



Revista Cubana de Meteorología
ISSN: 2664-0880
Instituto de Meteorología

Sánchez Pérez, Enrique Omar; Álvarez Escudero, Lourdes; Ferrer Hernández, Adrian Luis
Evaluación del pronóstico a mediano plazo de la componente atmosférica
del SPNOA con datos de estaciones meteorológicas del INSMET
Revista Cubana de Meteorología, vol. 27, núm. 2, e08, 2021
Instituto de Meteorología

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977554006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

LUSEM 

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Evaluación del pronóstico a mediano plazo de la componente atmosférica del SPNOA con datos de estaciones meteorológicas del INSMET



<https://eqrcode.co/a/tBERPm>

Evaluation of the medium-range forecasts of the atmospheric component of the SPNOA with data from meteorological stations of INSMET

Enrique Omar Sánchez Pérez*, Lourdes Alvarez Escudero, Adrian Luis Ferrer Hernández

¹Departamento de Procesos Físicos, Instituto de Ciencias del Mar, Cuba

²Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba

RESUMEN: En la actualidad es de gran importancia la evaluación de los pronósticos numéricos del tiempo, debido a que es esta una forma muy eficiente de mejorar la exactitud de los mismos. En el presente trabajo se realizó la verificación del pronóstico medio del tiempo a mediano plazo para Cuba, entre 2015-2017, dado por el modelo de pronóstico numérico mesoescalar WRF (*Weather Research and Forecasting*), utilizado actualmente como la componente atmosférica del Sistema de Predicción Numérica Oceano Atmósfera (SPNOA), sistema implementado en el Instituto de Meteorología (INSMET). Fueron escogidos, como patrón para la comparación, los datos de las observaciones de todas las estaciones meteorológicas del INSMET en el periodo 2015-2017, correspondientes a las variables atmosféricas: presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, temperatura del aire a 2 m, velocidad del viento a 10 m, humedad relativa a 2 m y acumulado de precipitación en superficie. Se utilizó la metodología de verificación celda-punto, donde se calcularon estadígrafos para caracterizar la habilidad de pronóstico con dicho modelo. Se obtuvo que el modelo WRF representa con mayor habilidad a la presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar con un valor absoluto máximo de error relativo medio de 0,1 %, 6,8 % en la temperatura del aire a 2 m, 32,9 % en la humedad relativa, 60,8 % en la velocidad del viento a 10 m y 386,8 % en el acumulado de precipitaciones en superficie, siendo esta última la variable meteorológica que el modelo pronostica con menor habilidad.

Palabras Claves: Pronóstico a mediano plazo, Verificación puntual, WRF, *Weather Research and Forecasting*.

ABSTRACT: Currently, the evaluation of numerical weather forecasts is very important because it is a very efficient way to improve the accuracy of them. In the present investigation was made the verification of the medium-term mean weather forecast for Cuba, in 2015-2017, given by the numerical mesoscale forecast model WRF (*Weather Research and Forecasting*), which is currently used as the atmospheric component of the Numerical Atmospheric Ocean Prediction System (SPNOA), which was implemented in the Institute of Meteorology (INSMET). The data of the observations of all the INSMET meteorological stations in the period 2015-2017, corresponding to the atmospheric variables, were taken as a standard for comparison: mean sea level pressure, temperature at 2 m, wind speed at 10 m, relative humidity at 2 m and accumulated precipitation on the surface. The cell-point verification methodology was used, where statistics were calculated to characterize the forecasting ability with that model. It was obtained that the WRF model represents with greater ability the atmospheric pressure at mean sea level with a maximum absolute value of relative error of 0.1%, 6.8% in the air temperature at 2 m, 32.9% in relative humidity, 60.8% in the wind speed at 10 m and 386.8% in the accumulated surface rainfall, the latter being the meteorological variable that the model predicts with the least ability.

Key words: Medium-term Forecasting, Point-to-Point Verification, WRF.

*Autor para correspondencia: Enrique Omar Sánchez Pérez. Email: enrique@icmar.cu

Recibido: 21/01/2020

Aceptado: 03/05/2021

INTRODUCCIÓN

Para la predicción numérica del tiempo, en el Instituto de Meteorología de Cuba, se encuentra operativo el Sistema de Predicción Numérica Océano-Atmósfera (SPNOA). El sistema se basa en la combinación de un modelo atmosférico a mesoescala de última generación WRF (Weather Research and Forecasting), dos modelos de oleaje WAVEWATCH III (third generation wave model, WW3), SWAN (Simulating Wave Nearshore) y un modelo de circulación oceánica ROMS (Regional Ocean Modeling System). Pronostica las principales variables atmosféricas y oceánicas (Pérez-Bello et al., 2019), para un periodo de 84 horas y su esquema de corrida empieza por la solución de la componente atmosférica (WRF) que alimenta los modelos oceánicos, aunque no incluye una retroalimentación de los parámetros oceánicos sobre la componente atmosférica una vez que avanza la corrida del modelo.

Sin embargo, el desempeño de la componente atmosférica del SPNOA solo ha sido evaluada puntualmente para algunas variables meteorológicas y haciendo mayor énfasis en casos con presencia de ciclones tropicales (Pérez-Bello et al., 2019). Por ello se hace necesario conocer cómo se comporta esta componente atmosférica ante otros tipos de eventos sinópticos y determinar los errores sistemáticos del mismo, lo cual puede ayudar a realizar correcciones del pronóstico mediante técnicas de post-procesamiento estadístico. Para esto se requiere de una verificación más completa de sus predicciones para variables como presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, temperatura del aire a 2 m, humedad relativa a 2 m, velocidad del viento a 10 m y acumulado de precipitación en superficie. Estas variables meteorológicas por su importante influencia en el comportamiento de los fenómenos atmosféricos y el estado diario de la atmósfera, son de interés por parte de los pronosticadores, la población y usuarios especializados como la Unión Eléctrica de Cuba, el Ministerio de la Agricultura, el Instituto de Recursos Hidráulicos y otros.

Para la presente investigación se traza como objetivo principal: evaluar el pronóstico numérico de las variables meteorológicas, obtenidas del modelo WRF en el SPNOA, con los registros de observaciones meteorológicas en los puntos determinados por la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas del INSMET (Instituto de Meteorología). En específico, analizar el comportamiento promedio de las variables meteorológicas observadas y pronosticadas para un rango de 84 horas promedio de las simulaciones realizadas diariamente entre 2015-2017; calcular los errores del pronóstico medio nacional del modelo; analizar la significación de los errores obtenidos en la calidad del pronóstico numérico; determinar la relación de linealidad entre los valores medios pronosticados y los valores medios observados en cada plazo de estudio; comparar el comportamiento de los errores del pronós-

tico numérico, entre las dos corridas diarias promedio del modelo y entre sus dos dominios de resolución espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de información

Las condiciones iniciales y de frontera se generaron a partir de los datos del modelo global GFS (Global Forecast System) con una resolución espacial de 0.5°, para los ciclos de inicialización de las 00:00 y 12:00 UTC, con rangos de pronósticos de hasta 72 horas. Los datos iniciales del modelo GFS son tomados 2 veces al día de forma operativa por el sistema SPNOA desde la dirección web <http://nomads.ncep.noaa.gov> para inicializar el modelo y realizar las simulaciones como se describe en la Figura 2.1.

Los datos de observaciones meteorológicas utilizados para la evaluación se obtuvieron en la base de datos del Centro del Clima del INSMET; estos corresponden a las observaciones realizadas por la red de estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología cuyas ubicaciones se precisan en la Figura 2.2.

Variables y periodo de estudio

Las variables meteorológicas analizadas fueron: la presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, temperatura del aire a 2 m, velocidad del viento a 10 m, humedad relativa a 2 m y acumulados de precipitación en superficie.

El modelo genera dos secuencias de pronóstico de 72 horas en cada día con horarios de inicio de las corridas del modelo a las 00:00 UTC y 12:00 UTC. Se obtuvieron 25 plazos por cada corrida del modelo para cada día en el periodo 2015-2017 (24 plazos de pronósticos y los campos de análisis de la inicialización), con diferencias de tres horas entre cada plazo consecutivo en una misma corrida. Fueron promediados todos los pronósticos obtenidos en cada día, haciendo coincidir los plazos con igual hora, lo que permitió obtener dos pronósticos promedio de 72 horas representativos del periodo de análisis, uno con inicio a las 00:00 UTC y otro a las 12:00 UTC. La unión de los 25 plazos promedio de cada corrida del modelo brinda un pronóstico diario medio de 84 horas a partir de las 00:00 UTC (29 plazos de pronóstico contando una vez los que coinciden en horario).

De manera similar, los datos observados en cada una de las estaciones meteorológicas fueron distribuidos en 29 plazos, haciéndolos coincidir con los horarios de las corridas del modelo. Estos valores obtenidos por cada uno de los días de análisis fueron promediados, lo que brindó el comportamiento de las variables meteorológicas analizadas en 84 horas promedio de observaciones representativas del periodo 2015-2017.

