

Desempeño del pronóstico de precipitación de modelos de alta resolución, en un área limitada: análisis de la estación de verano: 2010-2011.

M. Eugenia Dillon¹, Yanina García Skabar^{1, 2,3,4} y Matilde Nicolini^{4,5,6}

¹Servicio Meteorológico Nacional. CABA, Argentina

²Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía. UBA. CABA, Argentina

³CONICET. CABA, Argentina

⁴UMI-Instituto Franco Argentino sobre Estudios del Clima y sus Impactos. CABA, Argentina

⁵Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera CONICET – UBA. CABA, Argentina

⁶Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN. UBA. CABA, Argentina

E-mail: mariaeugeniadillon@yahoo.com.ar

RESUMEN: Los modelos numéricos constituyen hoy en día una herramienta indispensable para la comunidad meteorológica, tanto para fines operativos como de investigación. Dado el comportamiento de la atmósfera en condiciones de inestabilidad convectiva y la compleja dinámica de los sistemas convectivos, tanto en su inicio como en su evolución, interesa evaluar el desempeño de los modelos de mesoescala en alta resolución, con el fin de mejorar la predicción de los mismos.

En nuestra región, tanto el modelo BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System) como el WRF (Weather Research and Forecasting Model), han sido utilizados con el fin de producir pronósticos en tiempo real y también para realizar trabajos de investigación. En particular, a partir de Noviembre de 2010 se procesa en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), una versión del BRAMS de pronóstico diario a 18 horas de alta resolución sobre la Provincia de Buenos Aires.

Dado que el uso del modelo WRF se está incrementando año a año en la comunidad científica, lo que resulta en avances y mejoras eficientes en distintas versiones del mismo, es el objetivo de este trabajo hacer una comparación entre pronósticos generados por el WRF y los que se procesan diariamente en el SMN con el BRAMS, utilizando anidados de resolución mayor a la utilizada hasta el momento en nuestro país en tiempo real. Se evalúa el desempeño de ambos durante el período de un verano del Hemisferio Sur (diciembre 2010–enero – febrero 2011).

A partir del análisis de la precipitación de todo el período, se pudo concluir que mediante el uso de modelos de mayor resolución se pueden representar máximos de precipitación en casos de precipitación intensa, que no se logran detectar con el modelo de menor resolución. Aunque no sea preciso el pronóstico de la extensión y ubicación del área, los modelos de alta resolución dan un indicio de que un fenómeno de precipitación intensa puede ocurrir en la región de pronóstico, lo cual resulta de gran utilidad.

INTRODUCCIÓN

El sudeste de Sudamérica y en particular Argentina, juntamente con las planicies de Estados Unidos y las del río Ganges, se caracterizan por presentar la mayor frecuencia de los eventos convectivos más extremos en el planeta (*Zipser y otros, 2006*). En particular, el jet de capas bajas de Sudamérica (SALLJ) favorece el desarrollo de dichos sistemas en el sudeste de la región. *Salio y otros (2007)* detectaron una frecuencia de ocurrencia de Sistemas Convectivos de Mesoescala (MCS) de 41% durante días con SALLJ al sur de 23° S, mientras que en ausencia de este fenómeno la ocurrencia fue de sólo un 12%, en un análisis de 3 años.

A partir de una climatología de la distribución espacial de eventos de tiempo severo asociados con convección húmeda profunda, durante el período 2000 -2005 en el centro-norte de Argentina, se halló que la provincia de Buenos Aires es muy activa en situaciones de granizo, ráfagas de viento intensas y precipitación mayor a 30 mmh⁻¹ (*Matsudo y Salio, 2011*). Por otro lado, *Altinger (1999)* presenta un resumen de los fenómenos severos registrados entre 1928 y 1999 en la República Argentina, incluyendo en su categorización diferentes tipos de tormentas y tornados, entre otros. La autora muestra que la mayor ocurrencia de dichos fenómenos es durante los meses de primavera y verano, en las provincias de Buenos Aires y Córdoba.

Dadas las evidencias de la existencia de fenómenos convectivos en el Sudeste de Sudamérica, en particular en Buenos Aires, es de gran interés su pronóstico a corto plazo. Para ello se necesitan tanto observaciones de alta resolución temporal y espacial (in situ, satelitales, de distintos tipos de radares, entre otras) como salidas de modelos numéricos (de escala convectiva y también regionales). Al respecto, los Centros de Predicción de distintos países muestran una tendencia al uso de modelos numéricos de alta resolución como una herramienta indispensable para el pronóstico de fenómenos convectivos (*Steppeler y otros, 2003; Kain y otros, 2006; Narita y Ohmori, 2007; Lean y otros, 2008; Kain y otros, 2008; Weisman y otros, 2008*). Sin embargo, no hay un consenso respecto al tamaño de retícula más conveniente, ya que algunos autores priorizan el costo computacional, mientras que otros priorizan la información detallada que se obtiene con las resoluciones más elevadas.

En nuestra región, tanto el modelo BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System) como el WRF (Weather Research and Forecasting Model), han sido utilizados con el fin de producir pronósticos en tiempo real y también para realizar trabajos de investigación. En particular, a partir de Noviembre de 2010 se procesa en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) una versión del BRAMS de pronóstico diario a 18 horas, con una resolución horizontal de 8 km sobre la Provincia de Buenos Aires y de 2 km en un dominio más reducido centrado en Ezeiza aproximadamente (*García Skabar y otros, 2011*). Dicha versión es la de mayor resolución implementada en tiempo real en nuestro país.

Por otro lado, el uso del modelo WRF se está incrementando año a año en la comunidad científica, lo que resulta en avances y mejoras eficientes en distintas versiones del mismo. Luego, es el objetivo de este trabajo hacer una

comparación entre pronósticos generados por el WRF y los que se procesan diariamente en el SMN con el BRAMS, con el fin de evaluar la habilidad de ambos modelos en pronosticar eventos de precipitación.

