



Servicio
Meteorológico
Nacional

Implementación modelo de pronóstico numérico WRF

Nota Técnica SMN 2017-45

Yanina García Skabar^{1,2,3}, Cynthia Matsudo¹, Maximiliano Sacco¹, Juan José Ruiz^{3,4,5}, Silvina Righetti¹

¹ *Departamento de Investigación y Desarrollo, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación*

² *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Buenos Aires, Argentina.*

³ *UMI-Instituto Franco Argentino sobre Estudios del Clima y sus Impactos. Buenos Aires, Argentina.*

⁴ *Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA. Buenos Aires, Argentina.*

⁵ *Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA. Buenos Aires, Argentina.*

Enero 2018

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.

Informe WRF-AR

Proyecto AlertAr

Grupo III/2017-12

Integrantes:

- Yanina García Skabar – Servicio Meteorológico Nacional/CONICET
- Cynthia Matsudo – Servicio Meteorológico Nacional
- Maximiliano Sacco – Servicio Meteorológico Nacional
- Juan José Ruiz – Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera
- Silvina Righetti - Servicio Meteorológico Nacional

Diciembre 2017

Contenido

Resumen	3
Abstract	3
Detalle del Informe	4
1. Introducción	4
2. Metodología	4
3. Conclusiones	10
4. Referencias	10

Resumen	Abstract
<p>Una de las herramientas que se utilizan para pronosticar eventos meteorológicos de alto impacto asociados a tormentas son los pronósticos numéricos y en particular aquellos que cuentan con una resolución que permite resolver adecuadamente los procesos atmosféricos en la mesoescala. Dichos procesos están frecuentemente asociados con la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de alto impacto como precipitación intensa, vientos fuertes, etc. Una mejor representación de los procesos atmosféricos en mesoescala, ayuda a identificar de manera más precisa las situaciones sinópticas que pueden devenir en la ocurrencia de dichos fenómenos. En ese sentido se desarrolló un sistema de pronóstico operativo con el modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting Model (WRF) aumentando la resolución espacial y temporal de los pronósticos numéricos respecto a las disponibles hasta el momento en la región.</p> <p>El objetivo del presente informe es documentar las características del pronóstico numérico generado con el modelo WRF-ARW en alta resolución que se encuentra implementado en una fase semi- operativa desde enero de 2017 y actualmente está en su fase final de pase a operaciones.</p>	<p>Numerical forecasts represent a very useful tool to forecast high-impact weather events associated with storms and in particular those that have a resolution that allows to properly solve atmospheric processes in the mesoscale. These processes are frequently associated with the occurrence of high impact weather phenomena such as intense precipitation, strong winds, etc. A better representation of mesoscale atmospheric processes helps to identify in a more precise way the synoptic situations that can trigger the occurrence of these phenomena. In this sense, an operational forecast system was developed with the mesoscale model Weather Research and Forecasting Model (WRF), increasing the spatial and temporal resolution of the numerical forecasts with respect to those available so far in the region. The objective of this report is to document the characteristics of the numerical forecast system generated with the WRF-ARW model in high resolution that is implemented in a semi-operational phase since January 2017 and is currently in its final phase to be operational.</p>

Detalle del Informe

1. Introducción

Una de las herramientas que se utilizan para pronosticar eventos meteorológicos de alto impacto asociados a tormentas son los pronósticos numéricos. La capacidad de estos modelos de detectar la posible ocurrencia de fenómenos meteorológicos de alto impacto está vinculada en parte con la resolución espacial con la que estos modelos trabajan. Una mayor resolución espacial, permite representar con mayor realismo la dinámica de la atmósfera en escalas pequeñas (mesoescala). Dado que muchos fenómenos de alto impacto y en particular aquellos asociados a la convección húmeda profunda están estrechamente relacionados con los procesos de mesoescala, una representación más precisa de estos procesos permite anticipar con mayor precisión cuando se pueden producir este tipo de fenómenos. Por este motivo, es de esperar que el aumento de la resolución espacial de los modelos numéricos permita generar un conjunto de herramientas que ayuden a los pronosticadores a identificar condiciones favorables para la posible ocurrencia de fenómenos de alto impacto.