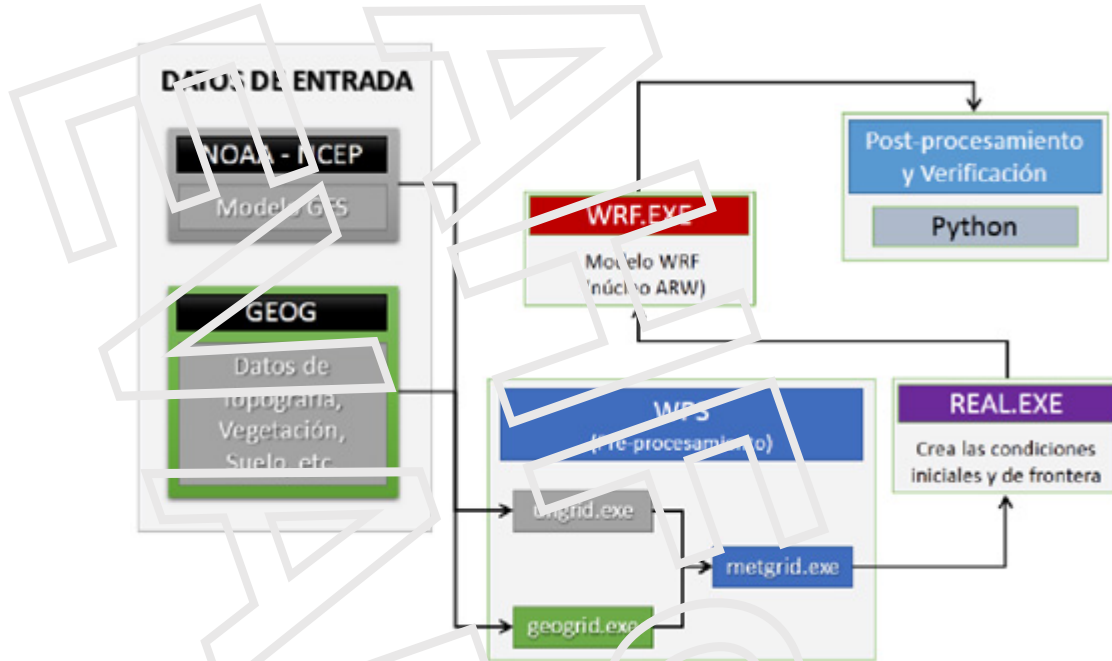


Figura 2.1. Etapas en la ejecución del modelo WRF y su posterior verificación

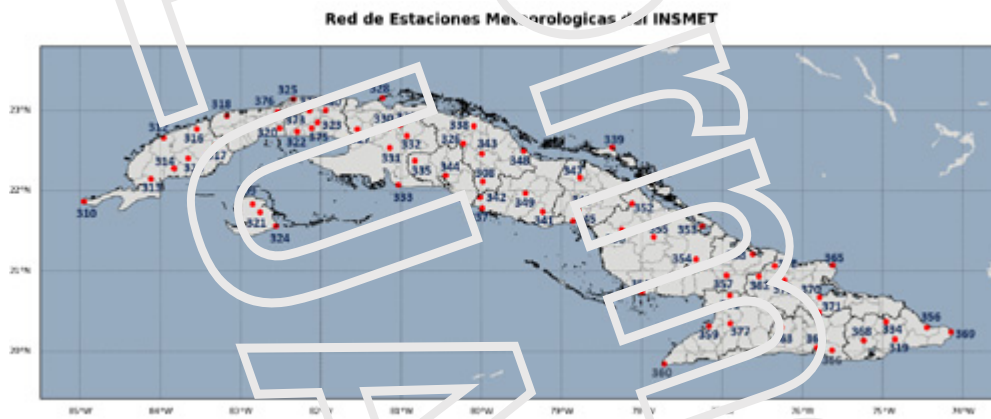


Figura 2.2. Red de estaciones meteorológicas de Cuba

Configuración del WRF.

La componente atmosférica del SPNOA está constituida por el núcleo dinámico ARW del modelo WRF (versión 3.3.1) (Publicada en julio, 2009) con dos dominios anidados uno exterior y otro interior con resoluciones espaciales de 18 y 6 km respectivamente (Figura 3) para un total de 84 horas pronosticadas con intervalos de salidas cada 3 horas.

Método de verificación

La metodología empleada fue la celda-punto (Figura 2.4), utilizada cuando se dispone de una base de datos de observaciones puntuales (mediciones directas) provenientes de estaciones meteorológicas, sondeos atmosféricos, boyas y torres de gradiente. (Díaz Esteban & Díaz Rodríguez, 2012)

Se utilizó una interpolación lineal para las variables continuas, presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, temperatura del aire a 2 m, humedad relativa a 2 m y velocidad del viento a 10 m, e interpolación utilizando vecino más cercano para la variable discontinua, acumulado de precipitación en superficie.

Estadísticos para la validación del pronóstico de las variables.

Para la validación presentada se optó por utilizar estadísticos tales como la raíz del error medio cuadrático (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el error relativo medio (MRE), la correlación de Pearson y el sesgo (BIAS). Estos estadísticos permiten medir la precisión de la simulación (Apéndice A. Metodología Para La Evaluación Del Modelo de Pronóstico Meteorológico 2005; Jolliffe & Stephenson, 2003).

El análisis de los resultados de las medias aritméticas de las variables meteorológicas de estudio durante

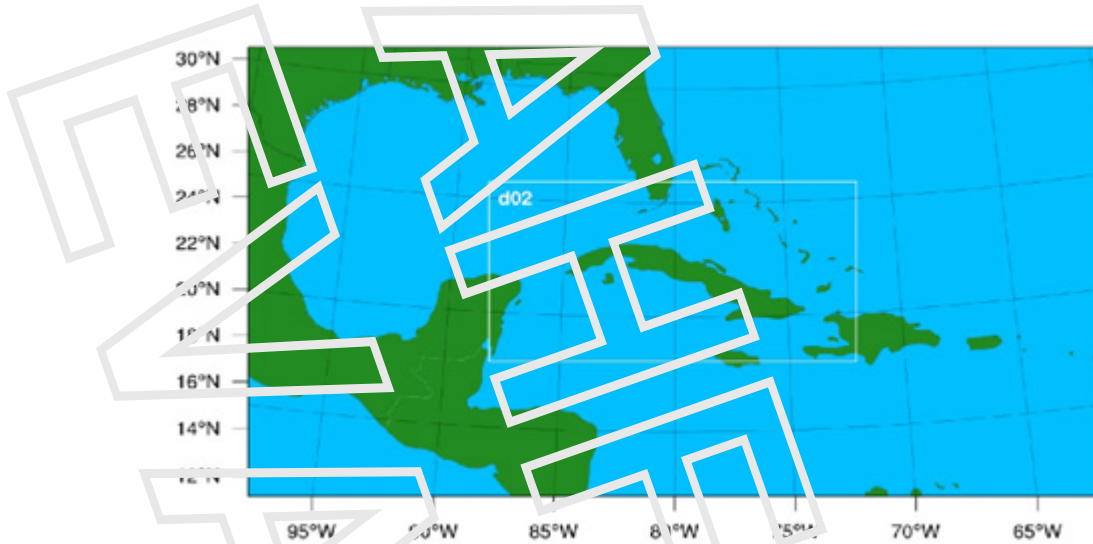


Figura 2.3. Dominios de la configuración del modelo WRF de SPNOA

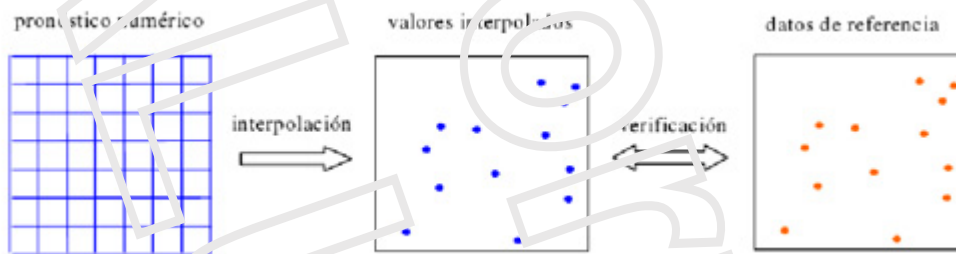


Figura 2.4. Esquema que representa el método de verificación en un punto.

los tres años, brinda una vista panorámica de cómo se comporta la media de las variables meteorológicas de estudio para toda Cuba. El análisis del sesgo muestra en qué plazos el modelo tiende a sobrestimar o subestimar el valor observado de la variable en igual horario.

Para la realización del presente trabajo, en la comparación con los datos de las estaciones meteorológicas del INSMET, fueron extraídas las variables estudiadas a partir de las salidas del modelo WRF en formato NetCDF, donde para cada punto de estación se emplearon métodos de interpolación lineal o vecino más cercano de acuerdo al tipo de variable. En el caso de los datos de observaciones se revisaron y filtraron los datos, principalmente la variable de presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar y acumulado de precipitación en superficie, dado a que en la base de datos de observaciones se detectaron valores con inconsistencias físicas y fueron necesarios desecharlos y dejar de comparar con el pronóstico del modelo. Una vez obtenido todos los resultados de las interpolaciones en cada variable meteorológica, para cada estación y para cada plazo de tiempo en los pronósticos numéricos, se procedió a comparar estos con los valores de las observaciones meteorológicas previamente revisados. Posteriormente, fueron aplicados los estadígrafos anteriormente expuestos, lo cual permitió obtener los gráficos y tablas que se muestran en el presente trabajo.

Todos los métodos de filtrado y organización de los datos para su posterior evaluación, fueron implementados por el autor y colaboradores en lenguaje de programación Python 2.7.

RESULTADOS

Evaluación puntual del pronóstico en 84 horas para todas las estaciones meteorológicas del país entre 2015-2017

Presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar (PNM)

La presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, presenta una marcha diaria caracterizada por dos mínimos, 09:00 UTC y 21:00 UTC, y dos máximos, 15:00 UTC y 03:00 UTC (Instituto de Meteorología, 2006), lo cual coincide en las 84 horas de los días promedio en estudio. El modelo logra representar la mencionada marcha subestimando los valores de presión para todo el periodo. El mejor valor representado es el mínimo de las 21:00 horas. El máximo promedio de las 03:00 UTC es pronosticado en un plazo de 3 horas posterior al máximo observado promedio. Los valores extremos son pronosticados con los mayores errores (Anexo A1[a], Figura 3.1.1).

