

# Comparación del pronóstico de precipitación del modelo WRF usando datos iniciales de dos modelos globales/regionales diferentes

## Precipitation forecast comparison using WRF model with data from two different models global/regional

Jorge Humberto Bravo-Méndez, CEMP de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz

Saúl Miranda-Alonso, CEMP de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz

Carlos M. Welsh-Rodríguez\*, Universidad Veracruzana

\*Autor para correspondencia: cwelsh@uv.mx

**RESUMEN.** El Centro de Estudios y Pronósticos Meteorológicos (CEPM) de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz (SPC-Ver) desde mediados de 2016 ha implementado de forma operativa el modelo Weather Research and Forecasting (WRF), utilizando los datos del modelo de escala global Global Forecast System (GFS) como datos de entrada. De las variables meteorológicas que el WRF pronostica operativamente la precipitación es una de las variables más difíciles y la más solicitada a los previsores del tiempo. Se ha encontrado que al usar datos de entrada del GFS la precipitación es subestimada, por tal motivo se ha optado por iniciar el WRF con datos del modelo North American Mesoscale Forecast System (NAM), modelo de pronóstico de escala regional que sólo cubre Norteamérica. Dado que el CEPM cuenta con meteorólogos de carrera laborando durante los 365 días del año, se tiene la posibilidad de comparar cuantitativamente día a día los resultados del WRF-GFS y WRF-NAM, contra los datos emitidos por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Organismo Cuenca Golfo Centro (OCGC).

**PALABRAS CLAVE:** pronóstico numérico operativo, protección civil

**ABSTRACT.** The Center for Studies and Meteorological Forecast (CSMF, known in Spanish as CEPM) of the Veracruz Civil Protection Secretariat (known in Spanish as SPC-Ver) started to implement, in 2016, the Weather Research and Forecasting (WRF) model in an operative way, using the Global Forecast System (GFS) model results as initial values. The precipitation forecast, operatively the most difficult and also the most requested, happened to be sub-estimated when using the GFS as initial data values, detouring the use of data from the American Mesoscale Forecast System (NAM) model as initial values. Since the CSMF dispose of professional forecasters working all year around, there was the possibility for an objective day to day comparison between WRF-GFS and WRF-NAM against the measured data from the Water National Commission. The use of the NAM values improved the forecast.

**KEYWORDS:** operative weather forecast, civil protection

## Introducción

Las condiciones del tiempo y el pronóstico meteorológico afectan a la salud y los estilos de vida de las personas, la economía, la sociedad y el medio ambiente. El grado de impacto varía dependiendo de muchos factores, incluyendo el tipo de evento meteorológico, hora en la que se presenta el evento, la gravedad del evento, la duración del evento, la ubicación del evento, la “inusualidad”, etc. (McCarthy P.)

Teniendo en cuenta lo anterior, en el CEPM la principal actividad es el pronóstico operativo del tiempo, cubriendo los 365 días del año. Se emiten reportes, boletines, avisos especiales y alertas preventivas. Los meteorólogos operativos dependen de las imágenes de satélite para interpretar las condiciones atmosféricas en ese momento y de los resultados de modelos numéricos para elaborar los pronósticos hasta a cinco días. Con la finalidad de mejorar las alertas y pronósticos del tiempo atmosférico que actualmente se realizan se ha implementado el modelo numérico “Weather Research and Forecasting (WRF)” en forma operativa y automática. (Bravo-Méndez, J. y Miranda-Alonso, S. 2018).

Con la implementación de este modelo de pronóstico, en un dominio que se centra y cubre la entidad Veracruzana (Figura 1), se obtuvo una mejora en la resolución espacial y temporal, de 4 km y 1 hora, respectivamente, en comparación a los gráficos de modelos de pronóstico a los que se puede acceder libremente a través de internet con resoluciones espaciales de entre 25 y 32 km y temporales de 1 y 3 horas. El pronóstico de la precipitación es el de mayor utilidad en la protección civil por la posibilidad de predecir desastres como inundaciones o la disminución de la lluvia esperada que significa sequías. Ambos fenómenos afectan gravemente a la población y son debidos a situaciones especiales del comportamiento atmosférico. La previsión de los eventos atmosféricos extremos es el principal reto en protección civil. Las representaciones de estos eventos, por la física, las matemáticas, la estadística y las ecuaciones empíricas, ha permitido el aumento de la utilidad de los pronósticos del tiempo. Estos sistemas de ecuaciones digitalizados y resueltos en la computadora son los modelos numéricos que nos han permitido tener un grado aceptable de confiabilidad en la previsión del tiempo y, principalmente, de los eventos atmosféricos extremos.