Se presenta en la siguiente sección la temporada de estudio, los estadísticos utilizados y la información con la que se contrastaron los pronósticos. Luego se describen los resultados obtenidos, y por último se resumen las conclusiones del trabajo.

METODOLOGÍA

Dado el interés en focalizar el uso del sistema de pronóstico a los fines de predecir la actividad convectiva en la región, se eligió analizar el pronóstico en los meses de verano. Asimismo, se decidió evaluar el pronóstico en las horas nocturnas de dicha estación del año ya que varios autores han demostrado que es el período de mayor actividad convectiva en el dominio de estudio (*Velasco y Fritsch, 1987; Salio y Nicolini, 2005; Salio y Nicolini, 2006; Salio y otros, 2007*). En particular, se utiliza la temporada de verano comprendida por diciembre de 2010, enero y febrero de 2011.

Tanto el BRAMS como el WRF son inicializados a las 18 UTC (15 hora local) y se procesan pronósticos cada 10 minutos durante un período de 18 horas, es decir hasta las 12 UTC (9 hora local) del día siguiente. Como condiciones iniciales y de borde se utilizan las corridas del modelo regional ETA procesado operativamente en el SMN, que posee una resolución horizontal de 0.25° . Se usan los pronósticos del mismo inicializado a las 12 UTC, en el período de 18 UTC – 12 UTC cada tres horas. Dicho modelo regional, a su vez, se alimenta de los pronósticos del modelo global GFS (Global Forecasting System) de resolución horizontal de 1° , como condiciones inicial y de borde cada doce horas (*Suaya, 2004*).

En la *Figura 1* se muestran los dominios efectivamente utilizados en los estudios de verificación de los modelos de alta resolución. En el dominio que abarca la Provincia de Buenos Aires la retícula es de 8 km, mientras que el dominio más pequeño se caracteriza por una retícula de 2 km (BRAMS) o 2.66 km (WRF). Se eligió centrar éste algunos kilómetros al sudoeste de Ezeiza (34.49°S , 58.32°O) ya que, por un lado, en esa localidad se encuentra un radar meteorológico, lo que representa una fuente importante de información a la hora de contrastar el modelo. Y por otro lado, ese dominio comprende el área de mayor densidad poblacional, al contener la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, siendo así una zona crucial para la elaboración de un pronóstico. El anidado implementado entre ambos dominios es interactivo, y una de las características más relevante de ambos modelos es que se utiliza una resolución explícita de la convección en los dos dominios.

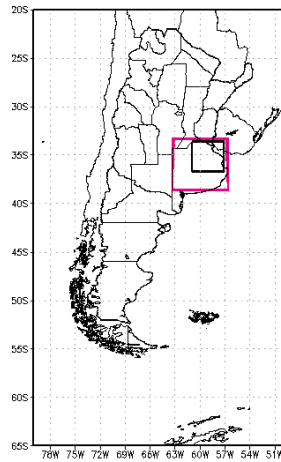


Figura 1.- Ubicación en la Argentina de los dominios efectivos utilizados para los estudios de verificación. Dominio 1 (contorno rosa) con resolución de 8 km; Dominio 2 (contorno negro) con resolución de 2 km (BRAMS) y 2.66 km (WRF).

Respecto a la precipitación, por un lado se buscaron los datos de las estaciones oficiales del SMN. Aunque la Provincia de Buenos Aires es la que posee la mayor densidad de las mismas, la mayoría no reporta datos durante las horas nocturnas, o su confiabilidad no es muy buena. Por esta razón se decidió investigar las estaciones con pluviógrafos disponibles, de modo de obtener registros horarios de la precipitación. Luego de un control de calidad, se seleccionaron las estaciones de Nueve de Julio, Tres Arroyos, Bolívar, Junín y Ezeiza. Para el mismo, se consideraron datos faltantes e ilegibilidad, ya sea por exceso o falta de tinta, de las fajas pluviográficas.

Por otro lado, con el objetivo de contar con una cobertura espacial completa en todo el dominio se utilizan las estimaciones de precipitación disponibles globalmente en base a microondas pasivas CPC MORPHing technique (CMORPH, *Joyce y otros, 2004*), que cuentan con una resolución espacial de 8 km y temporal de 30 minutos. Para realizar la verificación de los pronósticos de los modelos con dichas estimaciones se interpolan las retículas del BRAMS y del WRF tal que coincidan con la de la estimación, y así disponer de las tres bases en forma homogénea. También se realiza una extrapolación de la retícula del ETA a la del CMORPH, con el fin de poder incluir este modelo en algunas evaluaciones, siempre teniendo en cuenta que su resolución horizontal es tres veces menor.

Es importante señalar que si bien no se han hecho verificaciones en la región de las estimaciones CMORPH de 8 km, existen algunos trabajos que evalúan el desempeño de las estimaciones CMORPH de 0.25° de resolución. Tanto *Salio y otros (2010)* como *Ruiz (2009)*, encuentran que en la región de interés del presente estudio existe una sobrestimación de la precipitación. Luego, es importante tener en cuenta las limitaciones y falencias de dichas estimaciones.

Las horas analizadas en la verificación son desde las 00 hasta las 12 UTC, ya que abarca todo el período nocturno y permite tener un tiempo de ajuste (spin up) del modelo de 6 horas.

A partir de tablas de contingencia definidas con umbrales arbitrarios, de modo de considerar “precipitación mayor al umbral” / “precipitación menor al umbral”, se calculan los siguientes estadísticos (*Hamill 1999*, y *trabajos citados*) para los tres meses estudiados:

- Bias, o sesgo, mide la relación entre la frecuencia de los eventos pronosticados respecto de la frecuencia de los eventos observados. El valor esperado es 1.
- POD, o probabilidad de detección, describe qué cantidad de eventos fueron pronosticados correctamente. El valor esperado es 1.
- FAR, o cociente de falsa alarma, es un complemento del POD ya que mide qué fracción de los eventos pronosticados no ocurrieron realmente. El valor esperado es 0.
- ETS, o índice de acierto areal, responde a la pregunta ¿qué tan bien los eventos pronosticados se correspondieron con los eventos observados? El valor esperado es 1.