El sesgo (BIAS) evidencia la tendencia del modelo a subestimar los valores máximos promedios pronosticados.

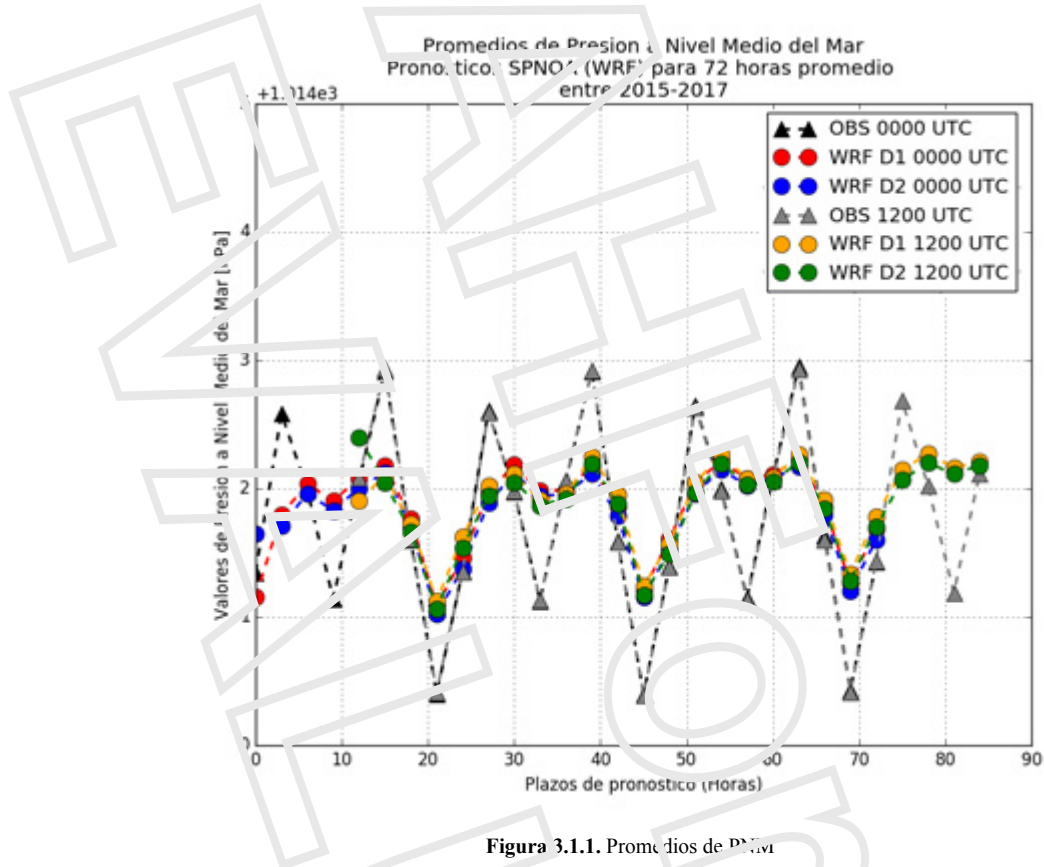


Figura 3.1.1. Promedios de PNM

ticados respecto a los valores promedios observados de la variable meteorológica en su marcha diaria y sobreestimar los mínimos; en ambos casos los valores de sesgo no superan el valor absoluto de 1 hPa para ningún plazo de pronóstico, por lo que realiza una buena representación numérica media de la variable. El sesgo de la variable meteorológica, para diferentes resoluciones y para corridas del modelo con diferentes horas de inicialización, no presenta diferencias significativas entre sí para todos los plazos de pronóstico de la presión atmosférica medida. Lo anterior demuestra que la precisión con la que el modelo puede predecir esta variable meteorológica es independiente de las resoluciones tomadas, así como de la hora de inicialización del mismo (Anexo A2[a]).

El error absoluto medio (MAE) de la variable meteorológica presenta valores menores a 1 hPa para todos los plazos de pronóstico para las dos corridas del modelo. (Anexo A3[a]).

Los valores de raíz del error medio cuadrático (RMSE) evidencia que en los plazos de las 00:00 y 03:00 UTC es donde el modelo presenta menor habilidad de pronóstico de la variable meteorológica, siendo el segundo el horario donde ocurre el segundo pico máximo de presión en el día. En los plazos con los mayores valores de RMSE existe una tendencia a su disminución, mientras la tendencia es al aumento en los restantes plazos, en la medida que el modelo avanza en el tiempo de pronóstico (Anexo A5[a]; Figura 3.1.2).

El error relativo medio (MRE) muestra valores menores de 0,1 % para todos los plazos de estudio, ello indica que los valores pronosticados son muy cercanos a los valores observados y, por tanto, con muy buena certidumbre. Existe una ligera tendencia al aumento del valor de MRE con el transcurso del tiempo de pronóstico, más no es significativa para el plazo de 84 horas de análisis (Anexo A5[a]).

La correlación de Pearson muestra valores entre 0,15 y 0,39. Ello indica una relación directa entre los valores observados promedio y los valores pronosticados en su comportamiento, aunque con una débil linealidad. Los mejores valores de correlación ocurren a las 00:00 y 12:00 UTC, con la característica de que el valor de correlación de las 12:00 UTC disminuye con el avance del periodo de tiempo del pronóstico medio. Los menores valores de correlación ocurren al comienzo de cada inicialización y se mantienen a las 00:00 UTC en cada uno de los días del pronóstico medio (Anexo A6[a]).

Temperatura del aire a 2 m (T 2 m)

En Cuba el máximo de temperatura ocurre alrededor del mediodía, 18:00 UTC, y las mínimas se registran al final de la madrugada, entre las 05:00 y las 12:00 UTC (Lecha et al., 1994). La variación de la temperatura observada en un día promedio entre 2015 y 2017 sigue la marcha del sol con un mínimo promedio a las 06:00 UTC y un máximo promedio a las 18:00 UTC. Los valores de la temperatura pro-

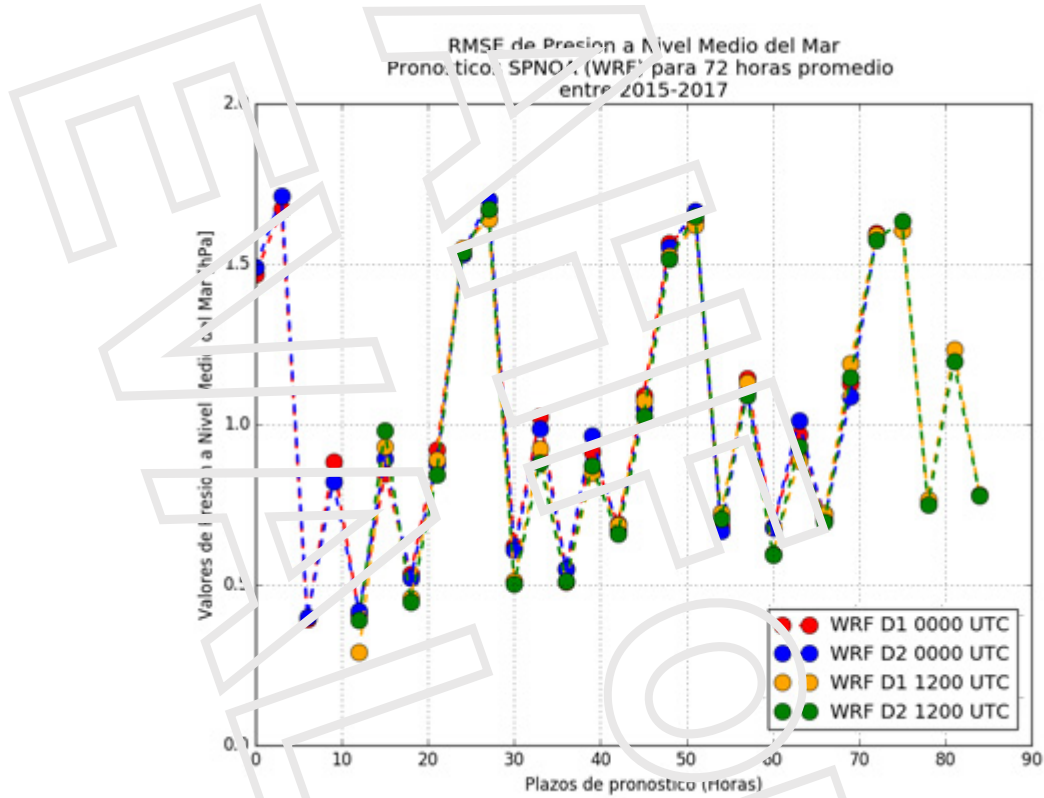


Figura 3.1.2. Raíz del error cuadrático medio de PNM.

medio del aire se encuentran entre 22 y 30°C. El modelo subestima los valores numéricos de la variable en los plazos más cálidos del día y la sobrestima en los horarios más fríos. Los mayores errores promedio de sobrestimación tienen valor entre 0,5 - 1,6 °C y ocurren a las 12:00 UTC, plazo inmediato posterior al del horario en que se observa el mínimo de la variable meteorológica en el día promedio. Los máximos errores por subestimación son del -0,8 °C y ocurren entre las 21:00 y las 00:00 UTC, los dos plazos inmediatos posteriores a donde se observa el máximo de la variable en su marcha diaria (Anexo A1[b] y A2[b]; Figura 3.2.1).