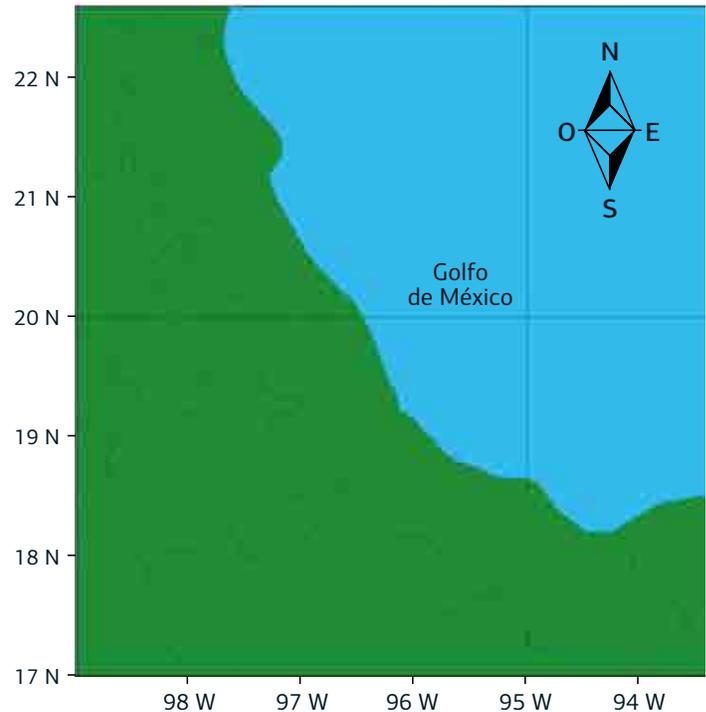


FIGURA 1: Configuración del dominio, para ejecutar el WRF. Fuente: elaboración propia.

## Marco conceptual

La predicción numérica del tiempo (PNT) es un método de pronóstico que emplea el conjunto de ecuaciones que describen el flujo de fluidos en la atmósfera. Estas ecuaciones son traducidas en código computacional y utilizan ecuaciones de gobierno, métodos numéricos, parametrizaciones de procesos físicos y se combinan con condiciones iniciales y de frontera sobre un dominio (área geográfica). Casi cada paso en PNT incluye omisiones, estimaciones, aproximaciones y compromisos (NOAA y NWS, 2017).

Este trabajo se centra en el uso del modelo WRF, el cual es un modelo de pronóstico del tiempo atmosférico de última generación, multipropósito y se puede configurar localmente con dominios espaciales y temporales de menor tamaño que los globales y hemisféricos. También es el modelo de pronóstico regional más usado actualmente a nivel internacional.

La ventaja que tiene es la flexibilidad que proporciona al ser configurado, ya que se puede montar en un conjunto de computadoras conectadas en paralelo (clusters), o también puede ser configurado en una máquina de escritorio de un solo procesador, desde luego con grandes limitaciones en velocidad de procesamiento y en tamaño de la región a modelar (Skamarock et. al., 2008).

De entre las distintas características que tiene el modelo WRF, una de gran importancia para este trabajo es el poder designar diferentes datos de entrada al inicializar el modelo de pronóstico. Los datos de entrada utilizados son los del Global Forecast System (GFS) y del North American Mesoscale Forecast System (NAM), de escala global y regional respectivamente.

Recordar que el modelar la precipitación por fenómenos meteorológicos extremos es el reto mayor para el pronóstico del tiempo, y son precisamente estos fenómenos los de mayor riesgo para la población y por ende la principal preocupación para la protección civil.

Desde mediados de 2016 se logró la implementación del modelo WRF en forma operativa y de forma automatizada, utilizando como datos de inicio y de frontera el GFS, pronosticando a 72 horas. Para optimizar el uso del modelo, los previsores operativos solicitaron que el modelo se corra dos veces al día, esto es, se renueva el pronóstico numérico regionalizado cada 12 horas.

