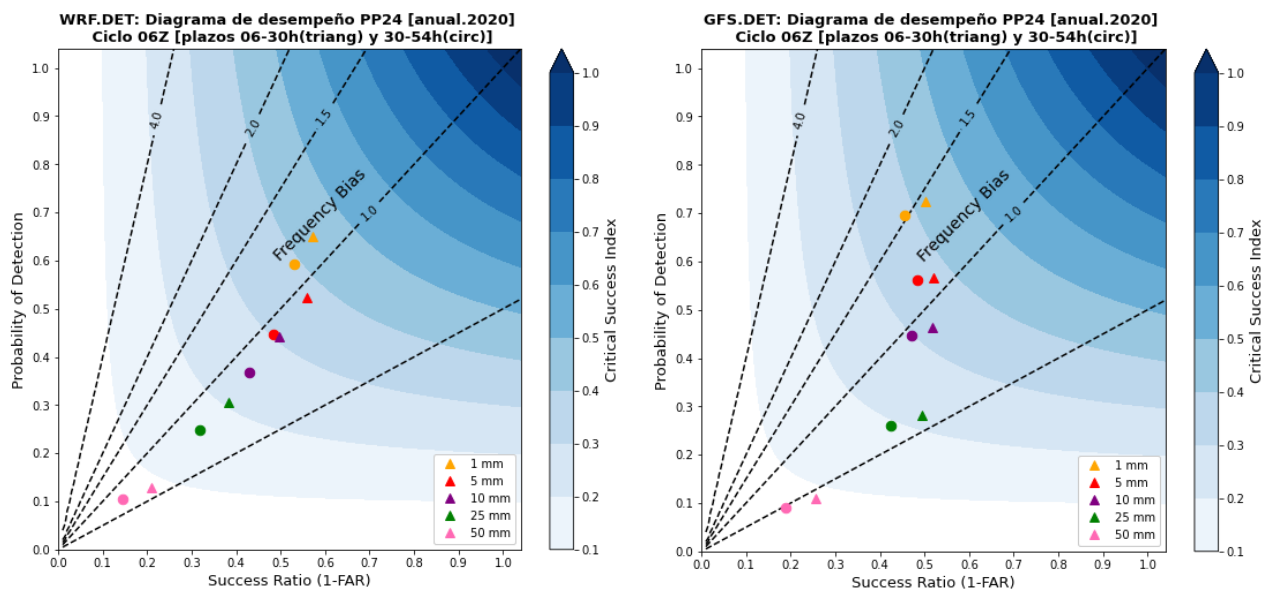


Figura 4: Diagramas de desempeño de la precipitación diaria para el modelo WRF (izq.) y GFS (der.) para distintos umbrales (ciclo 06Z) para la hora de plazo 30h (triángulos) y 54h (círculos).

Los diagramas de desempeño (Figura 4) muestran un rendimiento similar para todos los ciclos, a modo de ejemplo se muestra el correspondiente al ciclo de 06Z. El modelo WRF es el que tiene un mejor desempeño mostrando una relación entre la probabilidad de detección y la tasa de éxito muy similar (Frequency BIAS cercanos a 1, la diagonal), también hay que destacar que si bien el desempeño disminuye al aumentar el plazo, es poca la diferencia del desempeño entre el plazo 06-30hs y 30-54hs. Solo para el umbral de 1mm, el WRF sobreestima la cantidad de eventos mientras que para los umbrales superiores se ve que la subestimación va en aumento. Debe notarse que el GFS muestra valores de la tasa de éxito (por sus siglas en inglés CSI, Critical Success Index) similares al WRF para el umbral de 1mm pero sobreestima la cantidad de eventos un 50% más que el WRF, lo cual se repite para el umbral de 5mm pero en este caso el WRF los subestima. Para los umbrales superiores a 25mm el GFS muestra una mayor subestimación.

3.2 Temperatura: T2m, T2m calibrada, Tmín y Tmax

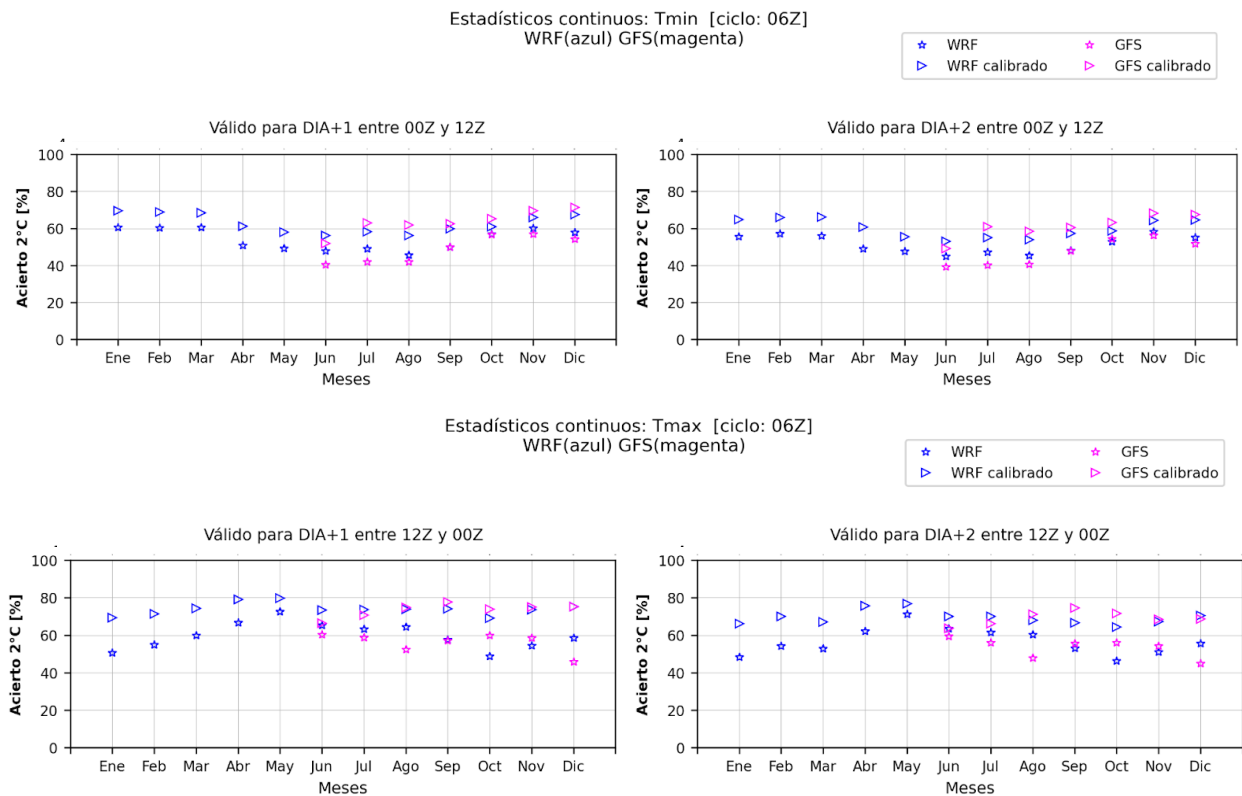


Figura 5: Evolución anual del porcentaje de acierto para Tmín (panel superior) y Tmáx (panel inferior) calibradas y sin calibrar (ciclo 06Z).