En noviembre y diciembre de 2012 se realizó la campaña de medición Chuva Santa María, Brasil (<http://chuvaproject.cptec.inpe.br>). Este proyecto además de una componente de observación, constaba con una componente de modelado numérico. En este contexto diferentes instituciones de Sudamérica realizaron pronósticos en alta resolución donde la convección era resuelta de manera explícita. En particular en el SMN se generaron dos ciclos de pronóstico a 48 horas (inicializados a las 00 y 12 UTC) con el modelo WRF-ARW v 3.4, con una resolución horizontal de 4 km, en un dominio que abarcaba el centro y noreste de Argentina. Matsudo et al. (2015) documentan el desempeño de dichos pronósticos durante el experimento. Dados los resultados satisfactorios y la utilidad de dichos pronósticos, la implementación experimental realizada en el marco de la campaña de medición se mantuvo hasta diciembre de 2016.

El objetivo del presente informe es documentar las características del sistema de pronóstico numérico generado con el modelo WRF-ARW en alta resolución que se encuentra en una fase semi-operativa desde enero de 2017 y actualmente está en su fase final de pase a operaciones.

2. Metodología

En base a la experiencia previa en el desarrollo del modelado numérico de la atmósfera en Argentina (Saulo et al. 2008; Ruiz et al. 2012; Dillon et al. 2013), y debido al interés y al continuo desarrollo que recibe por parte de diversas instituciones a nivel mundial, se decidió utilizar el modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting Model (WRF) en su versión con núcleo dinámico Advanced Research WRF (ARW) version 3.8 (Skamarock et al. 2008).

En la implementación operativa, se generan cuatro ciclos diarios de pronósticos, inicializados a las 00, 06, 12 y 18 UTC, todos por un plazo de 48 horas, produciendo pronósticos en forma horaria. Los mismos se inician a partir de los pronósticos del NCEP, Global Forecast System (GFS) con una resolución horizontal de 0.25 grados. Se incorporan condiciones de borde en forma horaria. En la figura 1 se muestra el dominio que abarca el pronóstico.

Validez: Sab 20 de MAY de 2017 - 3 HOA
Lluvia acumulada en las 24 hs previas (mm,somb)

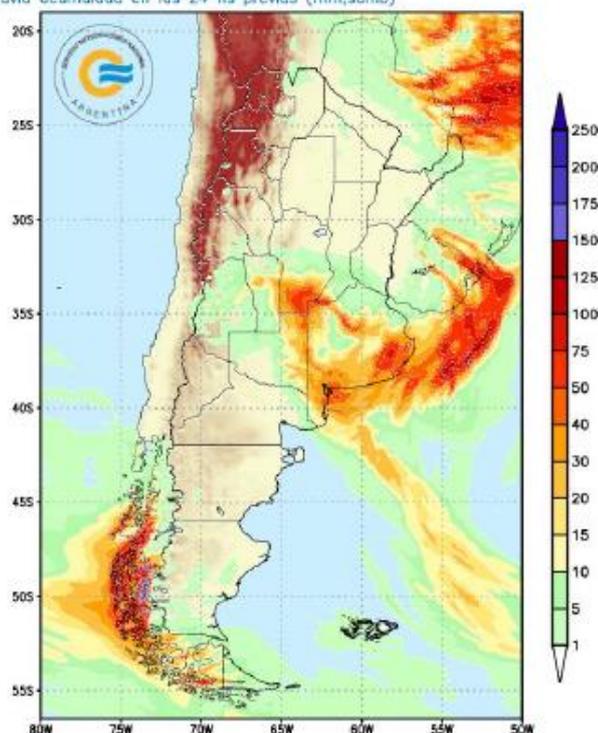


Figura 1. Dominio del pronóstico

El pronóstico tiene una resolución horizontal aproximada de 4km y vertical de 38 niveles con el tope en 50 hPa. El paso de tiempo se ajusta a lo largo del pronóstico. La convección no está parametrizada sino que se resuelve de manera explícita. Las principales parametrizaciones empleadas son:

- WSM6 (WRF single-moment 6-class microphysics scheme) para la microfísica de nubes (Hong and Lim;2006)
- el esquema de Mellor, Yamada y Janjic (MYJ) (Janjic, 1994) para la capa límite planetaria
- RRTM para la radiación de onda larga (Mlawer et al., 1997) y el esquema de Dudhia para onda corta (Dudhia, 1989)
- Se utiliza el modelo de suelo NOAH con cuatro capas que alcanzan los 2 m de profundidad (Tewari et al., 2004).

