

# Informe Entregables Proyecto AlertAr

---

Grupo III/2018-4

**Entregable: VALIDACIÓN OPERATIVA DE LA CALIDAD DEL PRONÓSTICO DEL  
WRF-ARG.**

## Integrantes:

- María Paula Hobouchian - SMN
- Cynthia Matsudo - SMN
- Yanina García Skabar - SMN - CONICET
- Maximiliano Sacco - SMN

Abril, 2018

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	3
<b>Detalle del Informe</b> .....	4
1. <b>Introducción</b> .....	4
2. <b>Datos</b> .....	4
3. <b>Metodología</b> .....	5
4. <b>Resultados</b> .....	7
5. <b>Conclusiones</b> .....	14
6. <b>Referencias</b> .....	15

Resumen	Abstract
<p>El modelado numérico es una herramienta clave para el desarrollo del pronóstico en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En particular, los pronósticos numéricos de precipitación y temperatura son de gran interés para múltiples usuarios, pero tienen limitaciones que requieren de una adecuada validación.</p> <p>El área de investigación y desarrollo del SMN especializada en pronóstico numérico, trabaja para mejorar el sistema de modelado numérico de la atmósfera y generar pronósticos con modelos regionales en alta resolución que representen un valor agregado respecto a los modelos globales.</p> <p>Se adaptó el esquema de validación para evaluar la calidad de los pronósticos del GFS y WRF utilizados actualmente en el SMN en todo el dominio de Argentina. Los pronósticos se comparan con las observaciones de superficie disponibles en tiempo real aplicando técnicas estadísticas clásicas, categóricas, y algunos métodos sugeridos para trabajar con la precipitación, como las PDFs volumétricas.</p> <p>Los resultados muestran algunas ventajas del WRF frente al GFS. Los pronósticos de precipitación del WRF tienen una mayor correspondencia con la distribución observada. A su vez, se observa una reducción del bias y de las falsas alarmas, y se obtienen índices más favorables en los eventos extremos. En la comparación de los pronósticos de temperatura, se han observado mejores resultados para el WRF en la mayoría de los meses analizados y más notorios en los valores del bias y el porcentaje de acierto.</p>	<p>Numerical modelling is a key tool for the development of the weather forecasting at the National Meteorological Service (SMN). In particular, precipitation and temperature forecasts are of great interest for multiple users, however due to their limitations it is required a proper validation.</p> <p>The Research and Development Department at SMN is working to improve the operational numerical forecast system in order to provide regional high resolution forecasts and to give added value to GFS information.</p> <p>The validation scheme was adapted in order to evaluate the quality of GFS and WRF forecasts, currently available at SMN, over Argentina region. Forecasts were compared against surface real time observations by calculating statistical categorical and classical scores and other suggested measurements for precipitation such as volumetric PDFs.</p> <p>Results show that WRF have some advantages in comparison to GFS. WRF precipitation forecasts have a greater correspondence to observed distribution. Moreover, WRF forecasts present lower bias and false alarms and verification scores improve at higher thresholds. 2-m temperature WRF forecasts present better results than GFS for most of the months analyzed, with lower biases and higher hit percentage.</p>

## Detalle del Informe

### 1. Introducción

El modelado numérico de la atmósfera en los últimos años ha tenido un desarrollo importante debido a la disponibilidad de observaciones, mayor entendimiento de los procesos que ocurren en la atmósfera y el avance tecnológico. Estos factores contribuyen al desarrollo continuo de los modelos con el objetivo de mejorar la calidad de los pronósticos y que resulten más precisos en situaciones de ocurrencia de eventos de alto impacto para la población y sus bienes materiales.

Asimismo, junto con el desarrollo de los pronósticos es necesario realizar una verificación de los resultados. En este sentido, existen diversas metodologías que permiten medir la calidad de los pronósticos en función del tipo de producto que se quiera evaluar y a la disponibilidad de las observaciones.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) contó hasta 2017 con un esquema operativo de pronóstico numérico que incluía los pronósticos provenientes de 3 modelos: el NCEP Global Forecasting System (GFS) con resolución horizontal de  $0.25^\circ$ , el modelo regional ETA (Suaya, 2004) con dos configuraciones de 30 y 10 km y el modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting Model (WRF, Skamarock et al., 2008) de alta resolución (4 km). En el caso del modelo ETA, los pronósticos tenían un plazo máximo de 168 y 96 horas y cubrían toda la Argentina. Debido al alto costo computacional, en el caso del modelo WRF, los pronósticos se generaban con un plazo de 48 horas y cubrían el centro noreste del país donde se encuentra la región de mayor actividad convectiva.

A partir de julio de 2017, el SMN cuenta con un nuevo esquema de pronóstico operativo que incluye los pronósticos globales provenientes del GFS con una resolución de  $0.25^\circ$  y a 168 horas de plazo (GFS0.25°) mientras que los pronósticos del modelo ETA fueron discontinuados. Por su parte, en el caso del modelo regional WRF de alta resolución, dadas las ventajas que mostró y gracias a la incorporación de mayor cantidad de recursos computacionales, se extendió su cobertura a todo el país y se duplicó la cantidad de ciclos de pronóstico a 4 por día (00, 06, 12, y 18 UTC).