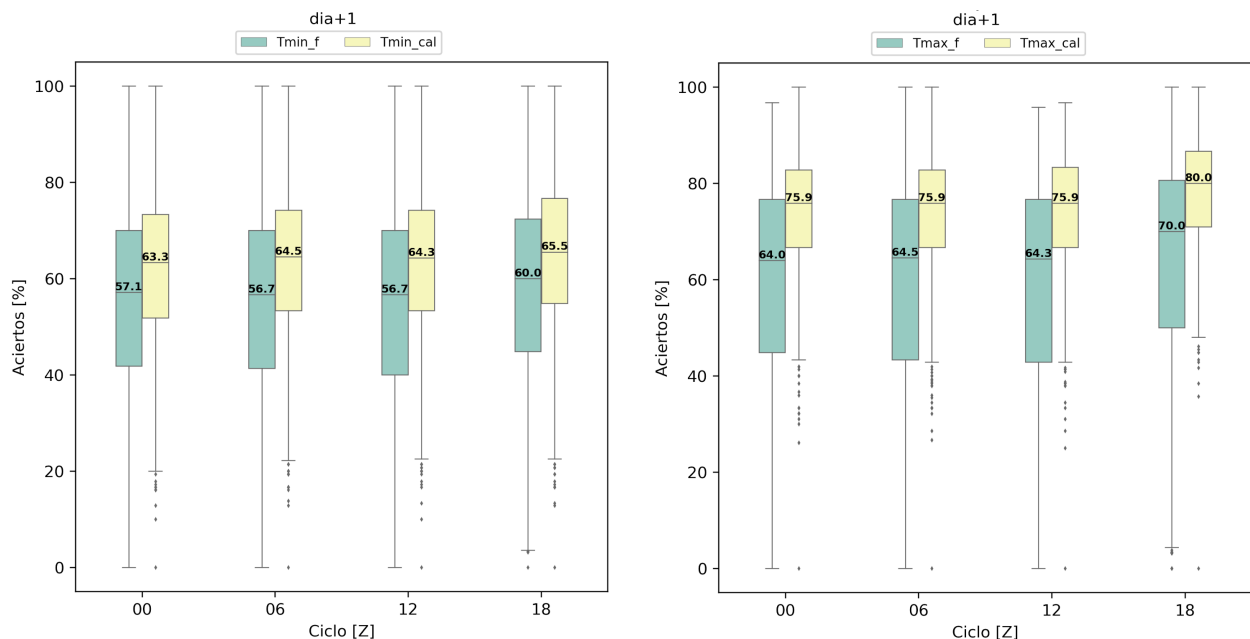
Los primeros 6 meses solo se tienen los valores de temperatura mínima y máxima del modelo WRF debido a que no estaban disponibles los del modelo GFS.

Las series temporales de temperatura mínima (Tmín) y máxima (Tmáx) de los dos modelos muestran que las temperaturas calibradas tienen un mayor acierto respecto a las sin calibrar (Figura 5). La serie de Tmín presenta un acierto menor entre junio y agosto, apenas menor al 60%, coincidiendo con los meses más fríos y la temperatura máxima muestra máximo acierto en mayo y posteriormente decrece. Asimismo, para ambos modelos se ve un comportamiento similar de los resultados para el plazo día+1 y día+2, en particular para la Tmín, en el caso de la Tmáx se ve una leve disminución del porcentaje de acierto a partir de junio. Por otra parte, se puede ver que la

calibración tiene más impacto en las $T_{máx}$ que en las $T_{mín}$, con valores de acierto superiores al 65% en todos los meses del año.

Con el fin de analizar si existen diferencias en el desempeño entre los ciclos, se muestra la Figura 6 donde se agrupa el porcentaje de acierto de las $T_{mín}$ y $T_{máx}$ para los plazos día+1 y día+2. Del mismo modo que en la figura 5, en esta figura se observa cómo el desempeño disminuye a medida que aumenta el plazo. Es clara la mejora del desempeño dada por la calibración para todos los ciclos, con más impacto para las $T_{máx}$ (Figura 6) y se puede ver que la calibración disminuye la dispersión de las distribuciones. Se destacan los aciertos del ciclo de 18Z tanto para las $T_{mín}$ como para las $T_{máx}$ respecto de los demás ciclos: si esto se confirmara en el análisis de más verificaciones, podría ser conveniente utilizar los pronósticos de $T_{máx_cal}$ de este ciclo. Esto podría deberse a que este ciclo de 18Z cuenta con más datos. En el caso de las $T_{mín_cal}$, en cambio, el desempeño es similar para todos los ciclos.

Cabe destacar también la poca diferencia existente entre los indicadores para el pronóstico a día+1 y día+2.