Los umbrales considerados son 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 75 mm acumulados en 12 horas, y se verifican los modelos de alta resolución contrastándolos con las estimaciones CMORPH.

Estas técnicas de verificación, ampliamente difundidas en la literatura meteorológica, son muy útiles en la evaluación de pronósticos de escala sinóptica o climática, mientras que en la mesoescala ofrecen información parcial respecto al valor real del pronóstico. Es decir, no es fácil para un pronóstico de alta resolución coincidir exactamente con los patrones observados en forma puntual, por lo que los estadísticos tradicionales presentarían valores lejanos a los esperados. Es por eso que existe una tendencia a utilizar técnicas de verificación difusa para representar la habilidad de los pronósticos de mesoescala (*Ebert, 2008*). Éstas consisten en evaluar si el pronóstico se acerca a las observaciones considerando algún aspecto de importancia, como el espacio, tiempo o intensidad, teniendo en cuenta un área o “vecindad” en vez de un punto. De esta forma, se valoriza el pronóstico y la utilidad de su información de otra manera, ya que se acepta cierto error dentro de una vecindad.

En este trabajo, utilizamos el estadístico FSS (Fraction Skill Score) definido por *Roberts y Lean (2007)*, que permite evaluar en qué escalas el pronóstico resulta de utilidad, usando el concepto de verificación difusa. Además de evaluar el desempeño de los modelos de alta resolución para los ocho umbrales utilizados en la verificación tradicional, también se analiza el desempeño del ETA. El valor esperado del FSS es 1.

RESULTADOS

Considerando las estimaciones CMORPH, en el 65% de los días precipitó en alguna zona del dominio de mayor extensión estudiado, durante las horas nocturnas (de 00 a 12 UTC). En las *Figuras 2 y 3* se muestra la cantidad de días que llovió más que cierto umbral en 12 horas en cada punto de retícula, según el CMORPH, y según los modelos WRF, BRAMS y ETA. Se puede observar que el contorno de 10 días en el umbral de 1 mm es mejor representado por el ETA, aunque no así los máximos de 16 o 18 días. Respecto a la zona donde llovió menos, este modelo la sitúa un grado de latitud más al sur que el CMORPH, pero su estructura espacial es similar. Por otro lado, a pesar de que el BRAMS y el WRF no describen satisfactoriamente la distribución areal de la cantidad de días con precipitación mayor a 1 mm, logran ubicar la zona con precipitación mayor a 25 mm en el centro y sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

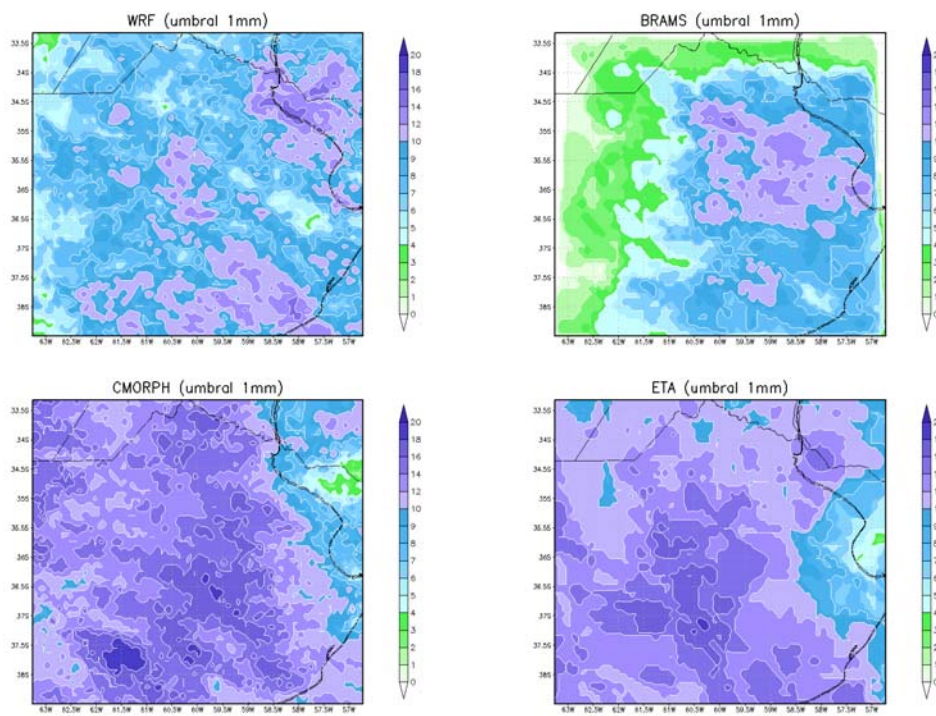


Figura 2.- Cantidad de días con precipitación mayor a 1 mm en 12 horas, según el WRF, BRAMS, CMORPH y ETA.