En la tabla 1 se describen los horarios en que se inicializan los pronósticos y, en promedio, el horario en que terminan las corridas y se generan los productos el cual varía dependiendo de la situación meteorológica. Los pronósticos se procesan en forma paralela en un cluster formado por un servidor de control, 10 nodos de cálculo y un servidor de almacenamiento. Cada nodo de cálculo cuenta con dos procesadores de 12 núcleos (Intel Xeon E5-2680v3). El cluster está comunicado mediante una red infiniband. Se realizaron múltiples tareas de optimización con el fin de minimizar el tiempo de cómputo entre las que se pueden destacar:

Optimización de Ejecutables, utilizando compiladores y parametrizaciones que generan código más eficiente e incorporen los módulos RDMA de infiniband.

Optimización de memoria y CPU, particionando el dominio del problema para lograr maximizar el uso de la memoria CACHE de los CPUs y en consecuencia disminuir drásticamente el tiempo de procesamiento.

Optimización de Entrada/Salida(E/S), Incorporando al sistema librerías de procesamiento paralelo de E/S y módulos de procesamiento exclusivo para E/S al modelo.

Ciclo	Se inicializa	Finaliza
00UTC	00:40 HOA	03:40
06 UTC	06:40 HOA	09:40
12UTC	12:40 HOA	15:40
18UTC	18:40 HOA	21:40

Tabla 1

En cada pronóstico se generan un conjunto de figuras que están disponibles en intramet (<http://www.smn.gob.ar/intra/index.php?mod=dpd&id=114>). Por un lado, se generan mapas con frecuencia horaria con diferentes combinaciones de variables meteorológicas, como parte de estos productos se incluyen en particular un conjunto de índices especialmente diseñados para el pronóstico de eventos de alto impacto asociados a convección húmeda profunda: el Supercell Parameter (SCP, especialmente diseñado para detectar condiciones favorables para ocurrencia de tormentas supercelulares), el Significant Tornado Parameter (STP, especialmente diseñado para detectar condiciones favorables para tornados intensos asociados a tormentas supercelulares), el Significant Hail Parameter (SHIP, especialmente diseñado para detectar condiciones favorables para la ocurrencia de granizo de gran tamaño) entre otros. También se generan figuras mostrando variables que son particularmente útiles para el pronóstico de la convección húmeda profunda y sus posibles fenómenos asociados, como campos de reflectividad, temperatura de tope de nubes, intensidad de viento cerca de superficie, entre otros. Asimismo se presentan campos integrados en forma diaria como precipitación acumulada en 24 horas, temperatura máxima y mínima. Todos estos mapas se generan para todo el país y divididos en tres regiones: norte, centro y sur. También se producen meteogramas que incluyen presión, viento, temperatura, temperatura de rocío, nubosidad y precipitación para 101 localidades. Asimismo se generan perfiles verticales horarios de temperatura, temperatura de rocío y viento para 30 localidades.