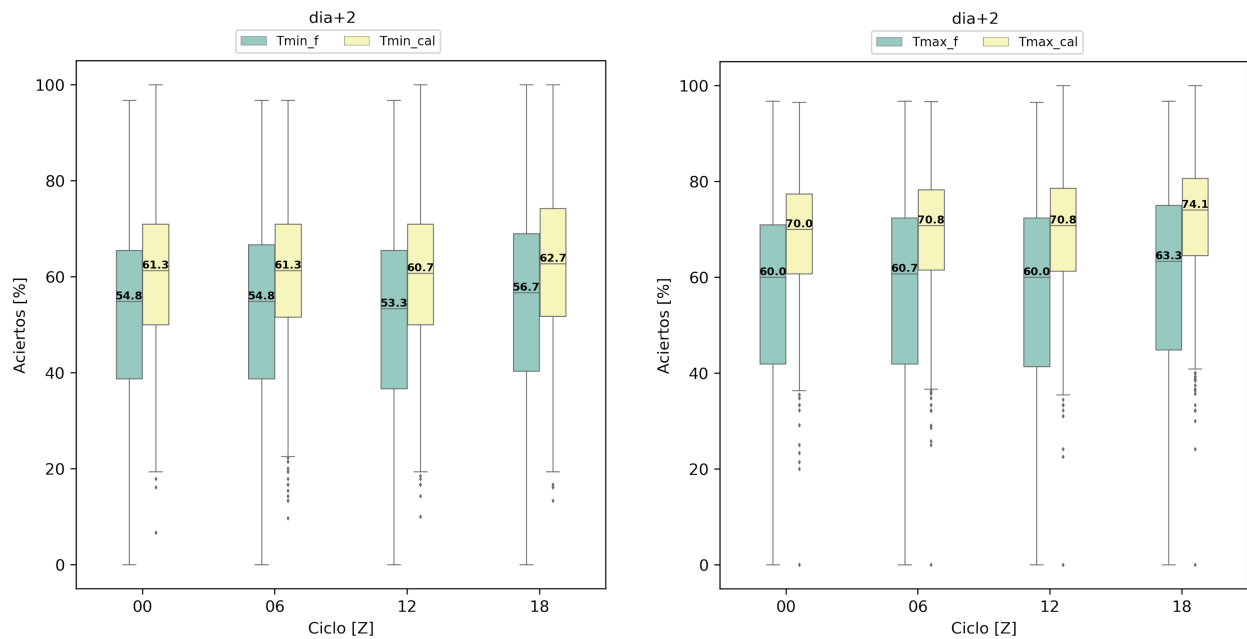


Figura 6: Diagramas de caja del porcentaje de acierto de la temperatura mínima (izq.) y máxima (der.) sin calibrar (verde) y calibradas (amarillo) por ciclo válidos para el día+1 (panel superior) y para el día+2 (panel inferior). Los valores en el centro de cada caja corresponden a la mediana de la distribución de datos. Los puntos grises indican los valores atípicos.

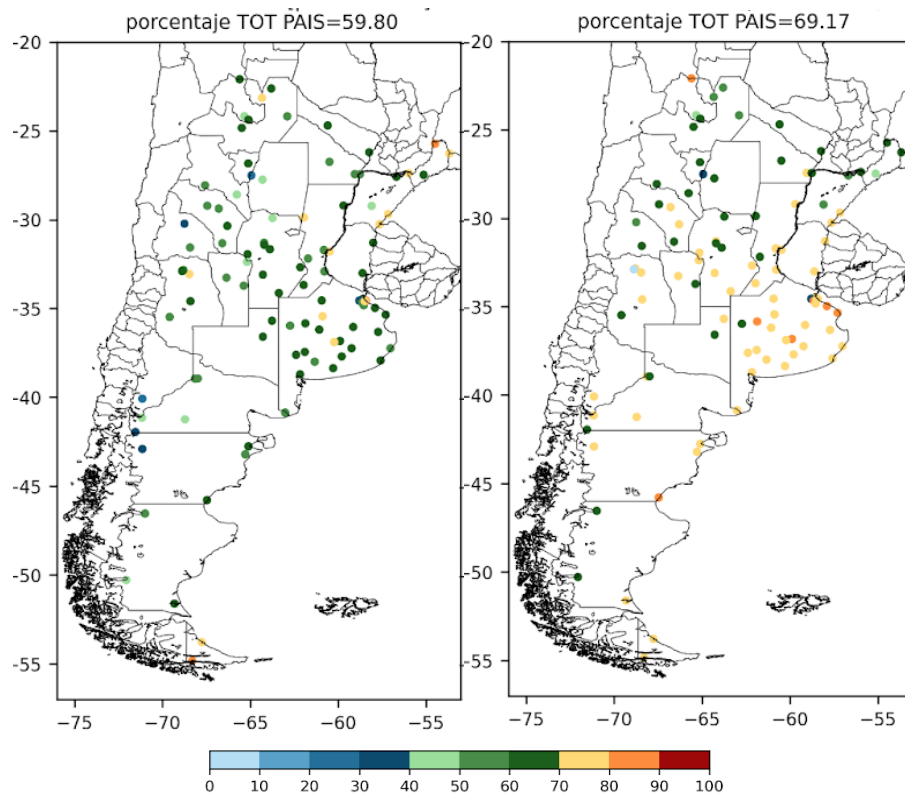


Figura 7: Mapas de porcentaje de acierto para el día+1 de la temperatura mínima calibrada (izq.) y máxima calibrada (der.) (ciclo 06Z). En el título se indica el valor del porcentaje de acierto medio para el total de estaciones.

La Figura 7 muestra el porcentaje de acierto para la temperatura máxima calibrada (der.) presenta mejores resultados a nivel país respecto a la mínima calibrada (izq). La provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe, sur de Córdoba y Este de la Patagonia tienen un acierto de la T_{max_cal} mayor al 70% mientras que la T_{mín_cal} tiene mayoritariamente aciertos mayores al 50%. Hay que resaltar que en el caso de Mendoza Observatorio, el valor de acierto es nulo debido a que no registra observaciones de T_{máx}. En cuanto a la T_{mín_cal} hay algunas estaciones que muestran menores valores que rondan entre el 20 y el 40%: Termas de Río Hondo, Jachal, Palomar, Mariano Moreno, Chapelco, El Bolsón, Esquel. Para la T_{máx_cal} algo similar sucede para la estación Mariano Moreno y Termas de Río Hondo.