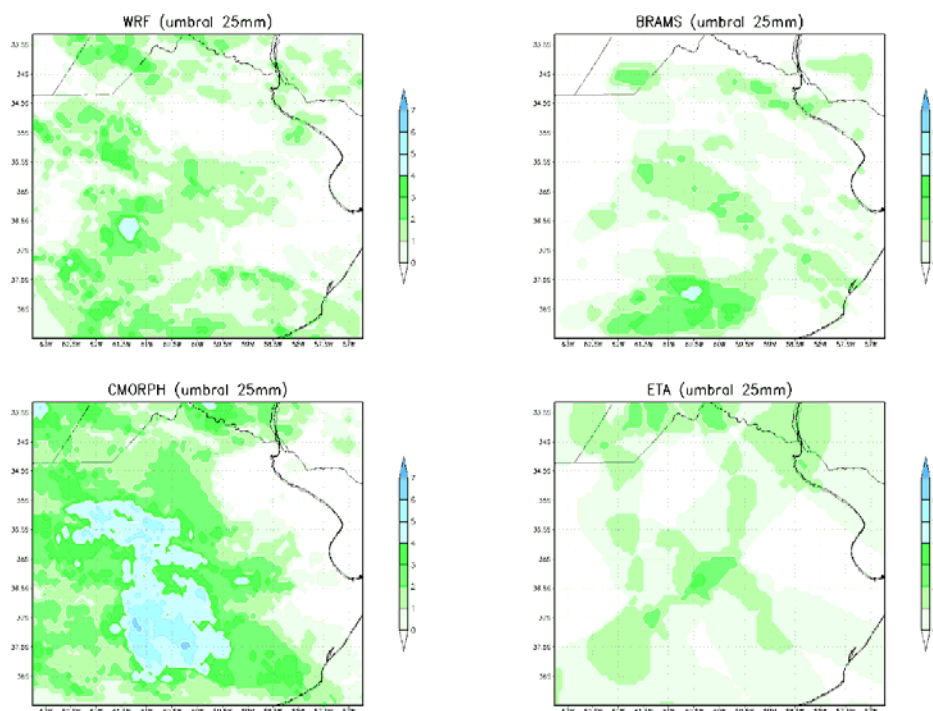


Figura 3.- Cantidad de días con precipitación mayor a 25 mm en 12 horas, según el WRF, BRAMS, CMORPH y ETA.

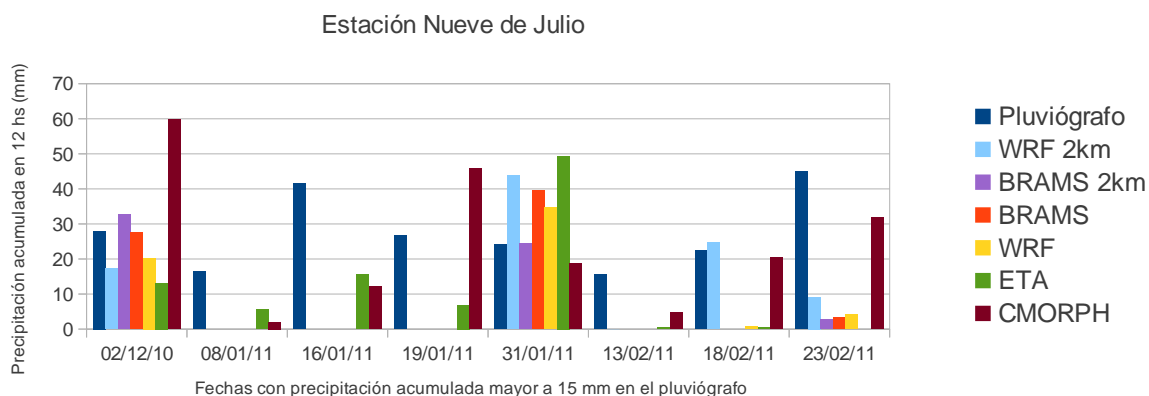


Figura 4.- Precipitación acumulada entre las 00 y 12 UTC de las fechas indicadas en el gráfico, según los datos del pluviógrafo, el pronóstico de los modelos WRF y BRAMS con resolución de 2 km (WRF 2km, BRAMS 2km), BRAMS y WRF con resolución de 8 km (BRAMS, WRF), ETA, y la estimación del CMORPH; para la estación Nueve de Julio.

A partir de este análisis preliminar, se puede inferir que al aumentar la resolución horizontal en los modelos, aumenta el acierto en el pronóstico de ocurrencia de precipitaciones intensas, pero no necesariamente el acierto de ocurrencia de precipitaciones más leves.

Para el análisis de la información provista por los pluviógrafos de las estaciones meteorológicas seleccionadas, se decidió utilizar aquellos días en que el registro de la precipitación acumulada entre las 00 y 12 UTC es igual o superior a los 15 mm. Estos valores se comparan cualitativamente con el pronóstico en el punto de retícula más

cercano de los modelos WRF y BRAMS con resolución de 8 km y del ETA, y con la estimación CMORPH. Además se agrega la comparación con el pronóstico del WRF y BRAMS con resolución de 2.66 y 2 km, para las estaciones ubicadas en el dominio más pequeño (Junín, Ezeiza y Nueve de Julio).

Dado que no se desprende un comportamiento claro de ninguno de los modelos, ya que las diferencias entre éstos y los registros de los pluviógrafos son altamente dependientes del evento y de la estación considerada, sólo se muestran los resultados de Nueve de Julio a modo de ejemplo (*Figura 4*). Se observa que en algunos casos el aumento de resolución a 2 km mejora el pronóstico considerablemente (el BRAMS el 31/01, el WRF el 18/02), mientras que en otros casos no tiene el mismo efecto (ambos modelos el 02/12, el WRF el 31/01). En otras fechas, como el 8, 16 y 19 de enero, el ETA pronostica mejor ya que presenta precipitación mientras que los otros modelos no lo hacen, aunque los valores son subestimados. Respecto a las estimaciones del CMORPH, no poseen un patrón claro de sub o sobrestimación de los valores pluviográficos.

A continuación se presentan los estadísticos tradicionales, representativos de todo el período en el dominio de 8 km de resolución, calculados a partir de una única tabla de contingencia considerando el evento ocurrido en cada punto de retícula. No se analizan los resultados del ETA debido a la diferencia en la resolución horizontal que el modelo posee, respecto a la resolución de las estimaciones del CMORPH.