## Método y técnicas de trabajo

Al modelo WRF se le acondicionó para aceptar datos iniciales del modelo GFS o del modelo NAM en corridas de simulación de condiciones atmosféricas de hasta tres días. Se implementó al sistema para simular el paso de la onda tropical No. 24, el día 3 de Agosto, al sur del Estado de Veracruz, la cual provocó la inundación en el puerto de Veracruz el día 3 y durante el día 4 continuó la precipitación.

Para hacer la comparación cualitativa del pronóstico de la precipitación, se tomó como base los mapas de precipitación acumulada en 24 horas que proporciona la CONAGUA a través del OCGC, en intervalos de tiempo 08:01 am a 07:59 am del siguiente día, para este caso el mapa (Figura 2) fue elaborado con precipitación medida del 2 de agosto a las 08:01 a.m. y hasta el 3 de agosto a las 07:59 a.m.

Con las simulaciones que obtenemos cada 12 horas del modelo WRF con datos iniciales del sistema WRF-GFS, se buscó la simulación con 72 horas de anticipación para ver cómo reproducía la precipitación medida, dado que en general las salidas del modelo WRF arrojan por defecto la precipitación acumulada para todo el periodo de la simulación, primero se obtuvo la precipitación por cada intervalo de tiempo, en este caso cada hora, y después se procedió a elaborar un acumulado de 24 horas en

proporción al registro de CONAGUA, es decir se hizo la suma de precipitación de 24 horas, del 2 de agosto a las 09:00 a.m. y hasta el 3 de agosto a las 08:00 a.m., para poder hacer un comparativo.

Con respecto a la ejecución del modelo WRF con datos iniciales WRF-NAM, se obtuvieron los datos del mismo periodo que los del GFS para que coincidieran en el tiempo y se hizo el mismo procedimiento que el hecho con el WRF-GFS. En la Tabla 1 se muestran las corridas que se hicieron para simular el evento, de tal modo que se obtuvieron 5 mapas de pronóstico de precipitación acumulada por cada modelo.

Para hacer una comparación del pronóstico de ambos modelos respecto al valor medido en el observatorio meteorológico de la CONAGUA ubicado en Boca del río, se procedió a ubicar la celda de malla que se aproxime más a esa ubicación, se utilizó el dato de este observatorio, debido a que es la medición más cercana al lugar de la inundación.

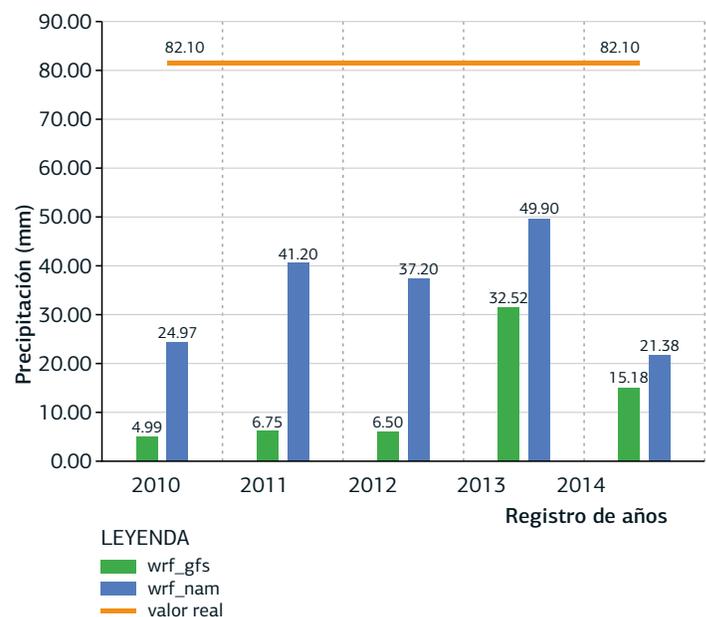


FIGURA 2: Pronóstico de Precipitación en distintos tiempos previos a la inundación. Fuente: Elaboración Propia

La Figura 2, muestra como pronóstico el modelo WRF utilizando los distintos datos de entrada de los modelos GFS y NAM. En el gráfico se observan barras verdes y azules, WRF-GFS y WRF-NAM respectivamente, que representan el valor obtenido de la celda de malla más cercano al observatorio de Boca del Río; además, el gráfico muestra una línea roja, que es el valor de precipitación acumulada que se midió cuando ocurrió la inundación. El eje "y" representa la precipitación en