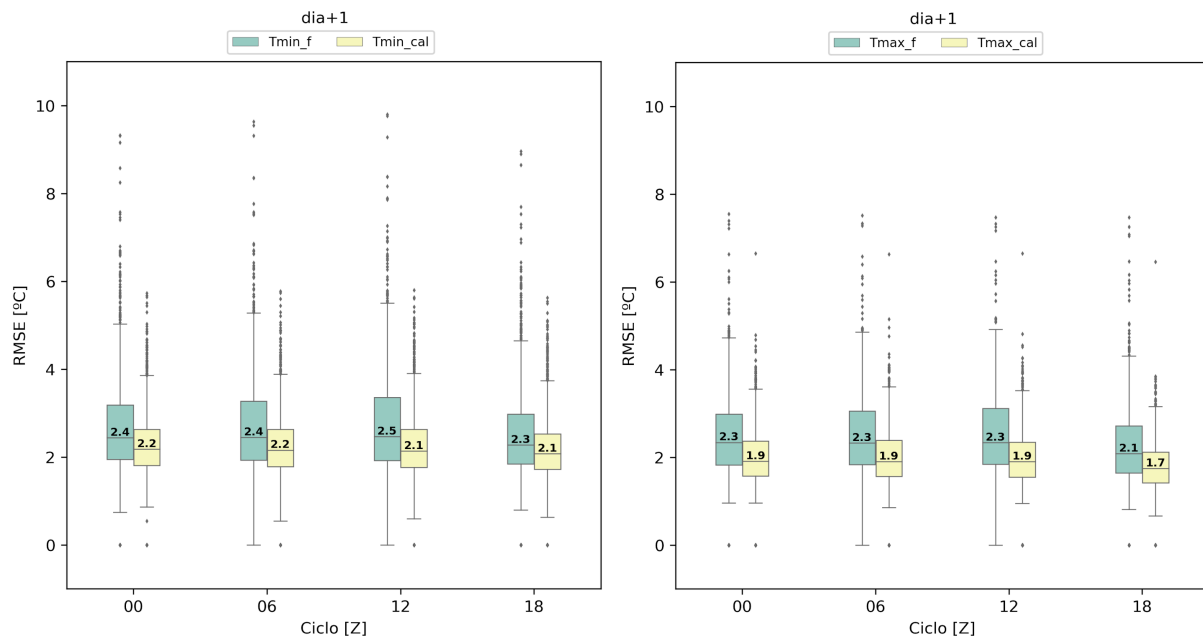
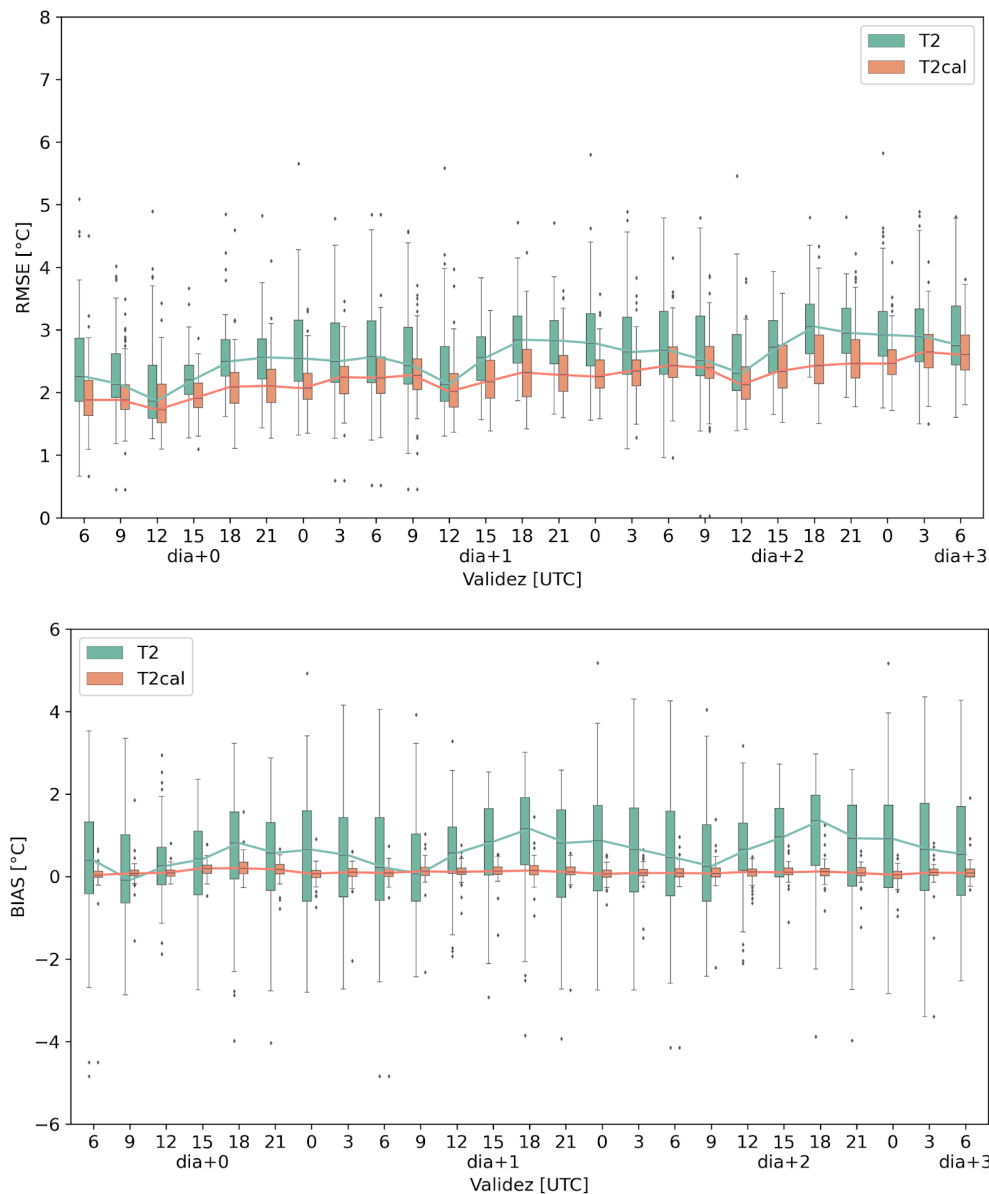


Figura 8: Diagrama de caja del RMSE de la temperatura mínima (izq.) y máxima (der.) sin calibrar (verde) y calibradas (amarillo) por ciclo. Los valores en el centro de cada caja corresponden a la mediana de la distribución de datos. Los puntos grises indican los valores atípicos.

Las Figuras 6 y 8 muestran que la dispersión de las temperaturas calibradas es menor que las de las temperaturas sin calibrar. En estos gráficos se observa que el RMSE entre la $T_{mín}$ pronosticada y observada en los distintos ciclos oscila alrededor del valor 2.4°C y para la $T_{mín_cal}$ alrededor de 2.2°C ; en el caso de la $T_{máx}$ se ve que mientras que en el estadio sin calibrar el error es de 2.3°C luego de aplicarse la calibración es de 1.9°C aproximadamente, dependiendo del ciclo. Esto indica que la elección del umbral de acierto puede ser crucial en el resultado que se obtiene, ya que la variable acierto es una variable dicotómica al encontrarse el error medio cercano a 2° que es el mismo rango que se toma para definir el acierto, este coeficiente de acierto puede estar penalizando injustamente el pronóstico.



Plazo (hs)	Cant. Obs
0	21319
1	18876
2	18949
3	27064
4	25151
5	26421
6	35790
7	27826
8	27815
9	31212
10	27667
11	27778
12	34948
13	26663
14	26651
15	30246
16	26630
17	26590
18	34267
19	19208
20	18965
21	20448
22	18339
23	18305
24	20607

Figura 9: Serie temporal de diagramas de caja del RMSE (arriba) y BIAS (abajo) de T2m (verde) y T2m calibrada (rojo) (ciclo 06Z). Las líneas continuas muestran el valor de la mediana. Los puntos grises indican los valores atípicos. A la derecha se incluye una tabla con la cantidad total de observaciones de T2m horarias disponibles hasta el plazo 24hs.

El análisis del ciclo diario la T2m (Figura 9), muestra la evolución del RMSE y BIAS en función del plazo así como una tabla donde se indica la cantidad total de observaciones por hora. Para realizar esta figura se tomaron para cada plazo, los valores medios anuales para cada estación. Hay que destacar que el número de observaciones varía de acuerdo a la hora en función del régimen de medición de cada estación. En este sentido, se encontró que hay un ciclo diario en la disponibilidad de observaciones, donde los máximos se encuentran a las 12Z mientras que hay un mínimo de disponibilidad de observaciones entre las 3 y 6Z. La tabla de la derecha (Figura 9) muestra la cantidad de observaciones disponibles para las primeras 24hs de plazo.