El mayor valor de error absoluto medio es de 1,5 °C en el primer plazo de la corrida con inicialización a las 12:00 UTC. Para el resto de los plazos, los mayores valores de error absoluto medio son de ~0,60 °C y se obtienen entre las 18:00 y las 00:00 UTC en cada uno de los días promedio dentro del periodo de 84 horas de pronóstico. Los menores valores de MAE (-0,1 °C) ocurren a las 03:00 y las 06:00 UTC (Anexo A3[b]).

La raíz del error medio cuadrático tiene su mayor valor en el rango de 1,0 a 1,7 °C. Estos máximos promedios ocurren al inicio de cada corrida del modelo y luego se mantienen a las 00:00 UTC en los siguientes plazos del pronóstico medio. De acuerdo a los bajos valores de RMSE, absoluto y cuadrático, se puede considerar una muy buena aproximación promedio la que da el modelo en su pronóstico (Anexo A4[b]).

El error relativo medio en el pronóstico medio de la variable meteorológica tiene un valor absoluto in-

ferior a 4% del valor observado para la mayoría de los plazos, con la excepción del primer plazo de la corrida del modelo que iniciada a las 12:00 UTC, de ~7%. Los máximos valores de error relativo medio por subestimación (~4%) se aprecian a las 00:00 UTC y los máximos valores por sobreestimación (~2%) a las 12:00 UTC (Anexo A5[b]).

La correlación Pearson del modelo en el pronóstico de la variable meteorológica temperatura del aire a 2 m oscila entre 0,5 y 0,7 de un máximo de uno; siendo por tanto esta la variable que mayor relación de linealidad muestra en su pronóstico medio respecto al promedio de valores observados en 84 horas. Los mínimos valores de correlación son se aprecian a las 15:00 UTC y a las 00:00 UTC. El horario de las 15:00 UTC coincide con el plazo inmediato anterior a aquel en donde se observa el máximo valor promedio de la variable en su marcha diaria y el de las 00:00 UTC es el plazo donde el valor de MAE es mayor en los tres días promedio de pronóstico. Las mayores correlaciones se aprecian entre las 06:00 y las 12:00 UTC, los plazos donde se observa el valor mínimo de temperatura. (Anexo A6[b] Figura 3.2.3)

Velocidad del viento a 10 m (V_{10})

La velocidad del viento sigue una marcha diaria con máximo en el plazo de pronóstico de las 21:00 UTC y mínima a las 09:00 UTC. Los valores extremos promedio pronosticados coinciden en horario con los valores promedio observados, excepto en el primer día

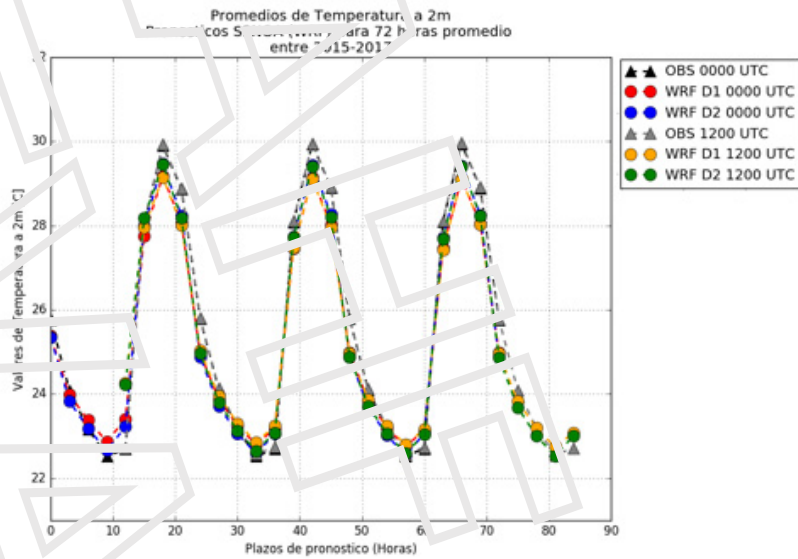


Figura 3.2.1. Promedios de T 2 m.

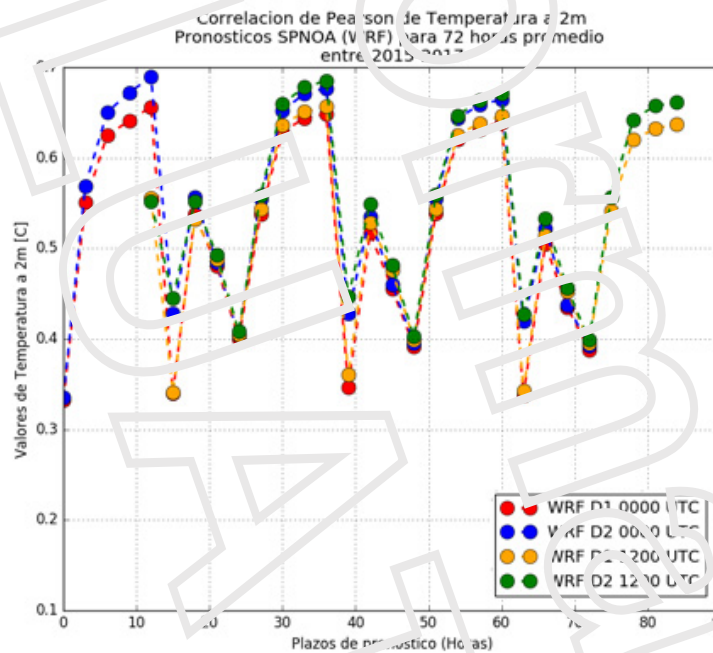


Figura 3.2.3. Correlacion de Pearson de T 2 m

de pronóstico de la corrida iniciada a las 00:00 UTC que se obtiene a las 18:00 UTC. Los valores máximos promedio observados son de ~12,6 km/h, mientras que los promedios pronosticados son de ~5,4 km/h; los mínimos promedios observados (~4,1 km/h) y los pronosticados (~3,4 km/h) son más cercanos entre sí en su valor (Anexo A1[c]; Figura 3.3.1).

Esta variable meteorológica es subestimada por el modelo en su pronóstico promedio de 84 horas para todos los plazos de análisis. El mayor valor de subestimación ocurre a las 21:00 UTC, donde el valor medio pronosticado llega a ser 7 unidades inferior al valor medio observado. Los menores subestimados se aprecian a las 09:00 UTC, horario en que se observan

los menores valores de velocidad del viento (Anexo A2[c]).

El error absoluto medio se entre 0,5 y 7,3 km/h, aproximadamente. El mayor valor de MAE se aprecia en el horario donde se pronostica la máxima velocidad promedio del viento y el menor valor en el horario donde se pronostica la mínima velocidad promedio (Anexo A3[c]).

La raíz del error medio cuadrático presenta valores entre 1,6 y 7,7 km/h, en correspondencia con el error absoluto medio. Las altas velocidades promedio presentan los mejores valores de RMSE, entre las 18:00 y las 21:00 UTC (Anexo A4[c]).