Lluvias registradas a las 8:00 h, acumuladas de las 24 h precedentes

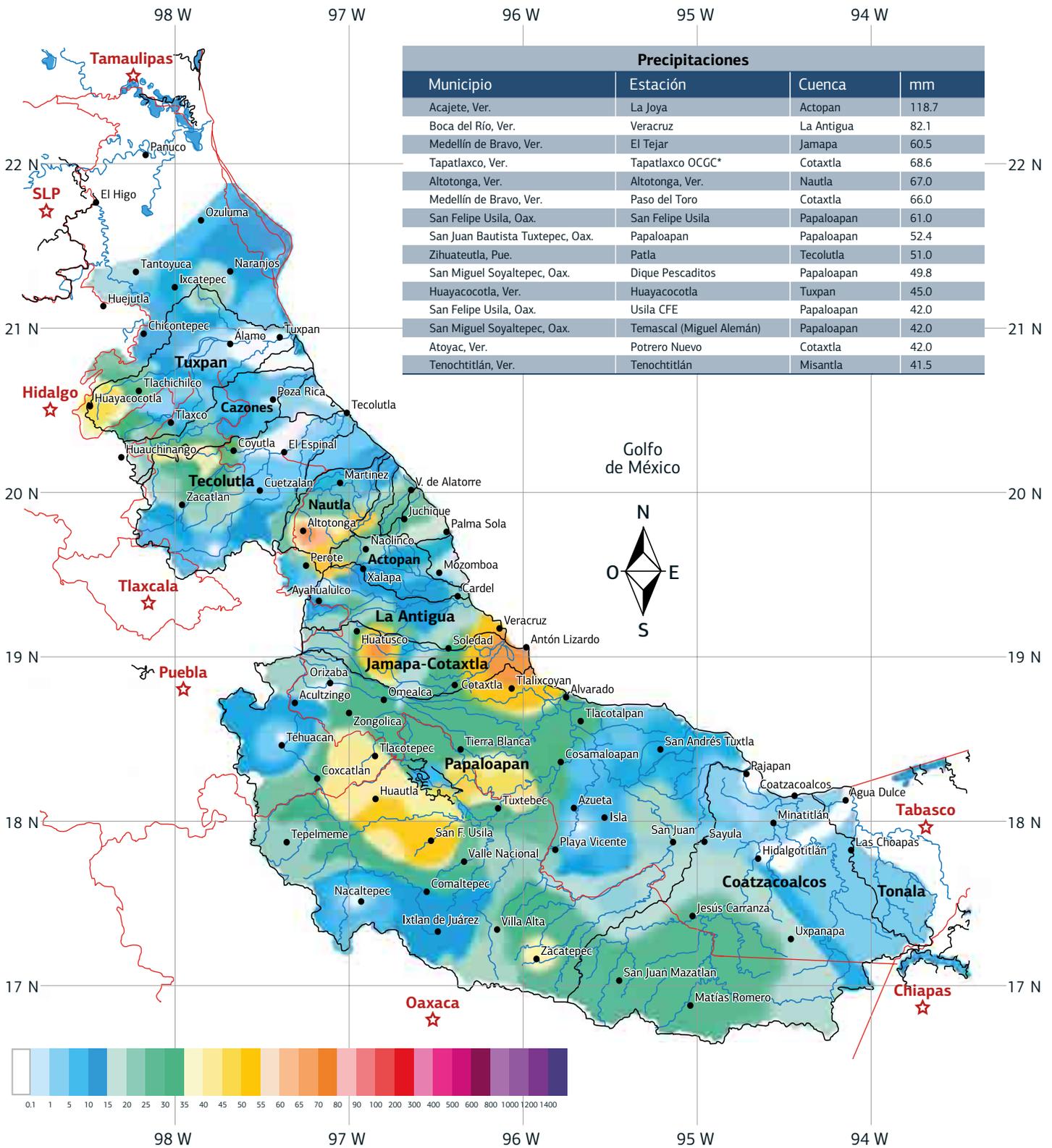


FIGURA 3: Precipitación acumulada con datos de la CONAGUA del 03/08/18.