En todos los plazos, la T2cal tiene errores menores que T2m así como una distribución menos dispersa. El aumento del error con el plazo es muy leve, de menos de 1°C y se observa un ciclo diario que aumenta cerca de la hora de máxima y disminuye durante la noche hacia la mañana. Los mínimos errores se dan a las 12Z, hora en la cual la disponibilidad de observaciones es máxima. Este comportamiento no ocurre con los errores máximos que se dan entre las 18 y 21Z sin coincidir con el número mínimo de observaciones.

Al igual que para las temperaturas mínimas y máximas, la serie de BIAS también muestra que la calibración reduce la sobrestimación.

3.3 Humedad: TD2m

A continuación, se presentan los resultados preliminares para la variable temperatura de rocío a 2m para el ciclo de 06Z. Resultados similares se ven para los otros ciclos.

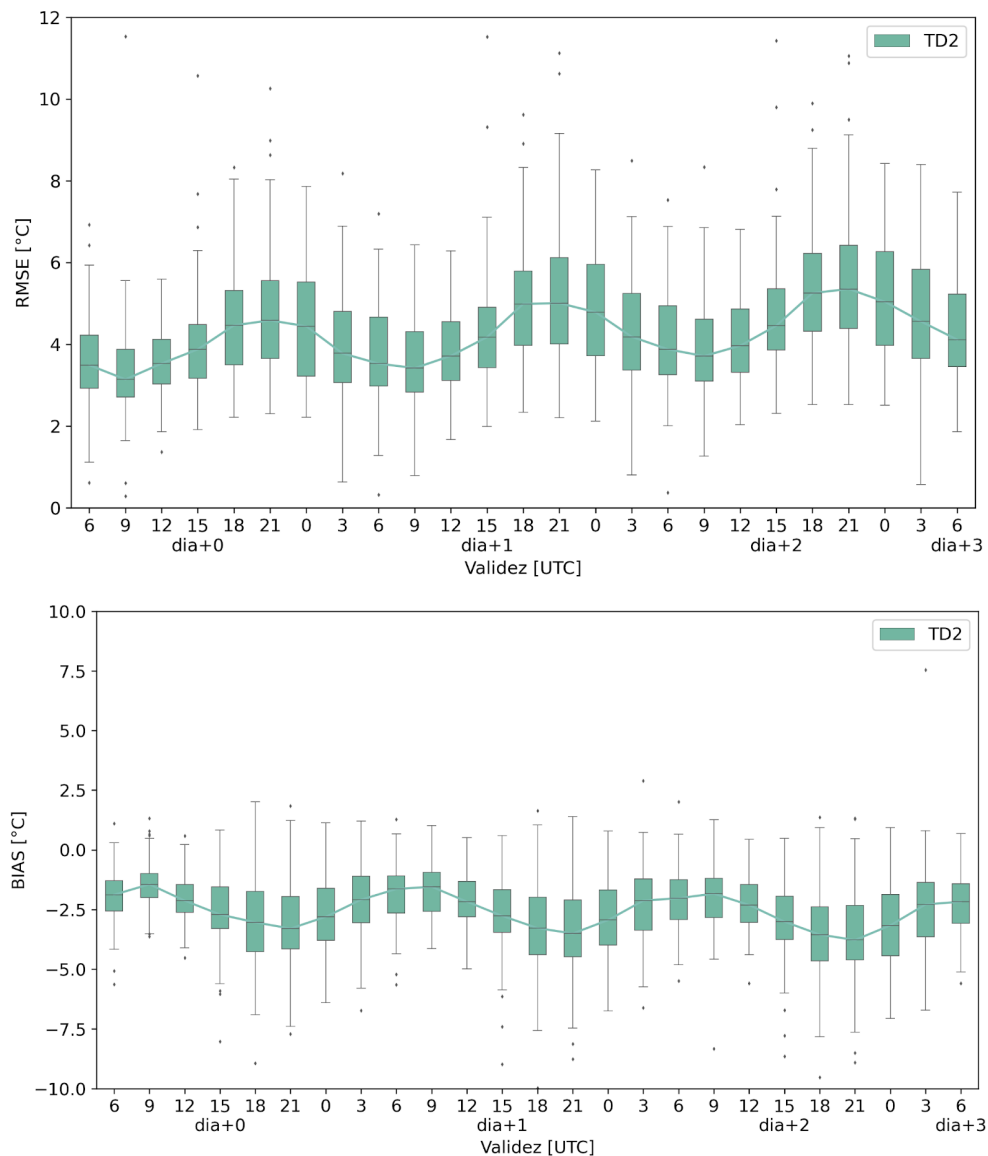


Figura 10: Series temporales de diagramas de caja del RMSE (arriba) y BIAS (abajo) de la temperatura de rocío a 2m (ciclo 06Z). Las líneas continuas muestran el valor de la mediana. Los puntos grises indican los valores atípicos.

Las series de temperatura de rocío a 2m (TD2m) muestran valores altos de error tanto de RMSE como del BIAS (Figura 10), una onda diaria y una tendencia a valores mayores de error a medida que aumenta el plazo; dicho aumento no supera 1°C. Además el BIAS muestra claramente una subestimación de la TD2m en promedio para el país, en algunos meses y en ciertas estaciones hay

sobrestimación, por ejemplo en Maquinchao, Sta Rosa de Conlara durante el invierno (ver informes disponibles en la red interna SMN-Intramet, sección Modelos Numéricos - Verificaciones - Resúmenes Mensuales y Trimestrales). Como en el caso de la T2m la cantidad de observaciones varía con las horas de plazo. En este caso, no se ve una clara relación entre los máximos errores y las horas de mínima disponibilidad de observaciones.

Explorando, por ejemplo, el plazo 18Z del ciclo 06Z, en la distribución regional de RMSE de TD2m (no se muestra) no se encuentra una región más favorecida con errores mínimos. Los errores superiores a 3°C se encuentran en el centro-norte del país y solo al sur de la Patagonia y en el extremo norte de Misiones los errores son menores a 2°C. Los BIAS trimestrales (no mostrados, ver informes disponibles en la red interna SMN-Intramet, sección Modelos Numéricos - Verificaciones - Resúmenes Mensuales y Trimestrales) muestran en general subestimación de la TD2m.

De acuerdo a estos resultados, se puede ver que el modelo presenta un error sistemático en la simulación de la humedad a 2m, lo cual puede responder a la representación de la atmósfera en los primeros niveles y de superficie, a la interacción con el modelo de suelo como así a la representación de la humedad del suelo en las condiciones iniciales.

3.4 MAGNITUD DEL VIENTO a 10m

Al igual que con TD2m, se presentan los resultados preliminares para la variable magnitud del viento a 10m para el ciclo de 06Z. Así como en otras variables, los resultados son similares a los otros ciclos.