En la *Figura 5* se presenta el ETS del WRF y del BRAMS en función de distintos umbrales. Ambos modelos poseen los valores más altos para los umbrales más pequeños, siendo el WRF el que alcanza un máximo de 0.3, mientras que el BRAMS no llega a 0.25. Respecto al Bías (*Figura 6*) se observa que los dos modelos tienden a subestimar la precipitación en todos los umbrales, mostrando los valores más alejados de 1 para el umbral de 20 mm. Aunque presentan el mismo comportamiento, la frecuencia relativa de los eventos pronosticados por el WRF es mayor a la de los eventos pronosticados por el BRAMS.

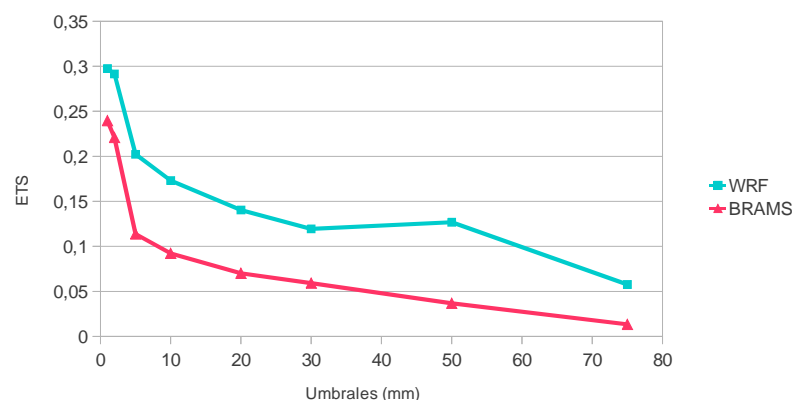


Figura 5.- ETS representativo de todo el período en función de los umbrales, para los modelos WRF y BRAMS.

En la *Figura 7* el FAR indica que el BRAMS pronosticó más cantidad de falsas alarmas, aunque la diferencia con el WRF es muy pequeña. En particular, para los umbrales más bajos, ambos modelos alcanzan un valor de

0.4. La probabilidad de detección se analiza en la *Figura 8*. Al igual que en los otros estadísticos, se encuentra un mismo comportamiento entre los modelos, mostrando un decrecimiento del POD a medida que los umbrales aumentan. Es decir, que los aciertos son mayores para los umbrales menores, alcanzando valores entre 0.25 y 0.4. Estas Figuras muestran claramente que cuando el FAR aumenta, en particular respecto a los diferentes umbrales considerados, entonces el POD disminuye (y viceversa).

Los cuatro estadísticos analizados muestran un comportamiento en el pronóstico de precipitación de los modelos similar al hallado por otros autores, en variados modelos de mesoescala (*Weisman y otros, 2008; Xue y otros, 2010; Yates y otros, 2006*). Comparativamente, el WRF muestra una mayor habilidad que el BRAMS en todos los umbrales considerados.

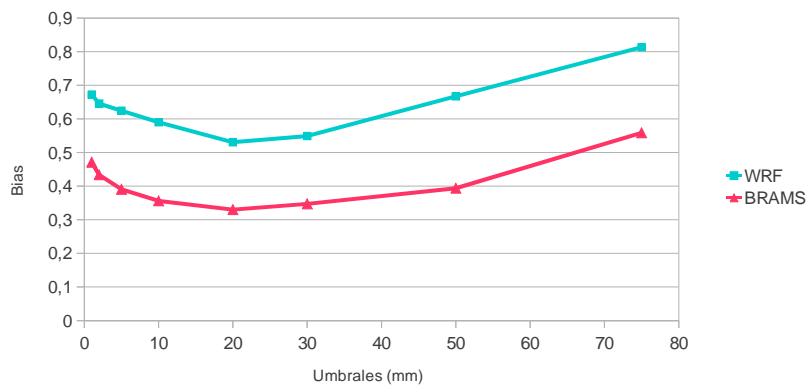


Figura 6.- Bias representativo de todo el período en función de los umbrales, para los modelos WRF y BRAMS.

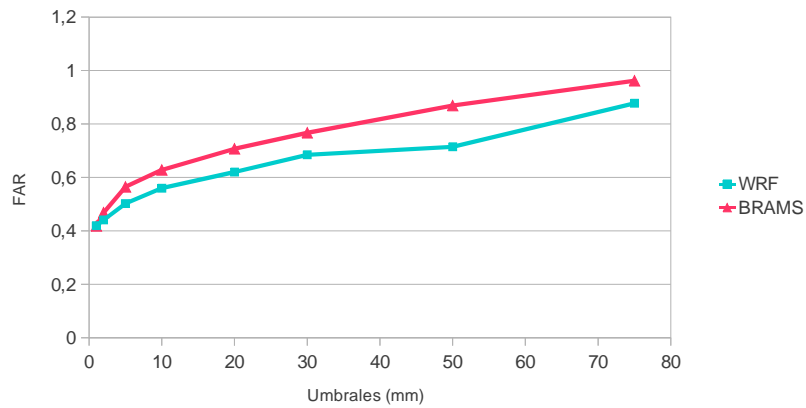


Figura 7.- FAR representativo de todo el período en función de los umbrales, para los modelos WRF y BRAMS.

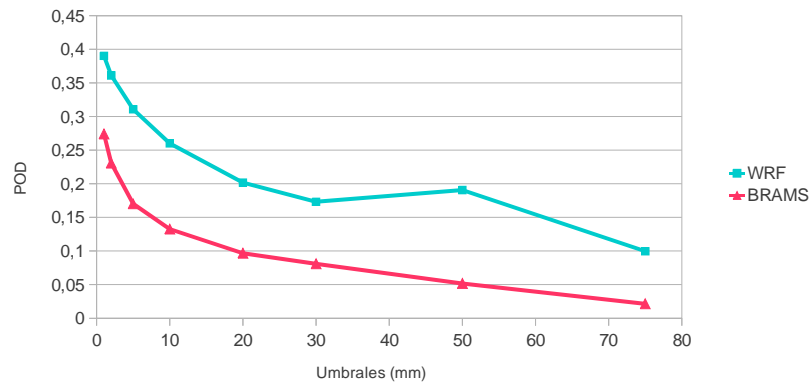


Figura 8.- POD representativo de todo el período en función de los umbrales, para los modelos WRF y BRAMS.