FUENTE: Organismo Cuenca Golfo Centro (CONAGUA, 2018)

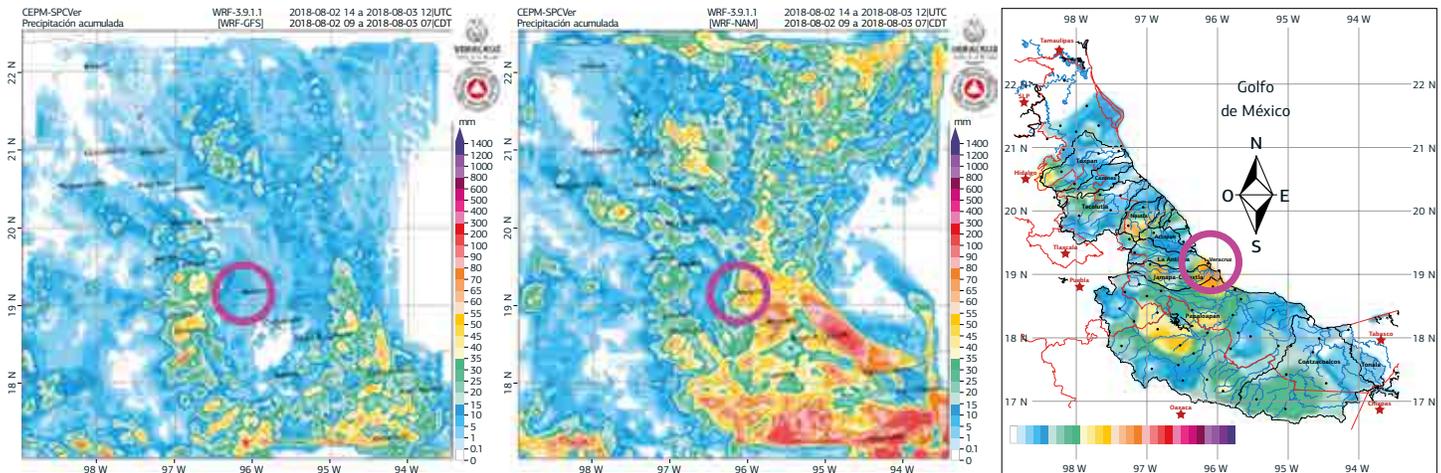


FIGURA 4: Corrida 2018-07-31 12Z, 72 horas antes de la inundación. FUENTE Elaboración propia con datos propios e imagen obtenida del OCGC.

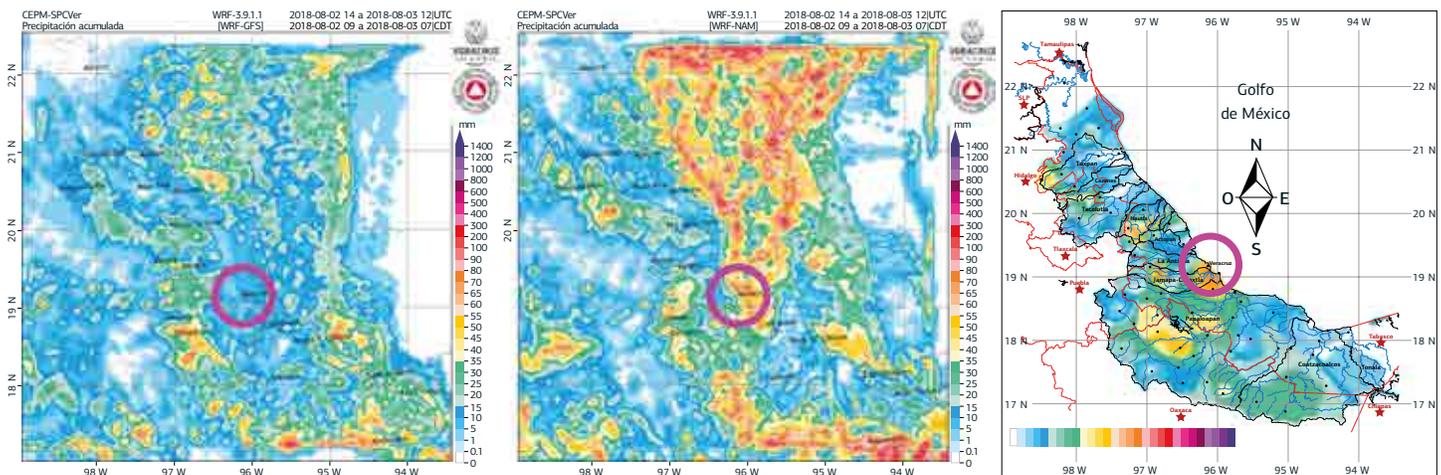


FIGURA 5: Corrida 2018-08-01 00Z, 60 horas antes de la inundación. FUENTE Elaboración propia con datos propios e imagen obtenida del OCGC.