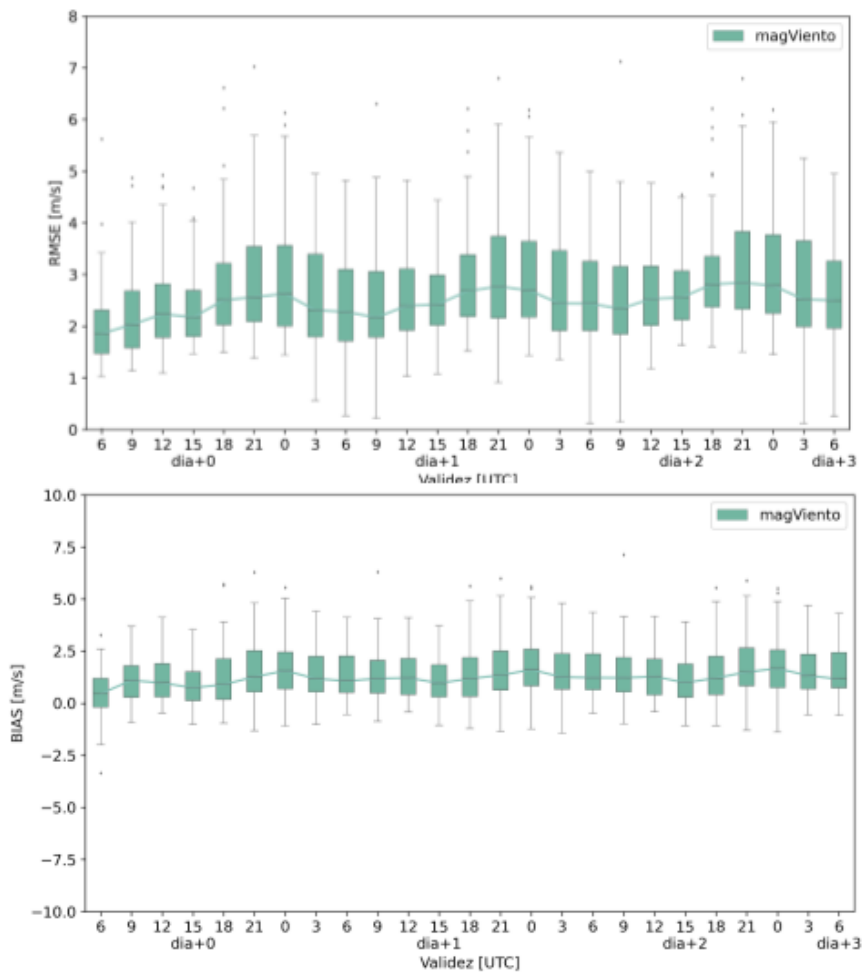


Figura 11: Serie de diagramas de caja del RMSE (arriba) y BIAS (abajo) de la magnitud del viento a 10m (ciclo 06Z). Las líneas continuas muestran el valor de la mediana. Los puntos grises indican los valores atípicos.

La magnitud del viento a 10m presenta un RMSE que en promedio se encuentra entre 2 y 3 m/s (Figura 11). El BIAS muestra una perceptible onda diaria que sobreestima la magnitud para todos los plazos. El mínimo error se da a las 15Z y no se ve relación con la cantidad de observaciones disponibles para esa hora. En ambos estadísticos se observa una tendencia positiva al aumentar el plazo.

Analizando los resultados trimestrales de la distribución regional del BIAS en el país para el ciclo 06Z válidos para las horas 12 y 18Z (no mostrados, ver informes disponibles en la red interna SMN-Intramet, sección Modelos Numéricos - Verificaciones - Resúmenes Mensuales y Trimestrales), no

se observa un patrón definido de error ni una región que quede favorecida aunque se puede ver que el modelo sobreestima en gran parte de las estaciones del país.

4. CONCLUSIONES

Actualmente se realiza una verificación en forma mensual y trimestral que se actualiza regularmente en la página de Intramet del pronóstico determinístico a 72 horas del modelo WRF. El objetivo de dicho esquema es monitorear a través del tiempo el desempeño del modelo a través de algunos estadísticos calculados sobre algunas variables. La presente nota técnica intenta resumir los resultados de la verificación de los pronósticos correspondientes al año 2020. Con ese fin se seleccionaron algunos plazos, estadísticos y variables. Los resultados aquí presentados sobre la verificación de las variables (precipitación acumulada 24hs, temperatura a 2 metros calibrada y sin calibrar, temperatura máxima y mínima a 2 metros calibradas y sin calibrar, temperatura de rocío a 2 metros y magnitud del viento a 10 metros) pronosticadas por el modelo WRF y GFS nos han dado idea de las fortalezas y debilidades del modelo WRF para el año 2020. Para realizar la verificación se utilizaron los datos observados de la red de observaciones del SMN disponibles en tiempo real (101 estaciones, ver ANEXO I).

Los estadísticos utilizados para verificar la precipitación acumulada de 24 horas muestran que el modelo WRF tiene un buen desempeño, incluso cuando se los compara con el GFS. El RMSE muestra una variación anual que acompañan la onda de los valores acumulados totales para todas las estaciones. Las máximas subestimaciones se dan durante los meses de verano donde el error alcanzó un máximo de alrededor de 12 mm para el plazo de 54hs. Asimismo, para los meses de invierno, la precipitación total se ve sobreestimada y el RMSE alcanza su mínimo en julio. En líneas generales, resulta una buena señal que para plazos diferentes (06-30hs y 30-54hs) haya poca variación de los estadísticos de precipitación obtenidos con el pronóstico del modelo WRF, indicando la robustez del mismo. Asimismo, la distribución regional del BIAS y el RMSE mostró que la zona de subestimación se encuentra en el centro norte del país donde también se registran los mayores valores de precipitación, los errores superan los 5mm. Mientras que en las zonas más secas como el sur de la Patagonia, el modelo sobreestima con menores errores. La distribución del volumen total de precipitación también reflejó que el modelo WRF se ajusta mejor a la distribución observada que el GFS tanto para el plazo de 30hs como el de 54hs. Los estadísticos categóricos también mostraron un mejor desempeño para el modelo WRF en los umbrales de hasta 25mm.

Por otro lado, en el caso de las temperaturas se evidencia la mejora que representa la inclusión del proceso de calibración que se refleja en el desempeño del pronóstico. En todos los casos mostraron

menor dispersión que sus contrapartes no calibradas y un mayor porcentaje de acierto. El ciclo de 18Z mostró un mayor porcentaje de acierto tanto en las temperaturas mínimas como máximas calibradas y sin calibrar. La calibración del pronóstico reflejó tener más impacto para las temperaturas máximas. Cabe destacar que los resultados del RMSE mostraron que el porcentaje de acierto puede ser sensible a la elección del umbral que se utilice. Respecto a la temperatura a 2m, se revela un ciclo diario con errores máximos cercanos a la hora de la máxima y que disminuyen durante las horas de la noche. El aumento del error con el plazo es leve siendo aproximadamente de 1°C hacia el último plazo. Cabe destacar que en el análisis de esta variable, los resultados se ven influenciados por la disponibilidad de observaciones dada por el régimen inhomogéneo de medición de las estaciones.