La necesidad de evaluar la calidad de los pronósticos numéricos utilizados actualmente en el SMN, motivó el desarrollo de un esquema de validación de los modelos adaptado a la nueva configuración del WRF en un dominio que cubre toda la Argentina (a partir de ahora WRF4km).

El objetivo de este trabajo es presentar el esquema de validación actual de los pronósticos numéricos de precipitación y temperatura de los modelos disponibles y analizar los resultados obtenidos para el periodo coincidente de datos entre julio de 2017 y marzo de 2018.

### 2. Datos

El esquema de validación de los pronósticos numéricos utilizados en el SMN se actualizó considerando la nueva configuración del modelo regional WRF en un dominio que cubre toda la Argentina. Los pronósticos del modelo WRF se interpolan a la retícula del modelo GFS de resolución  $0.25^\circ$  para utilizar una retícula común y obtener resultados comparables entre los modelos. A su vez, las observaciones de la red de estaciones meteorológicas disponible operativamente en el SMN, se comparan con el punto más cercano a la retícula del modelo.

En el caso de los pronósticos de precipitación del WRF4km y del GFS0.25°, los cálculos se realizan con la corrida de los modelos inicializada a las 06 UTC para el plazo de pronóstico a 30 hs, con la precipitación acumulada entre las 12 y las 12 UTC del día especificado. Estos datos de precipitación diaria se comparan con las observaciones diarias de superficie. Para evaluar el rendimiento de los pronósticos de los distintos ciclos del modelo WRF, se realiza el cálculo de precipitación acumulada diaria correspondiente al resto de las corridas inicializadas a las 00, 12 y

18 UTC. Estos datos se comparan con los datos pluviométricos diarios y con la estimación de precipitación por satélite IMERG (por sus siglas en inglés) en su versión "Late Run" que deriva de la misión para medir la precipitación global GPM (por sus siglas en inglés), cuyas especificaciones técnicas se encuentran en Huffman et al. (2015). La estimación se calcula en el periodo diario para realizar la figura de comparación de los ciclos que se describe en la metodología de este trabajo.

En el caso de los pronósticos de temperatura del WRF4km y del GFS0.25°, los cálculos se realizan con la corrida de los modelos inicializada a las 06 UTC para el pronóstico de las 12 y 18 UTC del día especificado (correspondientes a un plazo de pronóstico de 6 y 12 hs). Estos pronósticos se comparan con los datos de superficie correspondientes a las mismas horas para analizar el rendimiento de los modelos en dos horas próximas a la máxima y mínima temperatura, y también se genera una figura diaria de comparación para los distintos ciclos del modelo.

### 3. Metodología

Para adaptar la validación operativa de los pronósticos numéricos, se trabajó en automatizar la lectura y procesamiento de todas las fuentes de datos necesarias y los cálculos diarios previos a realizar la comparación estadística. Luego, se armaron los programas correspondientes a cada figura de interés para el nuevo esquema de validación que se encuentra disponible actualmente bajo el nombre de "Verificaciones" en el menú de Modelos Numéricos de intramet del SMN.

Para la precipitación, se separó la información de cada año en 4 solapas distintas. Por un lado, en "validación diaria por mes" se disponen los mapas del BIAS del WRF4km y del GFS0.25°. Se muestra el BIAS puntual para cada mes, la cantidad de puntos disponibles en la comparación (N) y el valor de BIAS total en el mes para toda la región analizada. En "series mensuales por año", se presenta el resultado para cada mes y en toda la región de los estadísticos clásicos BIAS, RMSE y CORR y los estadísticos categóricos BIAS score, ETS, POD y FAR, considerando los umbrales de 1, 10 y 25 mm. En "PDFs por trimestre", se muestran las distribuciones de probabilidad del volumen de precipitación de toda la región para los trimestres DEF, MAM, JJA y SON. Por último, la solapa "comparación ciclos por día", corresponde a las figuras diarias de comparación de los 4 ciclos del modelo WRF con los datos de superficie y la estimación de precipitación IMERG.

Para la temperatura, se separaron las figuras en 3 solapas. En primer lugar, en "series mensuales por año" se muestra el resultado para cada mes y en toda la región del BIAS, RMSE, CORR y porcentaje de ACIERTO considerando 2°C para las 12 y 18 UTC. En "validación diaria por mes" se disponen los resultados para cada mes y en forma separada para las 12 y 18 UTC del BIAS, RMSE, CORR y ACIERTO. En todos los casos, se encuentran los valores puntuales y totales considerando toda la región. Luego, la solapa "comparación ciclos por día", corresponde a las figuras diarias de comparación de los 4 ciclos del modelo WRF con los datos de superficie para las 12 y las 18 UTC.