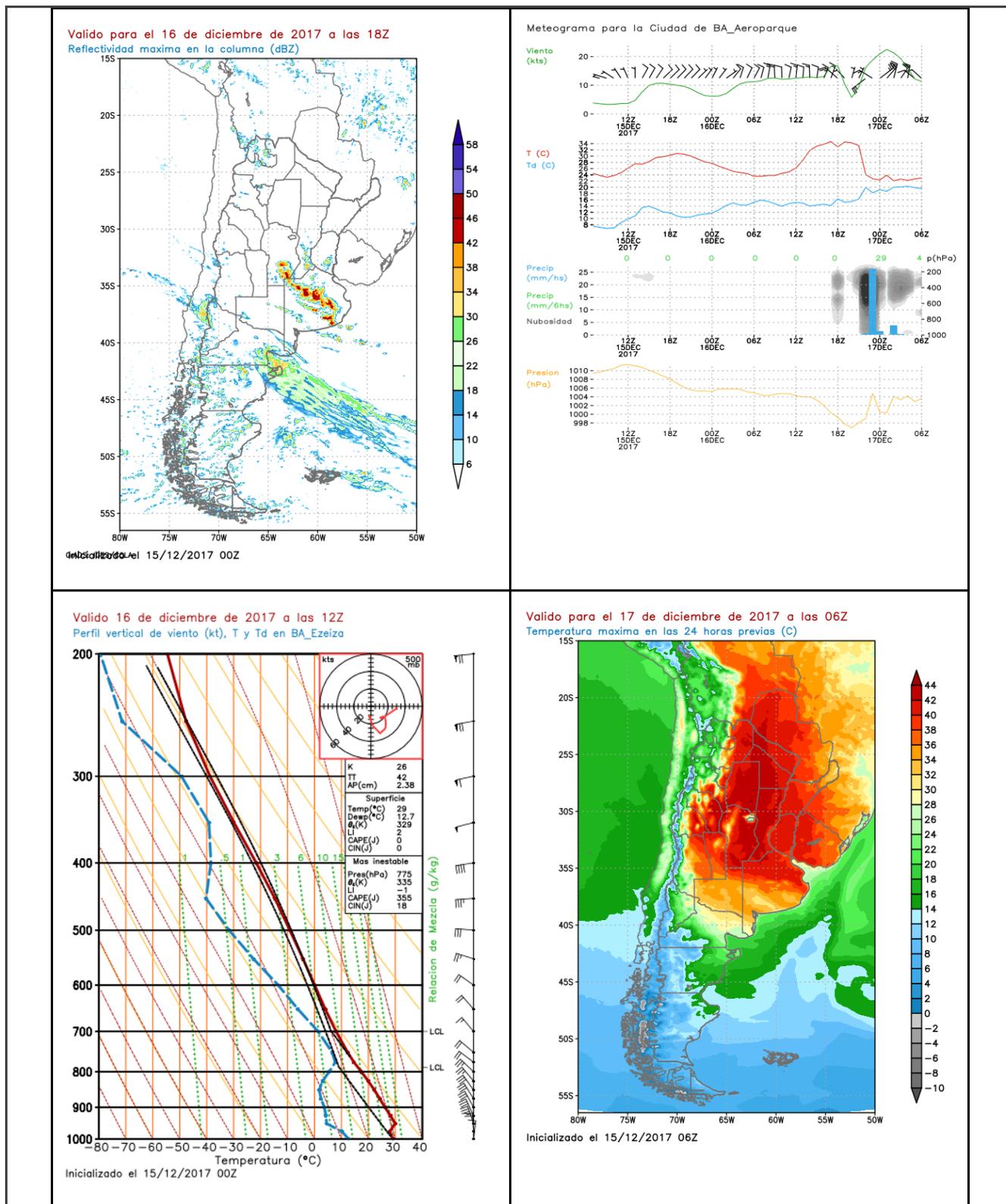


Figura 2. Ejemplos de las cartas producidas a partir de los pronósticos del modelo WRF

Para fomentar el uso de la herramienta e incrementar el impacto positivo que los productos antes descritos tienen sobre la calidad de los pronósticos de eventos de alto impacto, se llevaron adelante tareas de capacitación interna-externas en donde se discutieron los alcances de estos nuevos productos, la forma correcta de su interpretación y uso en el proceso de elaboración de

pronósticos y las limitaciones de los mismos. Estas tareas de capacitación se llevaron adelante principalmente en el contexto de los Talleres interinstitucionales para la Optimización de los Pronósticos de Eventos Meteorológicos de Alto Impacto en Argentina (TPEMAI). Es importante destacar, que de estos talleres surgió además la demanda por parte de los pronosticadores de contar en forma operativa con estos productos para todo el país más índices y variables para el pronóstico aeronáutico y la necesidad de continuar con el desarrollo de productos y visualizaciones con especial énfasis en aplicaciones específicas como por ejemplo el pronóstico aeronáutico.

Respecto a la validación de los pronósticos, actualmente se está desarrollando un sistema de validación, comparando los resultados con distintas fuentes de observación para todo el país. Una vez que se cuente con un período de al menos un año se realizará una evaluación detallada de los resultados. A partir de evaluaciones preliminares en periodos cortos y en regiones específicas se pudo determinar la mejora en diferentes estadísticos respecto a otros modelos disponibles. En las figuras 3, 4 y 5 se presentan tres ejemplos, considerando la región noreste y centro del país. Se puede ver en las figuras 3 y 4 que el WRF presenta un mayor porcentaje de acierto en el pronóstico de temperatura a 2 m tanto para las 12 UTC como para las 18 UTC, para el mes de noviembre 2017, alcanzando un valor de porcentaje total en la región de 76,8 y 67,6% respectivamente.