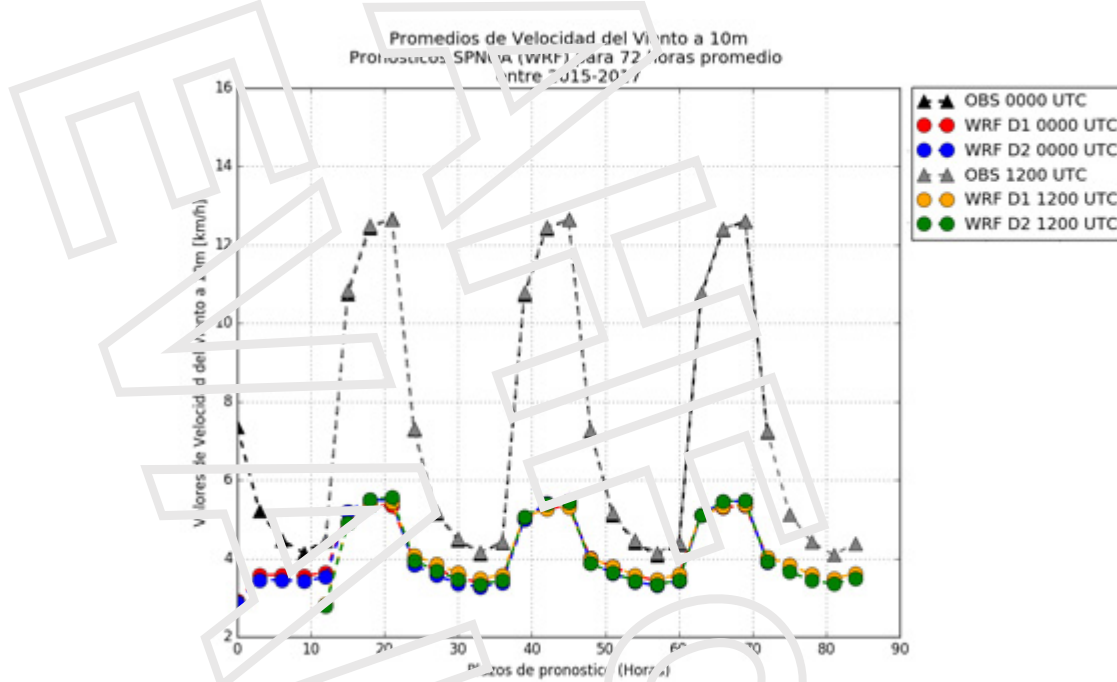


Figura 3.3.1. Promedios de v v 10 m

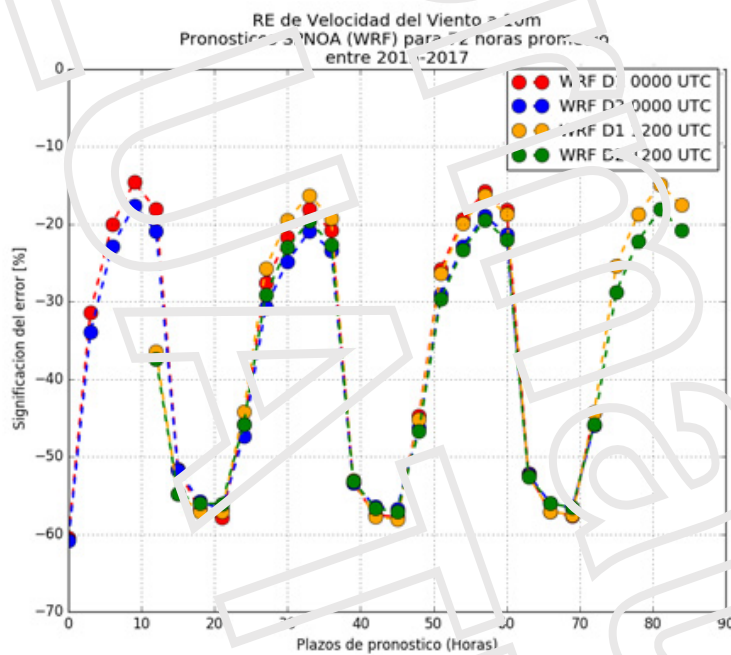


Figura 3.3.2. Error relativo medio de v v 10 m

La significación del error es alta, con valores absolutos de MRE entre el 10 y el 60 % de del valor promedio observado. Se evidencia una elevada subestimación de los valores pronosticados respecto a los valores observados, principalmente en los plazos donde se observan las mayores velocidades promedio del viento. (Anexo A5[c]; Figura 3.3.2).

La correlación presenta valores máximos de ~0,56. La relación entre los valores observados y los pronosticados es directa, para todos los plazos analizados, y con una linealidad de poca a ligera (Anexo A6[c]).

Humedad relativa a 2 m (Er 2 m)

Para la humedad relativa y la temperatura del aire coinciden los valores extremos promedio en horario, aunque inversamente. De esta forma, los máximos de la variable meteorológica son de esperar entre las 09:00 y las 12:00 UTC y los mínimos a las 18:00 UTC (Leckie et al., 1994). En el presente estudio, la humedad relativa tiene su máximo medio a las 09:00 UTC y un mínimo medio a las 18:00 UTC, tanto observados como pronosticados. El valor medio observado se en-

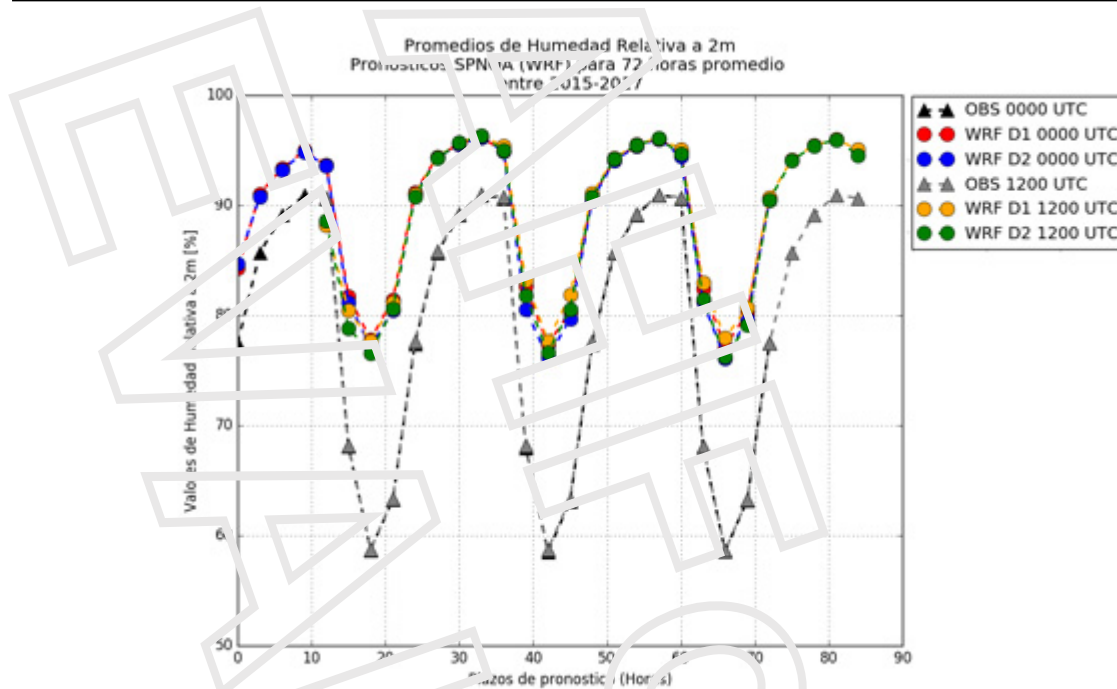


Figura 3.4.1. Promedios de Hr 2 m

cuentra entre 58 y 95%, mientras el pronosticado lo hace entre 77 y 96% (Anexo A[d]; Figura 3.4.1).

La variable es sobrestimada para todos los plazos en las 84 horas de pronóstico, con la excepción del primer plazo de pronóstico de la corrida del modelo, iniciada a las 12:00 UTC. El mayor valor de sesgo es de aproximadamente 19% y ocurre a las 18:00 UTC, horario en que se pronostica el mínimo de humedad (Anexo A2[d]).

El error absoluto medio se encuentre en el rango de 2 a 20 % de humedad relativa. Los mayores errores ocurren a las 18:00 UTC y los menores a las 12:00 UTC. (Anexo A3[d]).

La raíz del error medio cuadrático no presenta considerables diferencias numéricas respecto al error absoluto medio, lo cual se traduce en que existe persistencia en los errores promedios analizados o que los errores en los diferentes días de pronóstico de la variable meteorológica son muy similares entre sí lo cual evidencia que el modelo no pronostica con gran exactitud la humedad, sobre todo los mínimos (Anexo A4[d]).

La significación del error en el valor pronosticado es alta, con valores de MRE de 3 a 33 % de sobrestimación del valor observado. Los mayores valores de error relativo medio, entre 20 y 33 %, se encuentran en las 15:00 y las 21:00 UTC, horarios en se pronostican los mínimos promedio de humedad relativa (Anexo A5[d]; Figura 3.4.2).

La correlación de Pearson presenta valores entre 0 y 0,6. La mayoría de los plazos presenta valores de correlación inferiores a 0,4 lo que evidencia una baja relación lineal entre los valores pronosticados y observados. Los menores valores de correlación ocu-

rren entre las 00:00 y las 03:00 UTC, mientras que los de mayor linealidad ocurren a las 18:00 UTC, coincidiendo con el horario de máximo promedio de la variable meteorológica. La relación de linealidad tiende a la disminución en la medida que avanzan los plazos de pronóstico en el tiempo, para ambas corridas y dominios (Anexo A6[d]).

Acumulado de precipitación en superficie (APS)

Los promedios de acumulados de precipitación en superficie siguen una marcha diaria con valores máximos observados a las 06:00 UTC y pronosticados a las 21:00 UTC. Los valores mínimos se aprecian a las entre las 09:00 y las 12:00 UTC. Los valores de acumulado de precipitación oscilan en el rango de 0 a 2,5 mm/3h, pronosticados, y de 0 a 1,3 mm/3h, observados (Anexo A1[e]; Figura 3.5.1).

El sesgo de los valores pronosticados es positivo en la mayoría de los plazos de análisis; ello indica que predomina la sobrestimación de los valores de precipitación dado por el modelo respecto a los observados. Los mayores valores de sobrestimación ocurren en los dos plazos de pronóstico precedentes al máximo valor observado, 18:00 y 21:00 UTC, con valores entre 0,4 y 1,4 mm/3h. Los restantes plazos presentan valores de sesgo muy cercanos al cero, lo que se traduce en una mejor caída del pronóstico, aunque ha de tenerse en cuenta que son horarios con bajos acumulados promedio observados y pronosticados. Se observa un máximo de subestimación de los valores observados en los primeros plazos de cada corrida y otros valores poco significativos en horarios de las 00:00 y 03:00 UTC (Anexo A2[e]).