Finalmente, la temperatura de rocío a 2m y la magnitud del viento a 10m muestran valores de error elevados que se pueden ver en el BIAS. En el caso de la humedad, los errores de subestimación muestran un ciclo diario con una leve tendencia positiva hacia los plazos más largos donde la mediana llega a los 5°C en horas de la tarde. Mientras que en el caso de la magnitud del viento, los pronósticos tienden a sobreestimar los valores horarios. Actualmente se está trabajando en una metodología de calibración de la intensidad del viento, mientras que los errores que se detectaron en las variables de humedad requieren un análisis más detallado.

Se propone en trabajos futuros de verificación incorporar el uso de información proveniente de una base de datos de reanálisis de modelos independientes y estimaciones de precipitación satelital que puedan funcionar como proxy de las observaciones, con el objetivo de realizar una verificación en todo el dominio de pronóstico y con una resolución temporal adecuada a los pronósticos.

Por último, el sistema actual de pronóstico incluye además del pronóstico determinístico, un pronóstico por ensambles para el cual se está desarrollando un esquema de verificación. El mismo constituye un gran desafío, dado que es necesario realizar una verificación de pronósticos probabilísticos así como también el uso de medidas estadísticas que reflejen adecuadamente el desempeño y habilidad del sistema.

Agradecimientos: Al proyecto CyT Alerta con el cual se adquirió el HPC Huayra Muyu y a Melissa Patanella y Pablo Irurzun por facilitar un desarrollo en Python que genera el diagrama de desempeño.

REFERENCIAS

Amitai, E., W. Petersen, X. Lloret y S. Vasiloff, 2012: Multiplatform Comparisons of Rain Intensity for Extreme Precipitation Events. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 3, pp. 675-686, doi: 10.1109/TGRS.2011.2162737.

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.

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

Shamarock, W.C., J.B. Klemp, Dudhia J., Gill D.O., Lui Z, Berner J., Wang W., Power J.G., Duda M.G., Barker D.M. y Huang X., 2019: A description of the Advanced Research WRF version 4. NCAR Technical note -556+STR

Roebber, P.J., 2009: Visualizing multiple measures of forecast quality. Wea. Forecasting, 24, 601-608.

Wilks D.S., 2011: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. International Geophysical Series, vol. 100. Academic Press, UK.

ANEXO I: Estaciones utilizadas para la verificación

	Nombre	Lat.	Lon.	Número			Nombre	Lat.	Lon.	Número
1	BA_Aeroparque	-34.56	-58.42	87582		35	CC_Resistencia	-27.44	-59.05	87155
2	BA_Azul	-36.83	-59.89	87641		36	CC_Roque_Saenz_Pena	-26.75	-60.49	87148
3	BA_Benito_Juarez	-37.7	-59.79	87649		37	CH_Comod_Rivadavia	-45.79	-66.47	87860
4	BA_Bolivar	-36.19	-61.07	87640		38	CH_Esquel	-42.91	-71.14	87803
5	BA_Cnel_Pringles	-38	-61.33	87683		39	CH_Puerto_Madryn	-42.76	-65.1	87823
6	BA_Cnel_Suarez	-37.45	-61.89	87637		40	CR_Corrientes_Aero	-27.45	-58.76	87166
7	BA_Dolores	-36.32	-57.72	87648		41	CR_Ituzaingo	-27.59	-56.68	87173
8	BA_Ezeiza	-34.82	-58.54	87576		42	CR_Mercedes	-29.23	-58.09	87281
9	BA_Junin_Aero	-34.55	-60.93	87548		43	CR_Monte_Caseros	-30.26	-57.64	87393
10	BA_La_Plata	-34.97	-57.9	87593		44	CR_Paso_Libres	-29.69	-57.15	87289
11	BA_Las_Flores	-36.04	-59.14	87563		45	CT_Catamarca_Aero	-28.59	-65.76	87222
12	BA_Mar_del_Plata	-37.93	-57.58	87692		46	CT_Tinogasta	-28.07	-67.57	87211
13	BA_Mariano_Moreno	-34.56	-58.79	87572		47	ER_Concordia	-31.3	-58	87395
14	BA_Moron	-34.67	-58.64	87574		48	ER_Gualeguaychu	-33.01	-58.61	87497
15	BA_Nueve_Julio	-35.44	-60.88	87550		49	ER_Parana	-31.79	-60.48	87374
16	BA_Observatorio	-34.59	-58.48	87585		50	FO_Formosa	-26.21	-58.23	87162
17	BA_Olavarria	-36.89	-60.22	87643		51	FO_Las_Lomitas	-24.7	-60.59	87078
18	BA_Palomar	-34.6	-58.61	87571		52	JY_Jujuy_Aero	-24.38	-65.1	87046
19	BA_Pehuajo	-35.84	-61.86	87544		53	JY_Jujuy_Univ	-24.18	-65.33	87043
20	BA_Pigue	-37.61	-62.39	87679		54	JY_La_Quica	-22.1	-65.6	87007
21	BA_Punta_Indio	-35.35	-57.29	87596		55	LP_Gral_Pico	-35.69	-63.76	87532
22	BA_San_Fernando	-34.46	-58.58	87553		56	LP_Santa_Rosa	-36.59	-64.28	87623
23	BA_Tandil	-37.24	-59.23	87645		57	LR_Chamical_Aero	-30.35	-66.3	87320
24	BA_Trenque_Lauquen	-35.97	-62.73	87540		58	LR_Chepes	-31.33	-66.59	87322
25	BA_Tres_Arroyos	-38.36	-60.28	87688		59	LR_Chilecito	-29.22	-67.44	87213
26	BA_Villa_Gesell	-37.24	-57.02	87663		60	LR_La_Rioja_Aero	-29.38	-66.79	87217
27	CB_Cordoba_Aero	-31.3	-64.21	87344		61	MN_Bern_Irigoyen	-26.28	-53.67	87163
28	CB_Cordoba_Obs	-31.42	-64.2	87345		62	MN_Iguazu	-25.73	-54.48	87097
29	CB_Laboulaye	-34.13	-63.37	87534		63	MN_Obera	-27.48	-55.13	87187
30	CB_Marcos_Juarez	-32.68	-62.15	87467		64	MN_Posadas	-27.39	-55.97	87178
31	CB_Pilar	-31.67	-63.88	87349		65	MZ_Malargue	-35.48	-69.58	87506
32	CB_Rio_Cuarto	-33.1	-64.28	87453		66	MZ_Mendoza_Aero	-32.84	-68.8	87418
33	CB_Villa_Dolores	-31.95	-65.15	87328		67	MZ_Mendoza_Obs	-32.89	-68.87	87420
34	CB_Villa_Ma_RioSeco	-29.91	-63.73	87244		68	MZ_San_Martin	-33.07	-68.46	87416