Para los cálculos estadísticos, se utilizó el sesgo (BIAS, por su uso más frecuente en inglés) que representa el error sistemático del pronóstico, la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés), que proporciona una medida del valor medio de los errores del pronóstico y el coeficiente de correlación (CORR) que indica el grado de asociación lineal con las observaciones. Las fórmulas que corresponden a estos estadísticos son las siguientes:

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (3)$$

Donde P y O son los datos pronosticados y observados respectivamente, el guión representa el valor medio, y N es la cantidad total de pares de comparación que se consideran en la validación. En el caso de los pronósticos de precipitación, se calculan estadísticos categóricos considerando los umbrales de 1, 10 y 25 mm para determinar las categorías de acierto (A), sorpresa (S) y falsa alarma (F). Los índices que combinan esta información son: El Bias Score (BIASS), que es la relación entre la frecuencia de eventos pronosticados y eventos observados con un valor óptimo igual a 1. El Equitable Threat Score (ETS), que es la fracción de eventos de precipitación pronosticados correctamente considerando los aciertos aleatorios con un valor óptimo igual a 1. La probabilidad de detección (POD), que es la fracción de los eventos observados que se pronosticaron correctamente con un valor óptimo igual a 1. Las falsas alarmas (FAR), que es la fracción de los eventos pronosticados que no se observaron con un valor óptimo igual a 0. Estos estadísticos se definen con las siguientes fórmulas:

$$BIASS = \frac{A + F}{A + S} \quad (4)$$

$$ETS = \frac{A - \frac{(A + S)(A + F)}{N}}{A + S + F - \frac{(A + S)(A + F)}{N}} \quad (5)$$

$$POD = \frac{A}{A + S} \quad (6)$$

$$FAR = \frac{F}{A + F} \quad (7)$$

Además, se calcularon las PDFs volumétricas que son distribuciones de probabilidad que 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 ( $dBR = 10 \log(R/1 \text{ mmdía}^{-1})$ ;  $[R] = [\text{mmdía}^{-1}]$ ) dividido por la suma total de las tasas de precipitación. La ventaja de su uso radica en que son menos sensibles a las limitaciones en la detección de precipitación débil y recomendables para una comparación entre diferentes mediciones de precipitación (Amitai et al., 2011). En la leyenda, se incluye la relación entre la precipitación total pronosticada y observada sobre la región y en el periodo analizado. Además, se indica el equivalente en  $\text{mmdía}^{-1}$  de -10, 0, 10, 20 y 30 dBR, para relacionar mejor los porcentajes con el tipo de evento de precipitación.

En el caso de los pronósticos de temperatura también se generan los diagramas de dispersión para cada mes y se calcula el porcentaje de aciertos como la cantidad de casos en que la diferencia absoluta entre el pronóstico y la observación es menor o igual a  $2^\circ\text{C}$  ( $|P-O| \leq 2^\circ\text{C}$ ) con respecto al total.

## 4. Resultados

Para analizar la calidad de los pronósticos numéricos del GFS0.25° y WRF4km se generan las diferentes figuras de comparación con los datos de superficie y la estimación de precipitación por satélite descripta previamente.

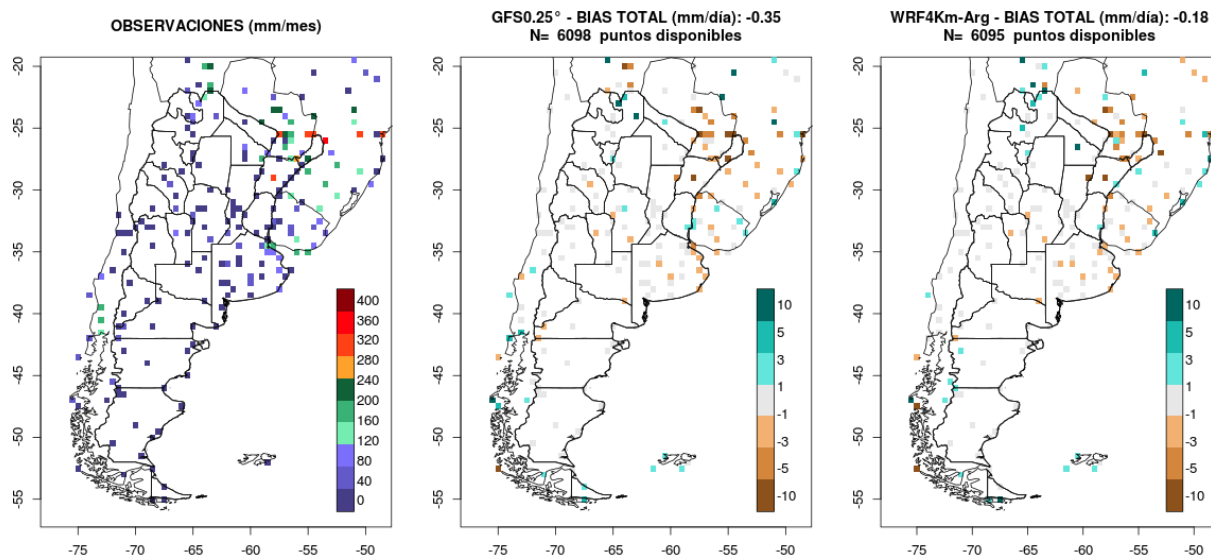
De este modo, para mostrar los resultados obtenidos desde julio de 2017 (mes en que se inició la nueva configuración de validación y que se disponen todos los datos) hasta marzo de 2018, se seleccionaron algunas figuras como ejemplo de la información disponible en las solapas detalladas en la Metodología.