milímetros y el eje “x” representa el tiempo previo a la inundación. En este gráfico se aprecia que el modelo WRF-NAM, mejora la simulación de la precipitación.

Aunque si bien es importante la comparación puntual, una comparación a nivel domino de la simulación, permite observar visualmente el comportamiento de los distintos pronósticos.

En las Figuras 4 a 8, se muestra la variación del pronóstico para el mismo día, al inicializar con datos de distintos modelos. Las cinco figuras tienen estructura similar: izquierda WRF inicializado con GFS, centro inicializado con NAM y derecha mapa de la CONAGUA, mostrado en la Figura 3, con el que se comparan los pronósticos. Los círculos en color magenta muestran el área donde se ubica el puerto de Veracruz y alrededores.

## Resultados

Para este caso particular se puede decir que, 72 horas antes, usando datos de entrada NAM, se puede obtener una mejor aproximación a la precipitación medida, en comparación a la simulación en el mismo periodo usando datos de entrada GFS.

Para el caso puntual del observatorio de Boca del Río, aunque no alcanza el valor registrado si muestra una mayor aproximación, el pronóstico con datos de entrada NAM que con datos de entrada GFS. Además, se debe tener en cuenta que el tamaño de la celda de malla es de 4 km, mientras el dato del observatorio es puntual.

Las corridas WRF-NAM son persistentes en mostrar mejor aproximación a la precipitación al

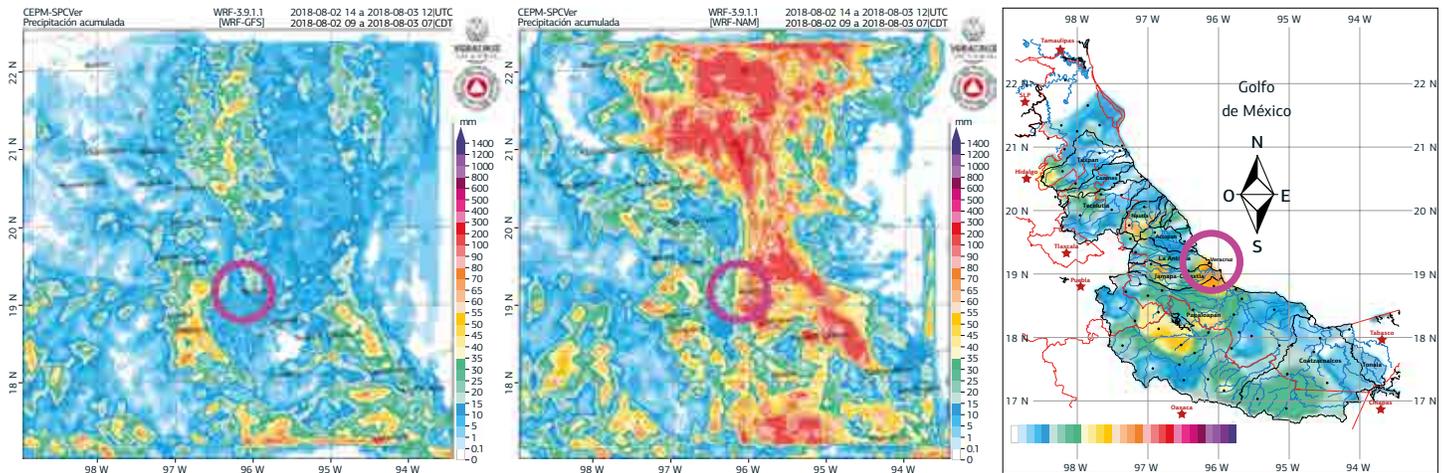


FIGURA 6: Corrida 2018-08-01 12Z, 48 horas antes de la inundación. FUENTE Elaboraron propia con datos propios e imagen obtenida del OCGC.