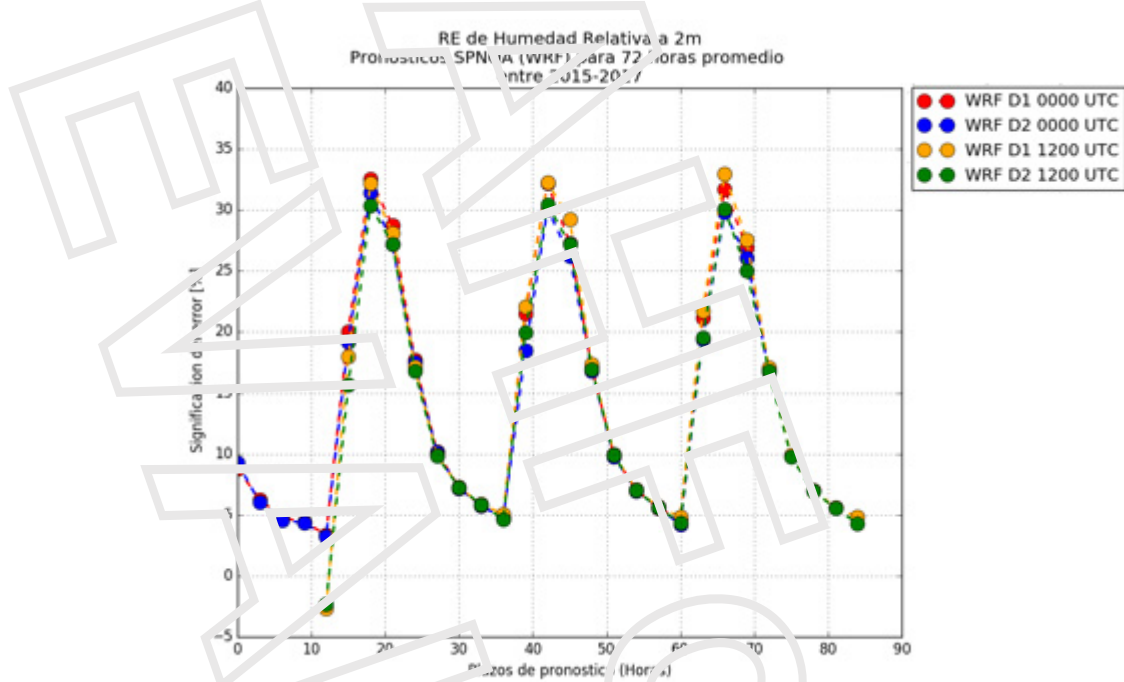


Figura 3.4.2. Error relativo medio de Hr 2 m

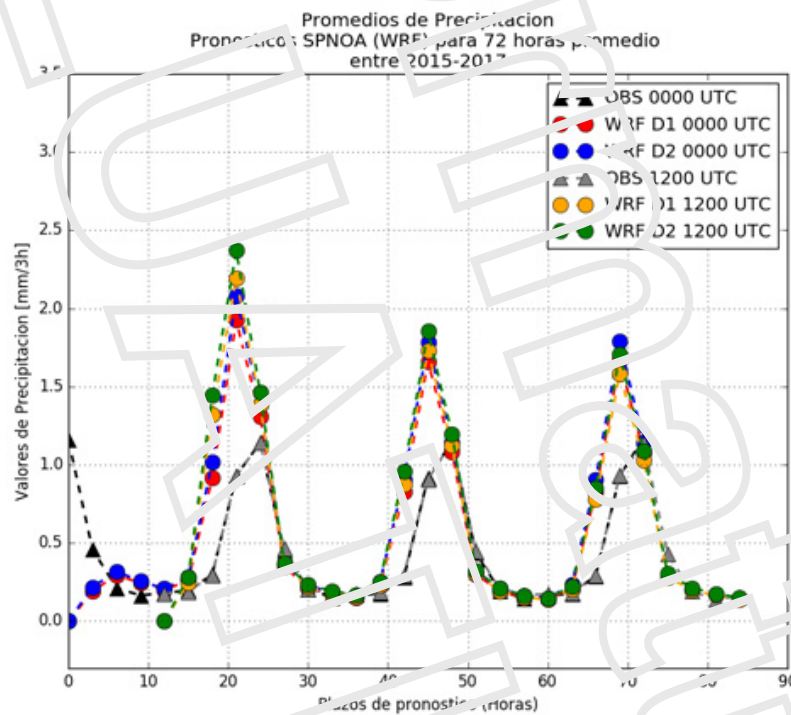


Figura 3.5.1. Promedios del Ar 2

El error absoluto medio se encuentra en el rango de 0 a 1,6 mm/3h. Los mayores valores se aprecian en el primer plazo de las corridas y en los horarios 18:00 y 21:00 UTC, con un pico máximo en las primeras 24 horas, aproximadamente ~1,5 mm/3h. Los valores de error absoluto medio disminuyen en la medida que avanzan los plazos de pronóstico con máximos secundarios entre 0,7 y 0,9 mm/3h en las próximas 24 y 48 horas (Anexo A3[e]).

La raíz del error medio cuadrático en los plazos entre las 18:00 UTC y las 03:00 UTC presenta sus mayores valores entre 0,8 y 2,1 mm/h, lo que evidencia que el modelo presenta las mayores vulnerabilidades en el pronóstico de la variable en prácticamente todos los horarios de la mañana y tarde-noche. Son, por tanto, los horarios nocturnos en los que el modelo pronostica con mayor exactitud la precipitación. Aunque sería de tener en cuenta que son estos horarios donde

es menor la cantidad de precipitaciones que ocurren o son de poca intensidad (Anexo A4[e]; Figura 3.5.2)

El error relativo medio es alto, principalmente en las primeras 24 horas del pronóstico medio en los horarios comprendidos entre las 18:00 y las 21:00 UTC, donde llegan a ser de alrededor de 400 % en la corrida con inicialización a las 12:00 UTC. Este valor extremo disminuye a alrededor de la mitad en los máximos secundarios asociados en los días de pronóstico posteriores. Los valores de significación del error (MRE), son menores en resto de los plazos con bajos valores

de acumulado promedio de precipitación, aunque el valor de error relativo medio se encuentra de entre 1 y 40% por lo que no son errores despreciables. Esto se traduce en que el modelo presenta una baja capacidad predictiva para la variable en cuestión (Anexo A5[e]; Figura 3.5.3).

Los valores de correlación son muy bajos, inferiores a 0,3 para todos los plazos de pronóstico, con tendencia a la disminución en la medida que avanzan los plazos de pronóstico. (Anexo A6[e]).

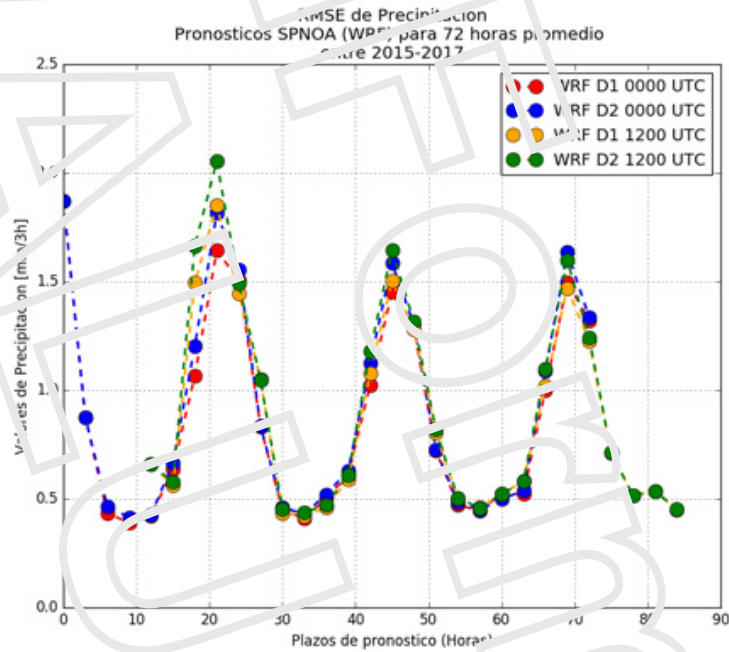


Figura 3.5.2. Rate del error cuadrático medio del APS

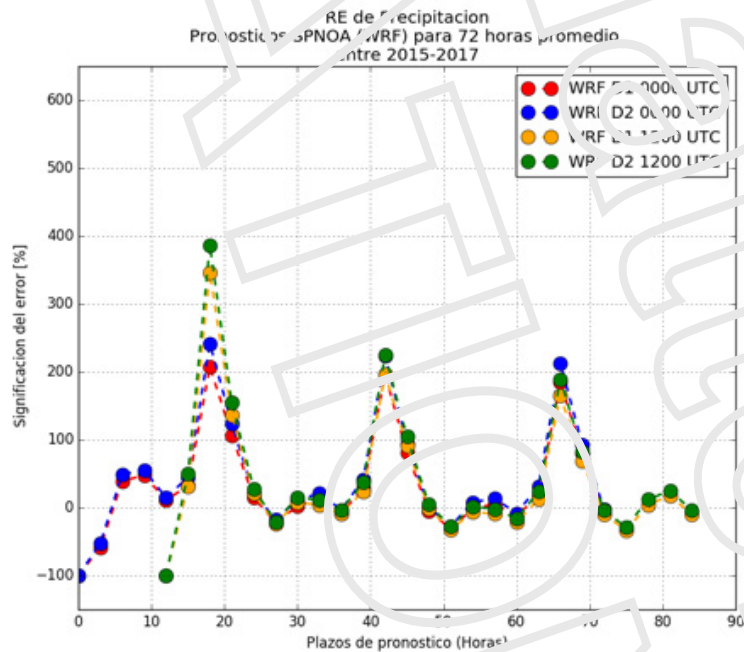


Figura 3.5.3. Error relativo medio de' APS

Comparación entre los valores estadísticos obtenidos en cada pronóstico medio dado por el modelo en estudio para sus dominios de resolución

Presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar

El error absoluto medio calculado muestra valores similares entre ambos dominios, con diferencias del orden de 0,1 hPa entre un dominio y otro. El error absoluto medio es superior en el dominio de 18 km de resolución para la mayoría de los plazos de estudio mientras a las 03:00 UTC y 15:00 UTC, horarios donde se observan las máximas presiones del día promedio, los valores de MAE en el dominio de 6 km de resolución son mayores que los encontrados en los datos medidos por el de 18 km de resolución en ambas corridas del modelo. (Anexo A3[a]).

Los valores de raíz del error medio cuadrático muestran diferencias del orden de ~0,1 hPa entre un dominio y otro, lo que confirma la habilidad del modelo en el pronóstico de la variable meteorológica por ambos dominios (Anexo A4[a]).

Los valores de error relativo medio son mayores en el dominio de menor resolución para la mayoría de los casos, con la excepción de las 03:00 UTC y las 15:00 UTC en los tres días de pronóstico y las 00:00 UTC y 12:00 UTC en los dos primeros días, para ambas corridas del modelo. Sin embargo, las diferencias son del orden de 0,01 %, por lo que la significación del error de los pronósticos obtenidos por ambos dominios se puede considerar igualmente buena (Anexo A5[a]).