En la Figura 1, se observan los mapas del BIAS de los modelos para el mes de marzo de 2018. El análisis del resto de los meses concuerda principalmente en una leve diferencia entre los modelos y una reducción del BIAS en el caso del modelo WRF. Esto se observa en esta figura en el análisis puntual y en los valores totales del BIAS en la parte superior de los gráficos.

Las series de estadísticos categóricos (Figura 2), contribuyen a evaluar la calidad de los pronósticos para cada mes del año. Por un lado, se muestra para el umbral de 1 mm como el WRF se aproxima mejor al valor óptimo del BIAS SCORE, mientras que el GFS tiende a sobrestimar los eventos de precipitación. Si bien no se observan grandes diferencias en el ETS, el WRF no resulta favorecido en la probabilidad de detección, aunque sí mejora levemente las falsas alarmas con respecto al GFS. Asimismo, los resultados de estos estadísticos mejoran para el WRF en casi todos los meses al aumentar el umbral y tratarse de eventos de precipitación más intensa.

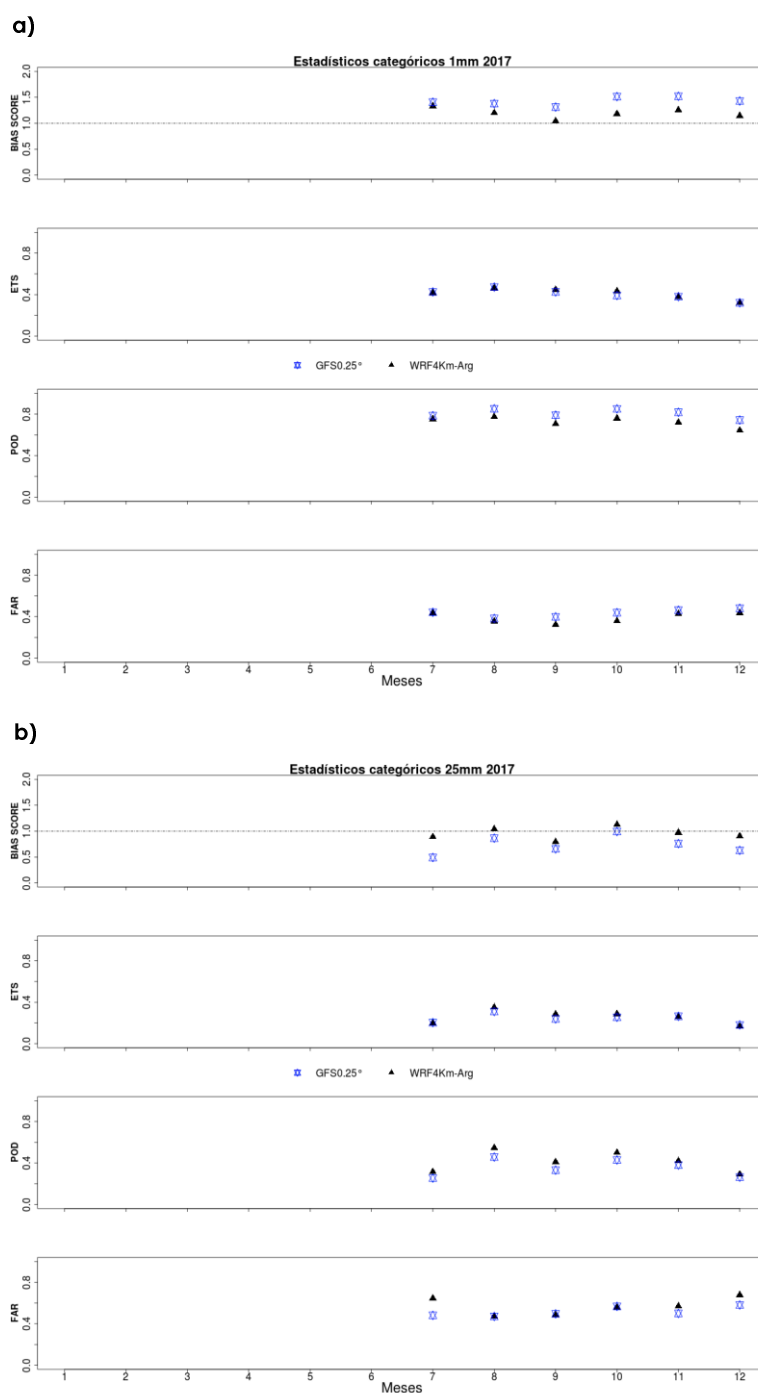
En el caso de las PDFs volumétricas, la Figura 3 muestra como ejemplo el resultado de estos gráficos para el trimestre diciembre 2017, enero y febrero 2018. La curva de cada modelo indica el porcentaje de la precipitación total que es explicado por cada intervalo de lluvia (volumen relativo de precipitación), y del mismo modo en forma de barras en el caso de la precipitación observada. En este caso, ambos modelos subestiman la precipitación si se observa la relación total menor a uno en la leyenda del gráfico, pero la distribución de precipitación del WRF se corresponde mejor con la distribución de precipitación observada. Mientras que la distribución del GFS, está corrida hacia eventos más débiles comparando con el máximo de la distribución observada.