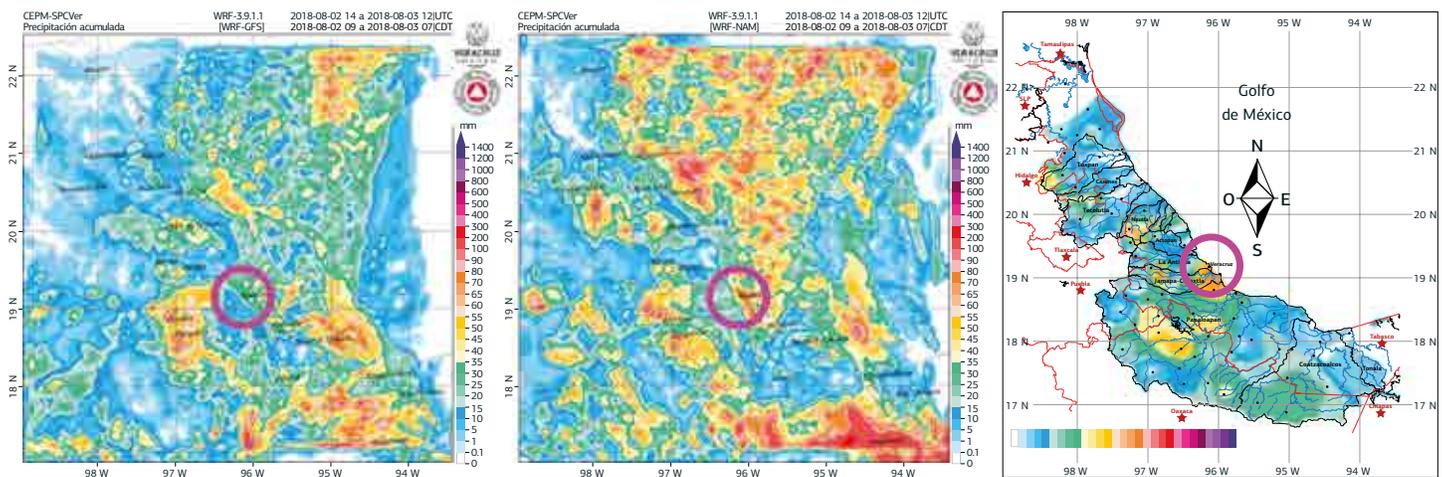


FIGURA 7: Corrida 2018-08-02 00Z, 36 horas antes de la inundación. FUENTE Elaboración propia con datos propios e imagen obtenida del OCGC.

compararlo con los datos de la CONAGUA. Aunque se podría decir que WRF-NAM tiene una “mejor aproximación” en la precipitación, también llega a subestimar como se muestra en el mapa 24 horas previas al evento

**Discusión**

La ciudad de Veracruz es impactada cada año por diferentes fenómenos meteorológicos extremos, ciclones tropicales, frentes fríos, ondas del este, sistemas convectivos de mesoescala locales. El pronóstico de situaciones hidrometeorológicas de alto riesgo para la población son la principal razón de existir del CEPM. La mejora continua, de nuestros servicios de prevención, se refleja directamente en menores

pérdidas de vidas humanas, daños a la salud humana y sus bienes y a los sistemas de producción.

Gracias al abaratamiento de los sistemas de cómputo se ha podido tener acceso a computadoras de mediana potencia que nos ha permitido implementar los modelos numéricos al estado de Veracruz y mejorar la previsión del tiempo. Con el avance de la modelación numérica y acceso a mejores computadoras podremos seguir mejorando nuestros servicios a la ciudadanía.