Los valores de correlación de Pearson en el dominio de 18 km de resolución son inferiores a los del de 6 km de resolución para todos los plazos de análisis en ambas corridas, aunque las diferencias son del orden de 0,05, por lo que no se puede asumir una mejora significativa en la relación lineal del pronóstico dado por un dominio respecto al otro (Anexo A6[a]).

Temperatura del aire a 2 m

En el pronóstico de la temperatura del aire a 2 m, no se aprecian diferencias superiores a 0,5 °C entre los valores promedios pronosticados por cada uno de los dominios de estudio, ni entre los valores dados por la inicialización de las 00:00 UTC y la de las 12:00 UTC. El dominio de 18 km de resolución presenta mayor error absoluto medio que el dominio de 6 km de resolución en la mayoría de los casos, exceptuando los horarios de las 00:00 UTC, 03:00 UTC y 06:00 UTC; horarios donde ocurre la disminución del valor de la temperatura en su marcha diaria en ambas corridas. Las diferencias entre los errores absolutos de ambos dominios son inferiores a 0,3 °C, por lo que la habilidad de pronóstico de la temperatura del aire es similar entre ellos (Anexo A3[b]).

El dominio de 18 km de resolución presenta mayor raíz del error medio cuadrático en la mayoría de los casos, exceptuando los horarios de las 00:00 UTC, 03:00 UTC y 06:00 UTC, dicho comportamiento es igual para ambas corridas del modelo. Las diferencias de valor entre los dominios son de alrededor de 0,3 °C, lo que reafirma la semejanza de habilidad de pronóstico entre los dominios (Anexo A4[b]).

Los valores absolutos de error relativo medio del pronóstico dado por ambos dominios muestran diferencias inferiores a 1,5%. La significación del error es mayor en el dominio de 18 km de resolución para la mayoría de los plazos de análisis, con la excepción de las 00:00 UTC, 03:00 UTC y 06:00 UTC, tanto en la corrida con inicialización a las 00:00 UTC como en la de las 12:00 UTC (Anexo A5[b]).

La correlación de Pearson es mayor en el dominio de 18 km de resolución solamente en el primer plazo de la corrida del modelo con inicialización a las 12:00 UTC. La diferencia en los valores dados por cada dominio es de alrededor a 0,1 lo que implica que el pronóstico medio dado por ambos presenta una relación de linealidad con respecto a los valores observados promedio semejante (Anexo A6[b]).

Velocidad del viento a 10 m

La velocidad del viento presenta mayor error absoluto medio en los valores del pronóstico medio dados por el dominio de 18 km de resolución solo en los plazos con horario de 18:00 UTC y 21:00 UTC, en ambas corridas del modelo. En estos horarios se observan los mayores valores de velocidad y los mayores errores absolutos de la variable en su marcha diaria promedio. La diferencia de valor de MAE entre los pronósticos dados por ambos dominios de resolución es menor a 1 km/h, por lo que se puede asumir que ambos tienen igual habilidad en el pronóstico de la variable meteorológica (Anexo A4[c]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en el dominio de 18 km de resolución en los horarios de las 18:00 UTC y 21:00 UTC, horarios con los mayores errores cuadráticos de la variable en su marcha diaria, presentando igual comportamiento en ambas inicializaciones. Las diferencias de valor de la raíz del error medio cuadrático entre ambos dominios son inferiores a 0,5 km/h (Anexo A4[c]).

Los errores relativos de los valores pronosticados por el modelo en su dominio de 18 km de resolución tienen mayor valor absoluto solo a las 18:00 UTC y 21:00 UTC, horarios donde se pronostican los máximos promedio de la variable meteorológica. La diferencia entre los valores obtenidos es inferior a 3%. Dicho comportamiento es igual en ambas corridas del modelo (Anexo A5[c]).

La correlación de Pearson muestra valores similares para todos los plazos del pronóstico medio, con diferencias menores a 0,3 (Anexo A6[c]).

Humedad relativa a 2 m

El error absoluto es ligeramente mayor ($\sim 1\%$) en el pronóstico obtenido en el dominio de 18 km de resolución para la mayoría de los plazos de análisis en ambas corridas del modelo (Anexo A3[d]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en el dominio de 18 km de resolución en la mayoría de los plazos de análisis en ambas corridas con diferencia de valor de $\sim 1\%$ (Anexo A4[d]).

Los errores relativos de la variable meteorológica son mayores en el dominio de 18 km de resolución para la mayoría de los plazos de pronóstico con diferencias inferiores a 1% entre los resultados obtenidos por cada dominio del modelo (Anexo A5[d]).

Los valores de correlación de Pearson no muestran diferencias significativas entre los valores de pronóstico medio dado por cada dominio de resolución ($\sim 0,05$), por lo que se puede asumir una correlación de similar linealidad para los datos obtenidos en ambos casos (Anexo A6[d]).

Acumulado de precipitación en superficie

En el estudio del acumulado de precipitación en superficie, el error absoluto es mayor en el dominio de 18 km de resolución solo en horarios de poca precipitación, 00:00 y 03:00 UTC, aunque las diferencias en los valores de error absoluto medio dado por ambos dominios es menor a 0,3 mm/3h para todos los casos. El anterior comportamiento ocurre en ambas corridas del modelo (Anexo A3[e]).

La raíz del error medio cuadrático encontrado en los valores dados por cada uno de los dominios de resolución presentan diferencias menores a 0,2 mm/3h para todos los casos (Anexo A4[e]).

La significación del error es variable en su comportamiento entre los plazos y las corridas del modelo. Los mayores valores de error relativo medio aparecen en el dominio de 6 km de resolución para la mayoría de los casos, siendo los de las 18:00 y 21:00 UTC los más notables pues en ellos se aprecian los mayores valores de error relativo medio y la diferencia absoluta entre los valores de MRE encontrado para cada salida son de hasta un 47% (Anexo A5[e]).

Los valores de correlación de Pearson son inferiores a 0,3 para todos los casos de análisis y las diferencias entre los valores obtenidos en los plazos promedio dados por cada dominio de resolución son inferiores a 0,1; por lo tanto, no existen diferencias sustanciales en la linealidad de ambos pronósticos (Anexo A6[e]).

Comparación entre los valores estadísticos contenidos en cada pronóstico medio dado por el modelo en estudio para sus dos horas de corrida.

Presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar

El error absoluto medio de la presión en los valores pronosticados por la corrida con inicialización a las 12:00 UTC son mayores a los encontrados en la corrida con inicialización a las 00:00 UTC en la mayoría de los casos de estudio. No se aprecia una diferencia significativa ($\sim 0,1$ hPa) en la habilidad de pronóstico del modelo, entre las dos corridas, 00:00 y 12:00 UTC (Anexo A3[a]).

La raíz del error medio cuadrático, sin embargo, es mayor en la corrida inicializada a las 00:00 UTC para la mayoría de los plazos de análisis para ambos dominios de resolución (Anexo A4[a]).

La significación del error es mayor en los valores obtenidos por la corrida de las 12:00 UTC en la mayoría de los plazos de pronóstico promedio para ambos dominios de resolución. Las diferencias de error relativo medio entre los valores obtenidos en cada corrida son de 0,01 aproximadamente (Anexo A5[a]).

La correlación de Pearson es mayor en los datos obtenidos para el pronóstico medio de la corrida del modelo con inicialización a las 12:00 UTC en la mayoría de los plazos de análisis para ambos dominios. Las diferencias en los valores de correlación son menores a 0,5 para todos los casos (Anexo A6[a]).

Temperatura del aire a 2 m

El error absoluto medio de la temperatura del aire en los datos del pronóstico medio es mayor en los valores dados por la corrida con inicialización a las 12:00 UTC para la mayoría de los plazos de estudio en ambos dominios de resolución. Las diferencias en los valores de MAE obtenidos son del orden de 0,2 °C en todos los casos con la excepción del primer plazo de pronóstico de la corrida de las 12:00 UTC, donde el error absoluto medio llega a ser de $\sim 0,8$ °C (Anexo A3[b]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en la corrida de las 00:00 UTC en la mayoría de los casos de análisis para ambos dominios, con diferencia en los valores de RMSE obtenido en cada inicialización de entre 0,1 y 0,5 °C (Anexo A4[b]).

La significación del error es mayor en la corrida con inicialización del modelo a las 12:00 UTC en la mayoría de los casos de análisis para ambos dominios. Estos valores de error relativo medio muestran pequeñas diferencias en todos los plazos de estudio con valores absolutos entre 0,5 y 3%, lo que verifica que no existen grandes diferencias en la habilidad de pronóstico del modelo respecto a la corrida que se emplee (Anexo A5[b]).

La correlación de Pearson es mayor en la inicialización del modelo de las 12:00 UTC en la mayoría de casos de análisis para ambos dominios con diferencias entre ellas inferiores a 0,1 para todos los casos (Anexo A6[b]).

Velocidad del viento a 10 m

El error absoluto medio en la corrida con inicialización a las 00:00 UTC es mayor en los horarios comprendidos entre las primeras 21:00 UTC y las 12:00 UTC, del total de plazos de comparación, para ambos dominios y en las últimas 21:00 UTC en el dominio de 18 km de resolución; siendo estos casos la minoría del total estudiados en ambos dominios. Para todos los casos de estudio las diferencias de error absoluto medio obtenido en los valores de ambas corridas no muestran diferencias superiores a 1 km/h en ninguno de los plazos analizados (Anexo A3[c]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en la corrida del modelo de las 12:00 UTC en la mayoría de casos de análisis para ambos dominios, coincidiendo estos en horario, así como en la cantidad de ocurrencias. Las diferencias en los valores de RMSE obtenidos para ambas corridas son menores a 1 km/h para todos los plazos de pronóstico, por lo que no existen grandes diferencias en el peso de los errores del pronóstico medio (Anexo A4[c]).