	Nombre	Lat.	Lon.	Número						
69	NQ_Chapelco	-40.08	-71.14	87761						
70	NQ_Neuquen	-38.95	-68.14	87715						
71	RN_Bariloche	-41.15	-71.16	87765						
72	RN_Cipolleti	-38.94	-67.98	87719						
73	RN_El_Bolson	-41.95	-71.53	87800						
74	RN_Maquinchao	-41.24	-68.71	87774						
75	SA_Oran	-23.15	-64.33	87016						
76	SA_Rivadavia	-24.19	-62.89	87065						
77	SA_Salta_Aero	-24.84	-65.48	87047						
78	SA_Tartagal	-22.62	-63.8	87022						
79	SC_Perito_Moreno	-46.54	-70.98	87852						
80	SC_Rio_Gallegos	-51.61	-69.31	87925						
81	SE_Rio_Hondo	-27.51	-64.93	87127						
82	SE_Sgo_del_Estero	-27.75	-64.3	87129						
83	SF_Ceres	-29.88	-61.94	87257						
84	SF_El_Trebol	-32.19	-61.71	87470						
85	SF_Reconquista	-29.21	-59.69	87270						
86	SF_Rosario	-32.91	-60.78	87480						
87	SF_Santa_Fe	-31.71	-60.81	87371						
88	SF_Venado_Tuerto	-33.68	-61.96	87468						
89	SJ_Jachal	-30.23	-68.74	87305						
90	SJ_San_Juan	-31.57	-68.42	87311						
91	SL_San_Luis_Aero	-33.27	-66.35	87436						
92	SL_Sta_Rosa_Conlara	-32.38	-65.18	87444						
93	SL_Villa_Reynolds	-33.72	-65.37	87448						
94	TF_Rio_Grande	-53.78	-67.76	87934						
95	TF_Ushuaia	-54.84	-68.3	87938						
96	TM_Tucuman	-26.84	-65.11	87121						
97	BA_Bahia_Blanca	-38.71	-62.16	87750						
98	MZ_San_Rafael	-34.59	-68.4	87509						
99	RN_Viedma	-40.86	-63.01	87791						
100	SC_Calafate	-50.28	-72.05	87904						
101	CH_Trelew	-43.21	-65.28	87828						

Anexo II: Medidas estadísticas de verificación

Matriz de contingencia:

		Observado	
Pronóstico	SI	NO	Total
SI	Aciertos (A)	Falsas Alarmas (F)	Pronosticado si
NO	Sorpresas (S)	Correctos Neg (N)	Pronosticado no
Total	Observado si	Observado no	Total

Las categorías de la matriz de contingencia se computan en relación a valores umbrales determinados para cada variable.

Estadísticos categóricos	
BIAS SCORE o Frequency BIAS (FBIAS) Indica la relación entre la frecuencia de eventos pronosticados y eventos observados. $0 \leq \text{FBIAS} \leq \infty$; valor óptimo = 1. Valores negativos indican que el modelo subestima, valores positivos indican que el modelo sobreestima.	$\text{FBIAS} = \frac{A + F}{A + S}$
CSI (critical success index, también llamado Threat score, TS) indica la fracción de eventos de precipitación correctamente pronosticados. No considera los eventos correctos negativos. CSI perfecto = 1, sin relación CSI = 0	$\text{CSI} = \frac{A}{A + S + F}$
POD (probability of detection) Indica la fracción de los eventos observados que se pronosticaron correctamente $0 \leq \text{POD} \leq 1$; valor óptimo = 1	$\text{POD} = \frac{A}{A + S}$
FAR (false alarm ratio) Indica la fracción de los eventos pronosticados que no se observaron $0 \leq \text{FAR} \leq 1$; valor óptimo = 0	$\text{FAR} = \frac{F}{A + F}$

Estadísticos continuos En las siguientes ecuaciones, P son los pronósticos, O las observaciones, el guión representa los valores medios, y N el total de puntos considerado en el análisis.	
BIAS Sesgo entre el valor pronosticado y observado. Representa el error sistemático. Este índice varía entre menos infinito e infinito $(-\infty; \infty)$, si el valor es mayor a 0 $(BIAS \geq 0)$ indica que el modelo numérico sobrestima. Si el valor es menor a 0 $(BIAS \leq 0)$ indica que subestima. El valor igual a 0 indicaría que la observación es igual al valor pronosticado para esa variable.	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N}$
RMSE (root mean square error) Indica una medida del valor medio de los errores RMSE varía entre cero e infinito $(0; \infty)$.	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}$
CORR (correlación lineal de Pearson) Representa el grado de asociación lineal entre pronósticos y las observaciones	$CORR = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$

Porcentaje de acierto:

Se considera acierto cuando la diferencia absoluta entre el valor pronosticado y observado es menor o igual a 2 grados en el caso de las temperaturas.

Distribución de probabilidad volumétrica de precipitación (PDF):

Las distribuciones de probabilidad del volumen de precipitación (Amitai et al., 2011), subdividen la tasa de precipitación diaria en intervalos en escala dBR, y consideran la contribución relativa de los mismos al volumen total de precipitación. Se definen como la suma de las tasas de precipitación para un dado intervalo en escala dBR $(dBR = 10 \log(R/1 \text{ mm día}^{-1}))$; $[R] = [\text{mm día}^{-1}]$ dividido por la suma total de las tasas de precipitación. La ventaja respecto a las PDFs de ocurrencia, es que son menos sensibles a las limitaciones en la detección de precipitación débil (asociada a una pequeña fracción

de la precipitación total). En la leyenda de las figuras, se incluye la relación entre la precipitación total pronosticada y observada sobre la región y período analizado. Estas figuras se muestran para la PPacum24h pronosticada con el ciclo 06Z y válida para el día 0 y día+1 a las 12Z.

Diagrama de desempeño:

El diagrama de desempeño constituye una forma geométrica de mostrar la relación entre las medidas de verificación categóricas: la probabilidad de detección (Probability of Detection, eje y en el diagrama), la tasa de falsas alarmas (FAR, de sus siglas en inglés) o su opuesto la tasa de éxito (Success Ratio = $1 - FAR$, eje x en el diagrama), el Frequeny Bias (líneas punteadas) y el índice crítico de éxito (Critical Success index, valores sombreados en el diagrama). Más detalles sobre la construcción de este diagrama se puede encontrar en Roebber (2009).

Un buen desempeño de los pronósticos se refleja en valores de POD, SR, FBIAS y CSI cercanos a 1, por lo que un pronóstico perfecto se encontrará en la esquina superior derecha del diagrama. Las desviaciones en alguna dirección indican diferencias relativas entre POD y SR y consecuentemente entre FBIAS y CSI. La ventaja de este diagrama es que las diferencias en el desempeño quedan visibles en forma inmediata.

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 Martin 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).