## Validación mensual de precipitación diaria (ciclo 06Z) - 201803

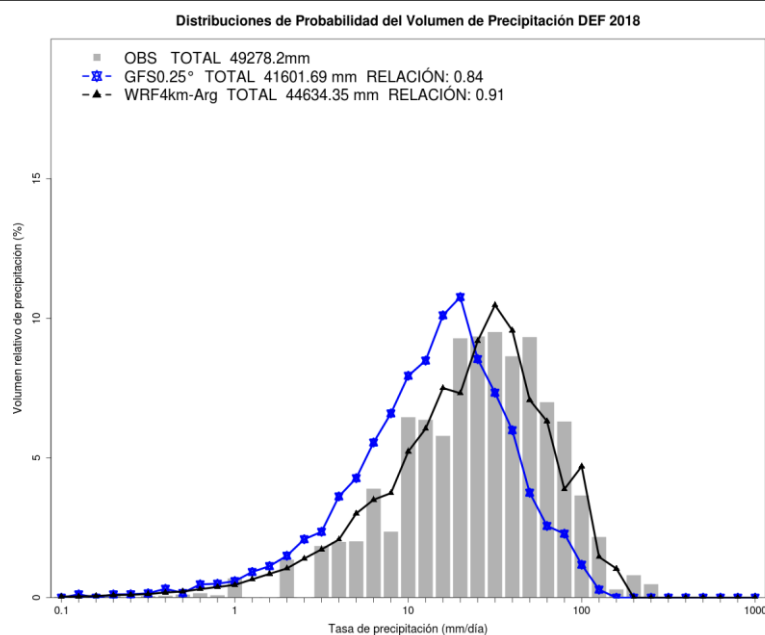


**Fig.1.** BIAS de la precipitación diaria correspondiente al mes de marzo de 2018 para los pronósticos del GFS0.25° (panel central) y WRF4km (panel derecho). En el título se muestra el resultado del BIAS total de la región y la cantidad de puntos disponibles para la validación. En el panel de la izquierda se muestra la precipitación observada mensual.



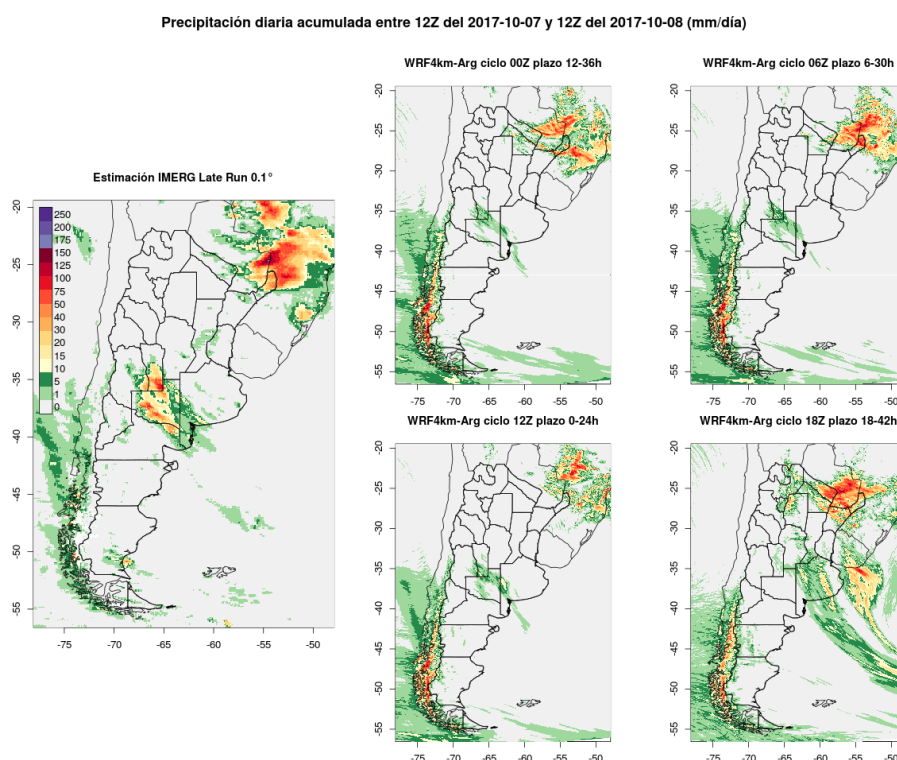


**Fig.2.** Series mensuales para el año 2017 de los estadísticos categóricos BIAS SCORE, ETS, POD y FAR para los umbrales de precipitación de 1mm (a) y 25mm (b).