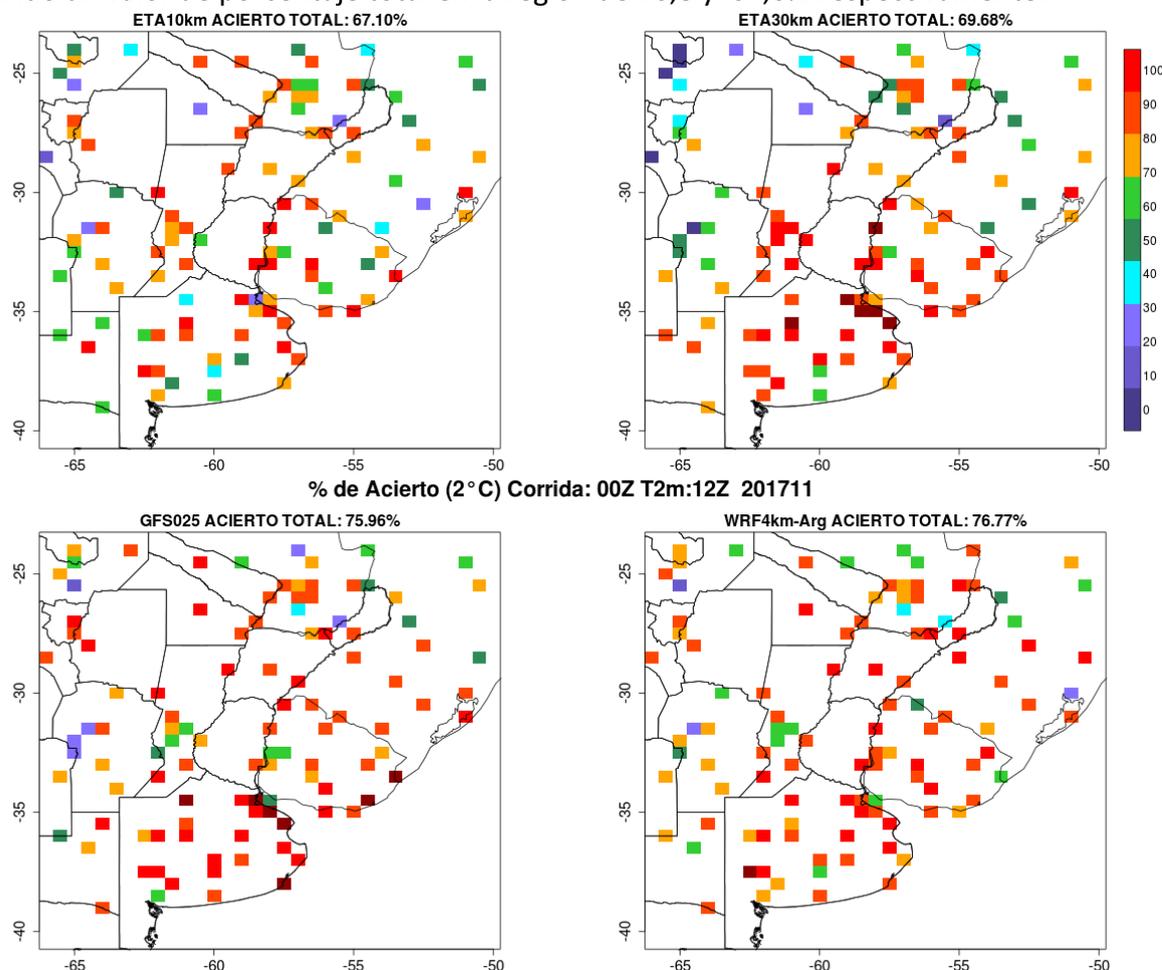


Figura 3: Porcentaje de acierto (error menor a 2°C) para la temperatura a 2m pronosticada a las 12 UTC para diferentes modelos. Paneles superiores ETA 10km (izquierda), ETA 30km(derecha); paneles inferiores GFS 0.25° (izquierda) y WRF-Ar (derecha).