Para evaluar la habilidad de los modelos en pronosticar la precipitación desde otro punto de vista, se utiliza el método de verificación difusa FSS. El tamaño de la vecindad considerada varía entre un cuadrado de 8 km (un punto de retícula) y 160 km (20 puntos de retícula) de lado. El análisis se efectúa para los tres modelos, aunque para el ETA sólo se tienen en cuenta los FSS a partir de los cinco puntos de retícula, vecindad que equivale aproximadamente a la resolución horizontal original del mismo.

En la *Figura 9* se muestra el FSS representativo de todo el período considerando ocho umbrales de precipitación acumulada en 12 horas, para todos los modelos. Hay dos características que se repiten en todos ellos: una es que a medida que el dominio se agranda, el FSS aumenta, lo cual tiene sentido ya que se está disminuyendo la exigencia del estadístico; y la otra es que al aumentar el umbral, el FSS disminuye, lo que implica que los modelos tienen dificultad en ubicar las zonas de precipitación más intensa. Haciendo una comparación entre los modelos para cada umbral en particular, se concluye que el desempeño del ETA es superior en los umbrales pequeños hasta 30 mm. Sin embargo, cabe destacar que el máximo valor pronosticado por el ETA no supera los 40 mm, y por esta razón no presenta valores de FSS en los umbrales mayores.

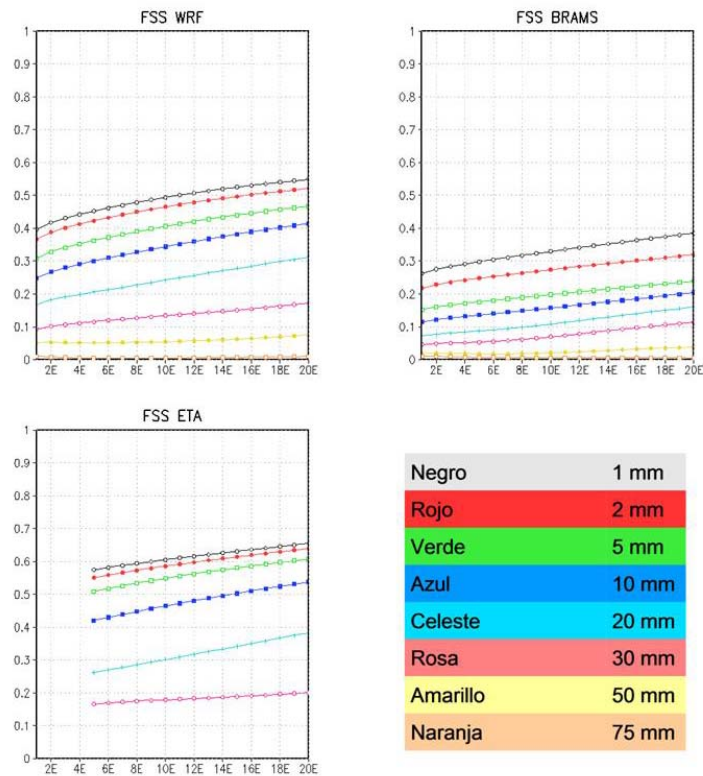


Figura 9.- FSS en función del tamaño de la vecindad ($E=8$ km de lado), para diferentes umbrales, para los pronósticos de precipitación acumulada entre las 00 y 12 UTC representativo de todo el período, de los modelos WRF, BRAMS y ETA.

Analizando dicho estadístico en nueve eventos en los que precipitó más de 50 mm según el CMORPH, junto con los campos de precipitación pronosticados por cada modelo, se observa que los modelos de alta resolución representan mejor la estructura del campo y los máximos de lluvia, alcanzando valores más cercanos a la realidad. En la *Figura 10* se muestra, a modo de ejemplo, el caso del 2 de Diciembre de 2010 donde se observa que arealmente el campo de precipitación del ETA coincide más que el del WRF y BRAMS, con el campo estimado por el CMORPH. Sin embargo, los modelos de alta resolución representan mejor la estructura de los máximos de precipitación, que en este caso superan los 75 mm acumulados en 12 horas. Estas características se traducen en el FSS calculado para esa fecha, el cual muestra que el desempeño del ETA es superior en los cuatro umbrales menores, mientras que el WRF presenta una mejor habilidad a partir de los 20 mm (*Figura 11*).