**Fig.3.** Distribución de probabilidad del volumen de precipitación para el trimestre DEF 2017-2018. En la leyenda se muestra la precipitación total observada en toda la región y pronosticada por cada modelo, y la relación entre la precipitación total pronosticada y observada.

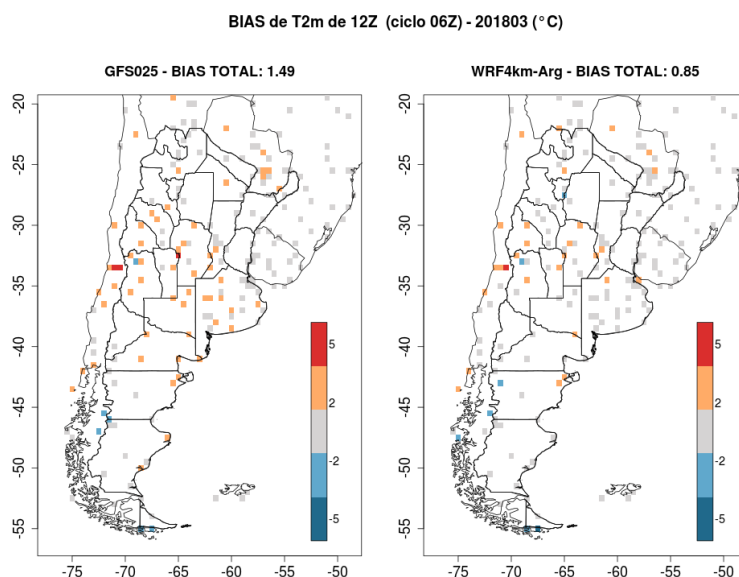
En el caso de la comparación de los distintos ciclos del modelo WRF, en la Figura 4 se presentan los mapas de precipitación diaria (entre las 12 UTC del 7 de octubre y las 12 UTC del 8 de octubre de 2017) realizados con los 4 ciclos del modelo y el mapa de precipitación diaria a partir de la estimación por satélite IMERG. En esta figura se observa una subestimación de la precipitación por parte del modelo en el centro de Argentina en todos los ciclos y una mejor representación de la precipitación en el noreste de Argentina y sudeste de Brasil. Si bien también subestima en esta última zona, todos los ciclos se aproximan mejor a la precipitación estimada. Por otra parte, al sur de la cordillera de los Andes se observa una sobrestimación del modelo en todos los ciclos. En la comparación, los ciclos de las 00, 06 y 12 UTC se aproximan más al mapa de precipitación estimada por satélite, siendo el de las 06 UTC el ciclo que representa mejor la situación. El ciclo de las 18 UTC presenta las mayores diferencias con la estimación de precipitación en cuanto a la intensidad y ubicación de los patrones de precipitación. Este es un resultado esperable si se asocia con que dicho pronóstico se genera varias horas antes al periodo analizado con respecto al resto de los ciclos del modelo.



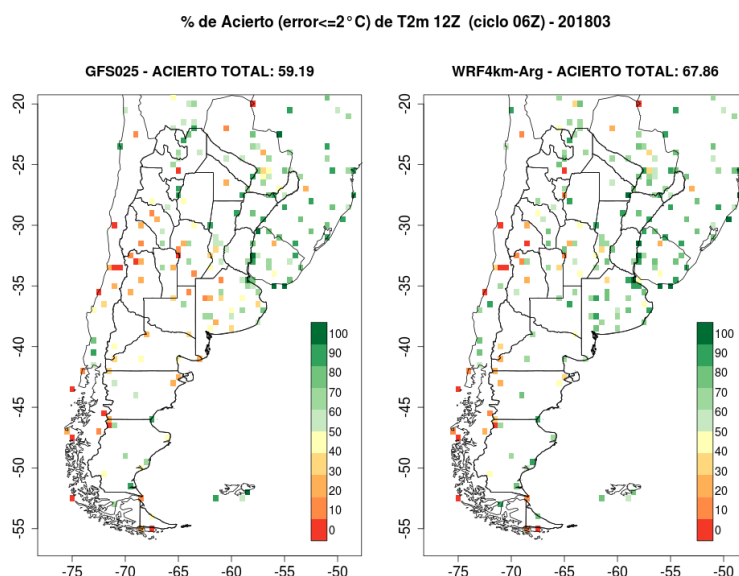
**Fig.4.** Comparación de la precipitación diaria de los distintos ciclos del modelo WRF4km de las 00 y 06 UTC (panel superior) y las 12 y 18 UTC (panel inferior) con la estimación de precipitación por satélite IMERG (panel izquierdo) para la precipitación acumulada entre las 12UTC del 7 de octubre de 2017 y las 12 UTC del 8 de octubre de 2017.