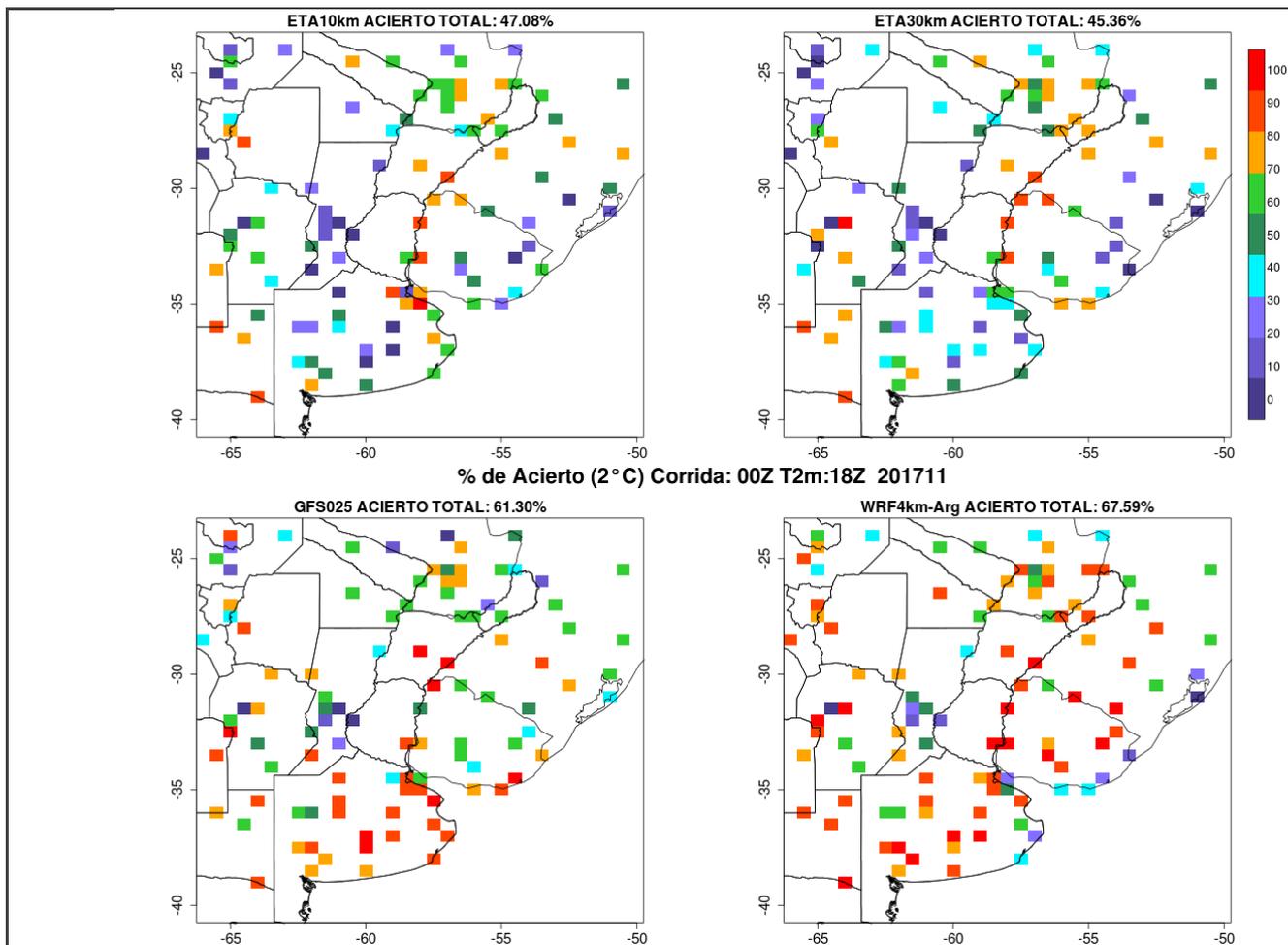


Figura 4: Idem figura 3 para temperatura a las 18 UTC.