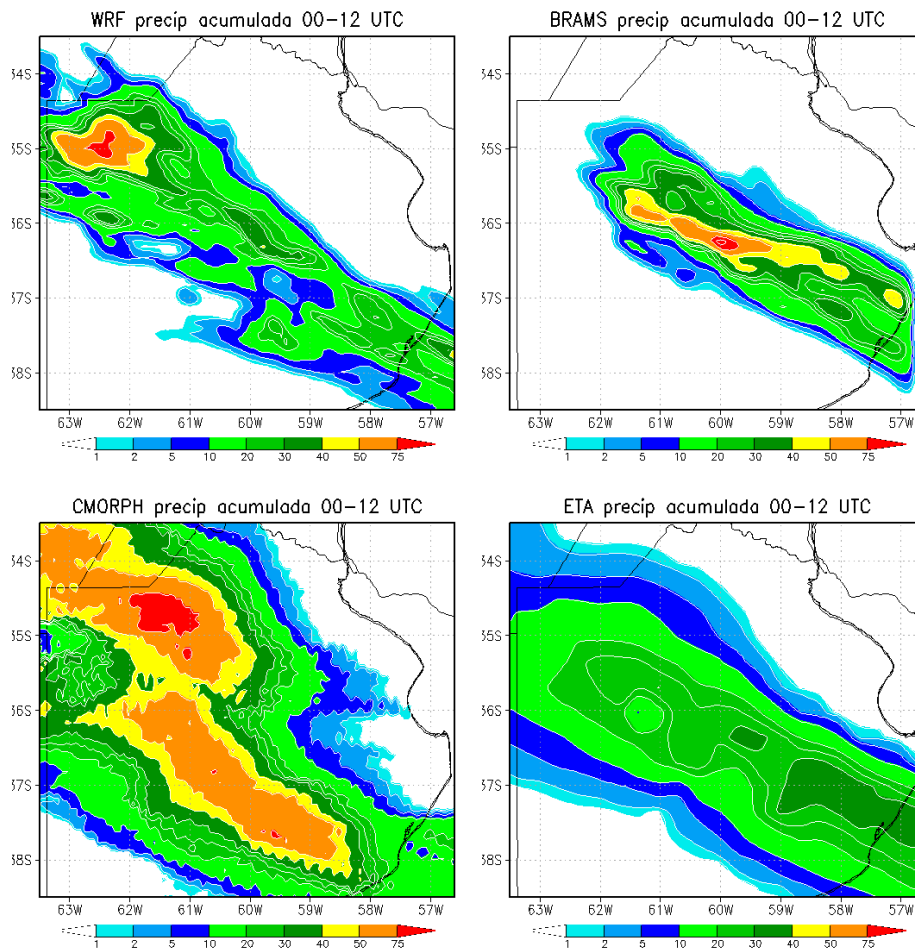


Figura 10.- Precipitación acumulada entre las 00 y 12 UTC del 02/12/10, pronosticada por los modelos WRF, BRAMS y ETA, y estimada por el CMORPH.

Por último, se desea resaltar que los resultados presentados son dependientes de la incertidumbre propia del dato considerado como verdadero, ya sea la precipitación obtenida de las fajas de pluviógrafos como la obtenida de las estimaciones CMORPH. Esta problemática influye en la verificación ya que, cualquiera sea el método usado, el error de pronóstico estimado siempre va a tener una componente debida exclusivamente a la incertidumbre de las observaciones, y desligada de la habilidad propia del modelo de pronóstico (*Ebert, 2008*).

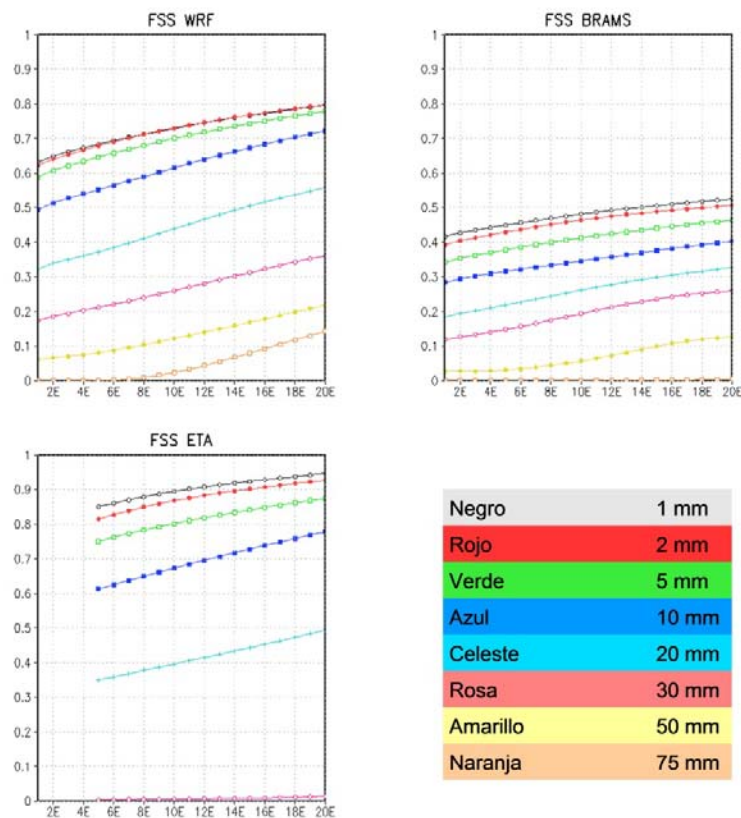


Figura 11.- FSS en función del tamaño de la vecindad (E=8 km de lado), para diferentes umbrales, para los pronósticos de precipitación acumulada entre las 00 y 12 UTC del 02/12/2010, de los modelos WRF, BRAMS y ETA.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió el desempeño de los modelos de pronóstico WRF y BRAMS durante la temporada de verano 2010-2011, abarcando el dominio de la Provincia de Buenos Aires, utilizando anidados de alta resolución, usando como condición inicial y de borde el modelo ETA operativo en el SMN. En particular, se realizó la verificación estacional de la precipitación acumulada en 12 horas nocturnas.

El cálculo de los estadísticos tradicionales ETS, Bias, POD y FAR representativos de los tres meses para diferentes umbrales, mostraron un comportamiento en el pronóstico de precipitación similar al hallado por otros autores, en variados modelos de mesoescala. Comparativamente, el WRF mostró una mayor habilidad que el BRAMS en la resolución utilizada en todos los umbrales considerados.

Respecto al estadístico de verificación difusa FSS, se encontró que a medida que la vecindad se agranda éste aumenta, lo cual tiene sentido ya que se está disminuyendo la exigencia del estadístico; y que al aumentar el umbral, el FSS disminuye, lo que implica que los modelos tienen mayor dificultad en ubicar las zonas de precipitación más intensa. En particular, a pesar de que el ETA presentó un mejor desempeño en representar el

área de precipitación con los umbrales más pequeños, a partir de 30 o 40 mm, éste falló en describir el evento, no sólo respecto al área de cobertura, sino también respecto a la ocurrencia; mientras que el WRF y BRAMS simulaban los eventos intensos.