Para la validación de los pronósticos de temperatura con respecto a las observaciones de superficie, se generan mapas del BIAS para la comparación de la temperatura de las 12 UTC pronosticada con el ciclo de las 06 UTC durante el mes de marzo de 2018 (Figura 5). Si bien se muestran algunos resultados para las 12 UTC, las mismas figuras también se encuentran disponibles para las 18 UTC. En la Figura 5, se observa mayor cantidad de puntos con valores cercanos a cero en el BIAS para el modelo WRF. Este resultado queda resumido en el BIAS total, considerando toda la región y el mes completo de datos, que fue de 0.85 para el WRF, el cual resultó menor que el obtenido para el GFS.

Del mismo modo, en la Figura 6 se dispone el porcentaje de acierto para las 12 UTC y el mes de marzo de 2018. Nuevamente los valores puntuales son favorables en mayor medida en el caso del WRF y el ACIERTO total supera al obtenido para el modelo GFS.

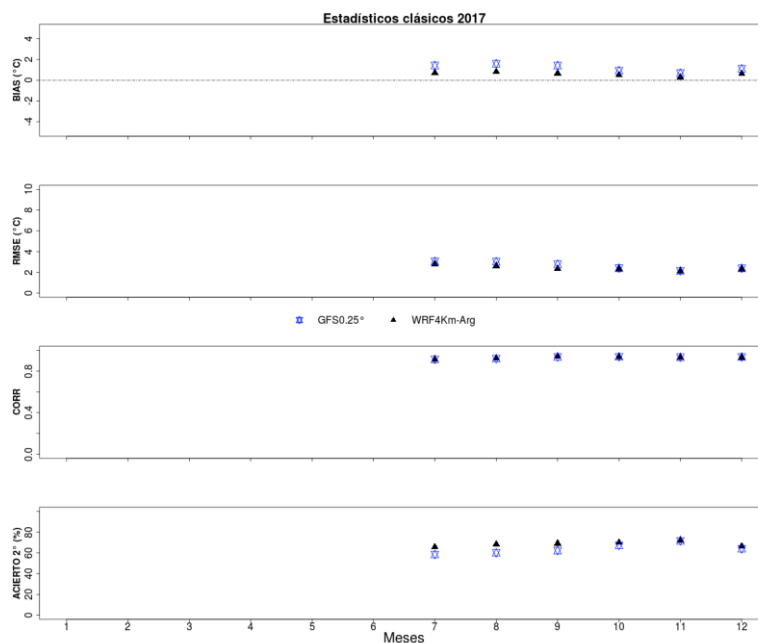


**Fig.5.** BIAS de la temperatura a 2 metros correspondiente a las 12 UTC del mes de marzo de 2018 para los pronósticos del GFS0.25° (panel izquierdo) y WRF4km (panel derecho). En el título se muestra el resultado del BIAS total para toda la región.



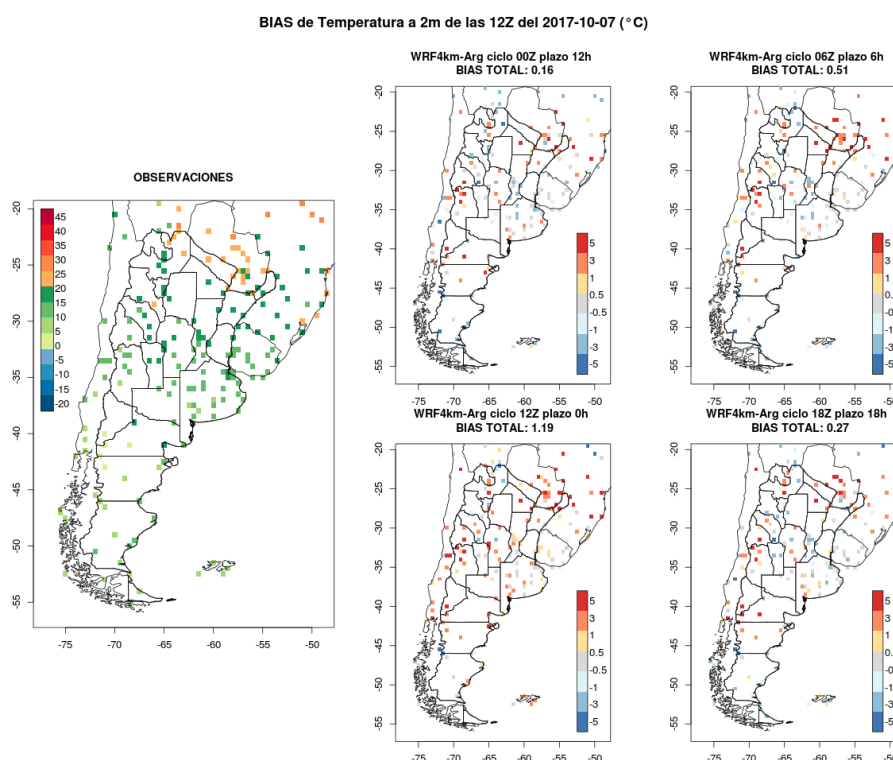
**Fig.6.** % de ACIERTO de la temperatura a 2 metros correspondiente a las 12 UTC del mes de marzo de 2018 para los pronósticos del GFS0.25° (panel izquierdo) y WRF4km (panel derecho). En el título se muestra el resultado del % de ACIERTO total para toda la región.