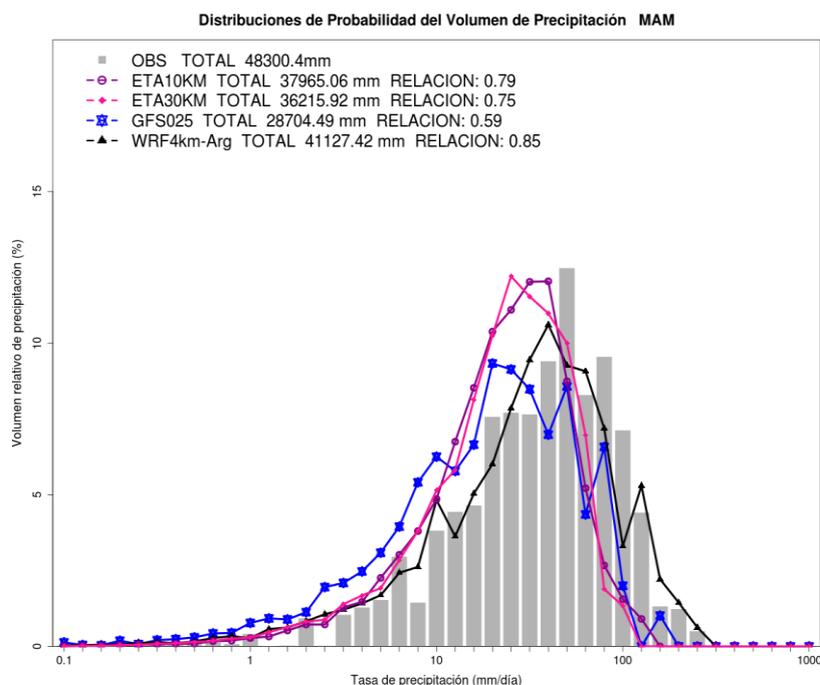


Figura 4: Distribución de probabilidad del volumen de Precipitación observada y pronosticada considerando la precipitación acumulada de 24hs en las estaciones meteorológicas convencionales indicadas en la figura 3, para los meses marzo-abril-mayo.

Las distribuciones de probabilidad volumétricas subdividen la tasa de precipitación en intervalos, y consideran la contribución relativa de los mismos al volumen total de precipitación. Se puede observar en la figura 4 que la curva de distribución del modelo WRF es la que mejor se aproxima a la distribución observada, presentando además el valor más próximo a 1 en la relación entre la precipitación total pronosticada y observada.

3. Conclusiones

La implementación semi-operativa del modelo WRF desde enero de 2017 resulta un avance en el modelado numérico que realiza el Servicio Meteorológico Nacional. Resultó evidente en el pronóstico de eventos meteorológicos de alto impacto asociados a tormentas su utilidad como herramienta de pronóstico.

Se plantea la necesidad de desarrollar herramientas de visualización que permitan a los usuarios ver en mayor detalle las variables y regiones de interés de forma de poder aprovechar al máximo los pronósticos, desarrollando también productos específicos para los distintos usuarios. Asimismo se plantea la necesidad de avanzar en el desarrollo de diferentes estrategias de validación del sistema de pronóstico y la realización de una calibración de los pronósticos, en especial de temperatura y precipitación.

Si bien la implementación del pronóstico numérico con el modelo WRF representa un avance, se destaca la importancia de avanzar hacia la implementación de un pronóstico por ensambles que permita cuantificar la incertidumbre de los mismos y que incluya también un sistema de asimilación de datos.

4. Referencias

- Dillon M. E., Y. García Skabar y M. Nicolini, 2013: Desempeño del pronóstico de modelos de alta resolución, en un área limitada: análisis de la estación de verano 2010-2011. *Meteorológica*, 38, no.2, 69-89, ISSN 1850-468X
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077–3107.
- Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, **42**, 129–151.
- Janjic, Zavisla I., 1994: The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 927–945.
- Matsudo C., García Skabar Y., J. J. Ruiz, L. Vidal, P. Salio, 2015: “Verification of WRF-ARW convective-resolving forecasts over Southeastern South America”. *Mausam Special Issue on Forecast Verification*, 66, 3 (July 2015), 445-456.
- Mlawer, Eli. J., Steven. J. Taubman, Patrick. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough (1997), Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102**, 16663–16682.
- Ruiz J.J., C. Saulo y E. Kalnay, 2012: How sensitive are probabilistic precipitation forecasts to the choice of calibration algorithms and the ensemble generation method? Part II: sensitivity to ensemble generation method. *Met. Apps*, **19**: 314–324. doi: 10.1002/met.262.

- Saulo A.C., S. Cardazzo, J.J. Ruiz, C. Campetella y A. Rolla, 2008: El sistema de pronóstico experimental del Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. *Meteorologica*, 33(1-2), 83-97. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2008000100003&lng=es&tlng=es
- Skamarock W.C.;Klemp,J. B.; Dudhia, J. y otros,2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCARTech. Note NCAR/TN-4751STRence. *Journal of Atmospheric Sciences*, Boston.41:2052-2062.
- Tewari, M., F. Chen, W. Wang, J. Dudhia, M. A. LeMone, K. Mitchell, M. Ek, G. Gayno, J. Wegiel, and R. H. Cuenca, 2004: Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, pp. 11–15.

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 Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, 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).