Se puede concluir, entonces, que mediante el uso de modelos de mayor resolución se pueden representar máximos de precipitación en casos de precipitación intensa que no se logran detectar con el modelo de menor resolución. Aunque no sea preciso el pronóstico de la extensión y ubicación del área, los modelos de alta resolución dan un indicio de que un fenómeno de precipitación intensa se puede dar en la región de pronóstico, lo cual resulta de gran utilidad.

Agradecimientos. A los Proyectos que financiaron la infraestructura computacional utilizada: UBACyT 2008-2010, X159; ANPCyT PICT 2007 N°00355; PICT 2008 N°1603; PIDDEF 47/10; UBACyT 2011-2014 GC 20020100100742; PIP 2010-2012 11220090100850.

REFERENCIAS

- Altinger de Schwarzkopf M. L., 1999. *Tormentas severas y tornados: Estudio de los tornados en la República Argentina*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.
- Ebert E.E., 2008. *Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: a review and proposed framework*. Meteorol. Appl. **15**, 51-64. DOI: 10.1002/met.25
- García Skabar, Y., L. Vidal, P. Salio, M. Nicolini, 2011: *Experimental high-resolution forecast in a region of Argentina*. Working group in Numerical Experimentation (WGNE) Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (Blue book), 5, Pag 09-10. Online: http://www.wmo.int/pages/about/sec/rescrosscut/resdept_wgne.html
- Hamill, 1999. *Hypothesis tests for evaluating numerical precipitation forecasts*. Wea. And For., **14**, 155-167.
- Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., Xie P., 2004. *CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution*. J. Of Hydromet., **Vol 5**, 487-503.
- Kain J.S., Weiss S.J., Levit J.J., Baldwin M.E., 2006. *Examination of convection-allowing configurations of the WRF model for the prediction of severe convective weather: the SPC/NSSL Spring Programme 2004*. Wea. And For., **Vol 21**, 167-181.
- Kain J.S., Weiss S.J., Bright D.R., Baldwin M.E., Levit J.J., Carbin G.W., Schwartz C.S., Weisman M.L., Droegemeier K.K., Weber D.B., Thomas K.W., 2008. *Some practical considerations regarding horizontal resolution in the first generation of operational convection-allowing NWP*. Wea. And For., **Vol 23**, 931-952
- Lean H.W., Clark P.A., Dixon M., Roberts N.M., Fitch A., Forbes R., Halliwell C., 2008. *Characteristics of high-resolution versions of the Met Office Unified Model for forecasting convection over the United Kingdom*. Mon. Wea. Rev., **Vol 136**, 3408-3424.
- Matsudo C.M. y Salio P.V., 2011. *Severe weather reports and proximity to deep convection over Northern Argentina*. Atmos. Res., **100**, 523-537

- Narita M. y Ohmori S., 2007. *Improving precipitation forecasts by the operational nonhydrostatic mesoscale model with the Kain-Fritsch convective parameterization and cloud microphysics*. Japan Meteorological Agency. 12th Conference on Mesoscale Processes ([American Meteorological Society](http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126017.pdf)). <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126017.pdf>
- Roberts N.M. y Lean H.W., 2008. *Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events*. Mon. Wea. Rev., **Vol 136**, 78-97.
- Ruiz J.J., 2009. *Evaluación de diferentes metodologías para la calibración de las estimaciones de precipitación CMORPH sobre Sudamérica*. Revista Brasileira de Meteorologia, **v.24, n.4**, 473-488.
- Salio, P. y Nicolini M., 2005. *Ciclo diario de la convección asociado a diferentes condiciones de corriente en chorro en capas bajas*. IX Congreso Argentino de Meteorología, CONGREGMET IX, Nacional, 3 al 7 de octubre de 2005, Buenos Aires, Argentina, ISBN 987-22411-0-4, CD de la Conferencia, 10 pág
- Salio, P.V. y Nicolini, M., 2006. *Seasonal characterization of the diurnal cycle of convection frequency over Southeastern South America under different low-level jet conditions*. Proceedings of the 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, 2006, p. 1157-1162.
- Salio, P., Nicolini, M. y Zipser E., 2007. *Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low Level Jet*. Monthly Weather Review, **Vol. 135, 4**, 1290-1309
- Salio P.V., Vila D., Hobouchian M.P., García Skabar Y., Matsudo C., 2010. *Performance evaluation of precipitation retrievals over South-Eastern South America considering different climatic regions*. 5Th IPWG, Hamburgo, Alemania.
- Stappeler J., Doms G., Schattler U., Bitzer H.W., Gassmann A., Damrath U., 2003. *Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM*. Meteor. Atmos. Phys., **82**, 75-96
- 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.
- Velasco I. y Fritsch J.M., 1987. *Mesoscale Convective Complexes in the Americas*. J. of Geo. Res., **Vol 92, no D8**, 9591-9613.
- Weisman M.L., Davis C., Wang W. Manning K.W., Klemp J.B., 2008. *Experiences with 0-36-h explicit convective forecasts with the WRF-ARW model*. Wea. And For., **Vol 23**, 407-437
- Xue M., Kong F., Thomas K.W., Wang Y., Brewster K., Gao J., Wang X., Weiss S., Clark A., Kain J., Coniglio M., Du J., Jensen T., Kuo Y.-H., 2010. *CAPS realtime storm-scale ensemble and convection-resolving high-resolution forecasts for the NOAA Hazardous Weather Testbed 2010 Spring Experiment*. Extended abstract, 25th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Denver, Colorado, October 11-14.
- Yates E., Anquetin S., Ducrocq V., Creutin J.-D., Ricard D., Chancibault K., 2006. *Point and areal validation of forecast precipitation fields*. Meteorol. Appl., **13**, 1-20. doi:10.1017/S1350482705001921.
- Zipser E.J., Cecil D.J., Liu C., Nesbitt S.W., Yorty D.P., 2006. *Where are the most intense thunderstorms on Earth?* Bull. Of the Am. Met. Soc., 1057-1071.