**Conclusiones**

Los pronósticos numéricos realizados con el modelo WRF-NAM para este caso particular tuvo una mejor aproximación al pronóstico del modelo WRF-GFS al

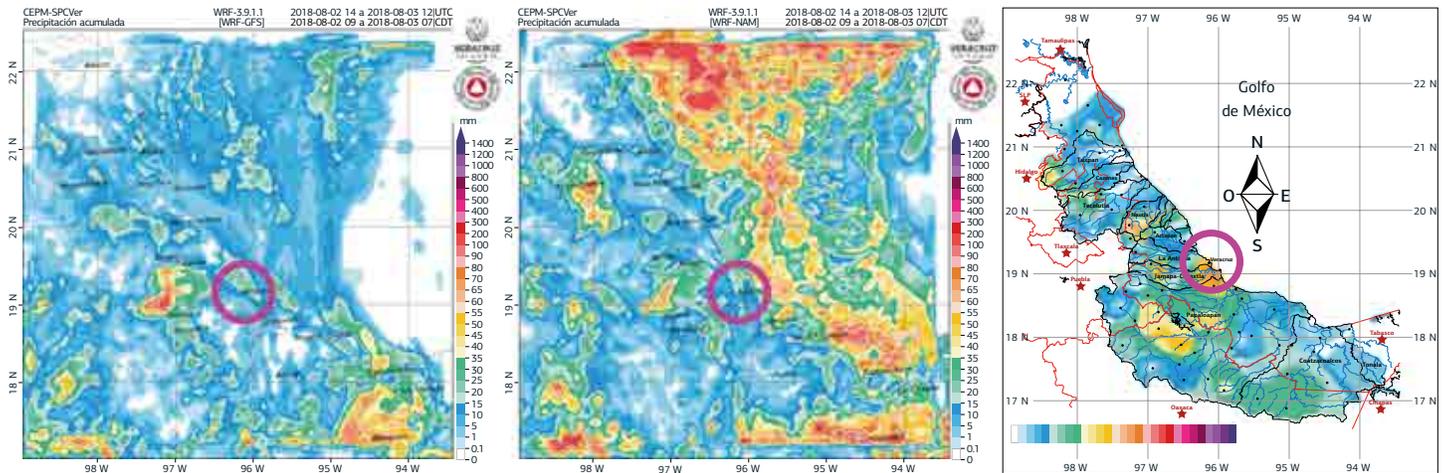


FIGURA 8: Corrida 2018-08-02 12Z, 24 horas antes de la inundación. FUENTE Elaboración propia con datos propios e imagen obtenida del OCGC.

comparar contra datos medidos de Conagua, que por lo demás son los más difíciles de modelar.

## RESUMEN CURRICULAR

M.C. Jorge Humberto Bravo Méndez (autor). Maestro en Ciencias en Hidrometeorología, Investigador del Clima de la SPC-Ver, Habilidades de investigación al evaluar condiciones de tiempo atmosférico, conocimiento de modelos de predicción numérica del tiempo atmosférico y percepción remota en meteorología. [jh.herk@gmail.com](mailto:jh.herk@gmail.com)

Dr. Saúl Miranda Alonso (co-autor). Actualmente Coordinador en la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz. Doctorado en Oceanografía Física por la Universidad de Hamburgo. Maestría en Ciencias en Oceanografía Física por el CICESE. Físico por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. [saul.malo@gmail.com](mailto:saul.malo@gmail.com)

Dr. Carlos M. Welsh Rodríguez (co-autor). Doctor en Sostenibilidad por la Universidad Politécnica de Cataluña. Maestro en Gestión Ambiental por la universidad Politécnica de Madrid. Especialista en Climatología y Licenciado en Instrumentación Electrónica por la Universidad Veracruzana. Cuenta

con Postdoctorado en Adaptación al Cambio Climático mediante beca CONACYT en el centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos (NCAR). Investigador de tiempo completo del Centro de Ciencias de la Tierra en la Universidad Veracruzana. [cwelsch@uv.mx](mailto:cwelsch@uv.mx)

## REFERENCIAS

Bravo-Méndez, J. and Miranda-Alonso, S. (2018). Modelación numérica para la prevención de riesgos meteorológicos en el estado de Veracruz. In: J. Rodríguez Esteves, C. Welsh Rodríguez, M. Romo Aguilar and A. Travieso Bello, ed., Riesgo de desastres en México: eventos hidrometeorológicos y climáticos, 1st ed. Jiutepec, Morelos: IMTA, pp.175-205.

McCarthy Patrick, Defining the impact of weather, última consulta el 29 de noviembre del 2018, disponible en: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/123441.pdf>

NOAA and NWS (2017), última consulta el 29 de noviembre del 2018, disponible en: <http://www.weather.gov/media/ajk/brochures/NumericalWeatherPrediction.pdf>

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, Wang, W. and Powers, J. G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:10.5065/D68S4MVH