La Figura 7 dispone las series de estadísticos analizados para los pronósticos de temperatura de las 12 UTC de los modelos a partir de julio de 2017. Se observa una mayor sobrestimación por parte del GFS y en los meses más fríos principalmente mientras que el WRF presenta mejores resultados en todos los meses y en todos los estadísticos con excepción del CORR que no muestra diferencias entre los modelos.



**Fig.7.** Series mensuales para el año 2017 de los estadísticos BIAS, RMSE, CORR y % de ACIERTO correspondientes a la validación de los pronósticos de temperatura a 2 metros de las 12 UTC.

Por último, en la Figura 8 se muestra la comparación de los distintos ciclos del WRF con las observaciones de temperatura de las 12 UTC para el 7 de octubre de 2017. En este caso, el BIAS total de toda la región es mínimo en el ciclo de las 00 UTC, mientras que para el ciclo de las 12 UTC correspondiente a la hora de observación, se reducen muchos de los puntos con BIAS negativo, y se sobrestima mayormente los valores de temperatura observada.



**Fig.8.** Comparación de la temperatura a 2 metros de las 12 UTC de los distintos ciclos del modelo WRF4km de las 00 y 06 UTC (panel superior) y las 12 y 18 UTC (panel inferior) con las observaciones de superficie (panel izquierdo) correspondiente al 7 de octubre de 2017.

## 5. Conclusiones

La actualización en 2017 del esquema de pronóstico operativo con la incorporación de 4 ciclos de pronóstico del modelo WRF junto con la ampliación del dominio a todo Argentina, motivaron la adaptación del esquema de validación. Se editaron los programas computacionales de lectura de datos y se modificaron las figuras al nuevo esquema que se encuentra disponible en la sección verificación de la Intramet del SMN. El objetivo del esquema es monitorear la calidad de los pronósticos de temperatura a 2 metros de 12 y 18 Z y de precipitación acumulada en 24 horas de los modelos WRF4km y GFS0.25° utilizando observaciones de superficie y estimaciones satelitales de precipitación para el cálculo de diversos estadísticos que resumen el desempeño de ambos modelos.

Respecto de la precipitación, los resultados de los pronósticos verificados con las observaciones de superficie muestran que el bias score del WRF4km fue cercano a cero para los meses de julio a diciembre de 2017 reflejando un mejor desempeño que el GFS0.25°. Los valores de ETS mostraron similitudes entre ambos modelos mientras que los valores de POD mostraron que el WRF4km tuvo mayor cantidad de aciertos para los umbrales más altos acompañados de una menor cantidad de falsas alarmas que el GFS0.25°. A su vez, se observó una mayor correspondencia en los pronósticos de precipitación del WRF4km con la distribución observada en el trimestre DEF analizado.

En el caso de la temperatura, los resultados muestran mejores resultados para el WRF4km en el mismo periodo de análisis que para la precipitación, y más notorios en los valores del bias y el porcentaje de acierto.

A futuro, se espera realizar un análisis de los resultados en un periodo más extenso e incorporar otras metodologías de validación adecuadas para aprovechar las ventajas de alta resolución del

modelo WRF. Asimismo, se busca incorporar avances en las técnicas de validación en línea con las necesidades del SMN y los distintos usuarios de los modelos.

## 6. Referencias

Amitai, E., Petersen, W., Lloret, X., and Vasiloff, S., 2011. Multi-Platform Comparisons of Rain Intensity for Extreme Precipitation Events. *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, 50, págs. 675–686.

Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., 2015. Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation. NASA/GSFC Code 612, 47. [http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_doc.pdf](http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_doc.pdf) (acceso 03.05.18).

Skamarock W.C.;Klemp,J. B.; Dudhia, J. y otros,2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-4751STRence. *Journal of Atmospheric Sciences*, Boston.41:2052-2062.

Suaya, M., 2004. Primera evaluación objetiva de los pronósticos operativos de los modelos ETA-SMN y GFS-NCEP durante el año 2003. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.