Los valores de error relativo medio muestran diferencias absolutas entre 1 y 4% en los resultados obtenidos por las dos corridas del modelo para la mayoría de los casos. No se aprecia una preferencia marcada en aparecer los mayores valores de MRE en una corrida u otra, lo que verifica que ambas presentan valores con similar significación del error respecto a los valores medios observados (Anexo A5[c]).

La correlación de Pearson es mayor en la inicialización del modelo de las 12:00 UTC para la mayoría de casos de análisis en ambos dominios de resolución, con igual cantidad de estos casos en ambos dominios. Las diferencias de valor entre las correlaciones obtenidas para los valores de pronóstico dada en cada corrida son inferiores a 0,6 para todos los plazos (Anexo A6[c]).

Humedad relativa a 2 m

En la corrida con inicialización a las 12:00 UTC el error absoluto medio es mayor en la mayoría de los plazos para ambos dominios de resolución del modelo. Se pueden apreciar que los primeros plazos de estudio los valores de MAE son mayores en los valores medios obtenidos por la corrida de las 00:00 UTC para ambos dominios. La diferencia en los valores de MAE obtenido por ambos dominios es inferior a 1% para todos los plazos de pronóstico en ambos dominios de resolución (Anexo A3[d]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en la corrida del modelo de las 12:00 UTC en una ligera mayoría de casos de análisis para ambos dominios, coincidiendo algunos en el horario. Las diferencias en los valores de RMSE obtenidos son inferiores a 0,5 % para todos los casos plazos del pronóstico medio obtenido (Anexo A4[d]).

El error relativo medio posee mayor valor absoluto en los datos promedio obtenidos en la corrida del modelo inicializado a las 12:00 UTC en la mayoría de plazos de pronóstico en análisis para ambos dominios de resolución. Las diferencias absolutas de los valores medios en ambas corridas para igual plazo se encuentran entre 1 y 3% (Anexo A5[d]).

La correlación de Pearson es mayor en la corrida con inicialización del modelo a las 12:00 UTC en la mayoría de casos de análisis para ambos dominios de resolución. La diferencia de valor de correlación entre las corridas no supera el valor de 0,1 (Anexo A6[d]).

Acumulado de precipitación a 2 m

En las primeras 24 horas se observa que el mayor error absoluto medio lo muestra la corrida con inicialización a las 12:00 UTC, lo cual está relacionado con que el modelo aún se encuentra en proceso de ajuste. En las siguientes 24 horas los mayores valores de MAE se aprecian en el dominio de 6 km de resolución en ambas corridas. Los plazos en que el error absoluto medio en la corrida con inicialización a las 00:00 UTC es mayor son minoría en el total de casos de estudio, con igual cantidad de estos casos en ambos dominios aunque no siempre coincidentes en horario. La diferencia de valor de error absoluto medio entre ambas corridas es inferior a 0,2 mm/3h para todos los plazos de estudio (Anexo A3[e]).

La raíz del error medio cuadrático es mayor en la corrida del modelo de las 00:00 UTC en la minoría de casos de análisis para ambos dominios, por no más de 0,5 mm/3h (Anexo A4[e]).

La significación del error es mayor en la corrida con inicialización del modelo a las 12:00 UTC en la mayoría de casos de análisis para ambos dominios, con diferencia de valor que sobrepasa el valor absoluto de 100% de error relativo medio en los primeros plazos de la corrida de las 12:00 UTC respecto a las de las 00:00 UTC (Anexo A5[e]).

La correlación de Pearson es mayor en la corrida del modelo de las 00:00 UTC en la minoría de casos de análisis para ambos dominios. Los valores de correlación obtenidos por cada corrida son similares entre sí, no superando la diferencia de 0,3 (Anexo A6[e]).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se arribó a las siguientes conclusiones:

- El comportamiento observado durante el rango de pronóstico de 84 horas promedio de la presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar osciló entre 1014 - 1017 hPa y los de la temperatura del aire a 2m entre 22,5 - 30 °C, mientras que los valores pronosticados oscilaron entre 1015 - 1016,5 hPa y 22,5 - 29,5 °C, respectivamente. Por otra parte, el comportamiento de los valores promedio observados de la velocidad del viento a 10 m, humedad relativa a 2 m y acumulado de precipitaciones en superficie estuvieron entre 4,0 - 12,7 km/h, 59,5 - 91 %, 0,1 - 1,2 mm/2h y los pronosticados entre 2,7 - 5,6 km/h, 76 - 96,4 % y 0 - 2,4 mm/3h, respectivamente. Lo cual permite apreciar que el modelo pronostica con mayor habilidad la presión atmosférica al nivel medio del mar y la temperatura del aire a 2m, lo cual es consecuente en la región tropical donde los gradientes de ambas variables meteorológicas son débiles la mayor parte del tiempo.
- Los valores de raíz del error cuadrático medio no superan las 2 unidades para la presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar y temperatura del aire a 2m. En los casos de la velocidad del viento a 10 m, humedad relativa a 2 m y acumulado de precipitaciones en superficie los valores de RMSE son de hasta 7,7 km/h, 9,8 % y 2,1 mm/3h, en cada caso.
- La significación media de los errores obtenidos en el pronóstico respecto a los valores medios observados es muy baja para la presión atmosférica ajustada al nivel medio del mar, con un valor absoluto máximo de 0,1 % de error relativo medio. La significación del error aumenta hasta máximos de 6,8 % en la temperatura del aire a 2 m, 32,9 % en la humedad relativa a 2 m, 60,8 % en la velocidad del viento a 10 m y hasta 386,8 % en el acumulado de precipitaciones en superficie, siendo esta última la variable meteorológica que el modelo pronostica con menor habilidad.
- Los mayores valores de correlación de Pearson los muestra el pronóstico medio de la temperatura del aire a 2m (0,33 - 0,69) y los menores valores el acumulado de precipitaciones en superficie (0,1 - 0,3). El resto de las variables meteorológica en estudio presentan valores de correlación entre 0,16 - 0,57. En resumen, la correlación de Pearson entre los valores medios pronosticados y los observados es directa para todos los casos y se encuentra en rango entre bajo y medio.
- El comportamiento promedio de los pronósticos de las corridas diarias del modelo (00:00 y 12:00 UTC) y los dos dominios de resolución espacial (6 y 18 km), en su comparación, brindaron valores de similar calidad en los datos pronosticados para todas las variables meteorológicas de estudio. Por lo tanto, la precisión del modelo en el pronóstico de las cinco variables meteorológicas en estudio tiene un comportamiento que es independiente del dominio de resolución y de la corrida del modelo de la cual se tomen los datos.
- A modo de colofón, se considera que el modelo es adecuado para su uso en el pronóstico meteorológico de forma operativa, aunque se aprecia que aún son necesarios más estudios sobre su configuración de parametrizaciones físicas en casos de estudios con condiciones anómalas y de eventos extremos, pues el modelo muestra una menor habilidad precisamente en los horarios donde se miden los valores máximos y mínimos de las variables meteorológicas analizadas, principalmente, los acumulados de precipitaciones en superficie y la velocidad del viento a 10 m.

REFERENCIAS

- Apéndice A : Metodología para la evaluación del modelo de pronóstico meteorológico. (2005).
- Díaz Esteban, Y., & Díaz Rodríguez, O. (2012). *Evaluación del pronóstico numérico del tiempo a corto plazo para Cuba con el modelo de mesoescala MM5V3*.
- Instituto de Meteorología. (2006). Tabloide de Universidad para Todos: Elementos de Meteorología y Climatología (1ra ed.). In *Academia*. [http://ftp2.reduniv.edu.cu/VIDEOCURSOS/MATERIALES_CURSOS_UNIVERSIDAD_PARA_TODOS/TABLOIDES/Elementos de Meteorología y Climatología/Elementos de Meteorología y Climatología.pdf](http://ftp2.reduniv.edu.cu/VIDEOCURSOS/MATERIALES_CURSOS_UNIVERSIDAD_PARA_TODOS/TABLOIDES/Elementos%20de%20Meteorolog%C3%ADa%20y%20Climatolog%C3%ADa.pdf)
- Jolliffe, I. T. (University of A. & Stephenson, D. B. (University of R. (Eds.) (2003). *Forecast verification. A practitioner's guide in atmospheric science*.
- Lech, J. B., Paz, L. R., & Leopold Pedroso, B. (1994). *El clima de Cuba* (F. J. Caper & M. E. Zulueta (Eds.)). Editorial Academia.
- Pérez-Beito, A., Mitrani-Arenal, I., Díaz-Rodríguez, O. O., Wettre, C., & Hole, L. R. (2019). *A numerical prediction system combining ocean, waves and atmosphere models in the Inter-American Sea and Cuba*. 25(1), 109-120.
- Enrique Omar Sánchez Pérez. Departamento de Procesos Físicos, Instituto de Ciencias del Mar, Cuba. Email: enrique@icimar.cu Lourdes Álvarez Escudero. Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba. Email: lourdes.alvarez@insmet.cu Adrian Luis Ferrer Hernández. Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba. Email: adrian.ferrer@insmet.cu
- Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.
- Contribución de los autores:** Concepción de ideas y revisión del artículo: Lourdes Álvarez Escudero. Elaboración, recopilación y procesamiento de datos y revisión de artículo: Enrique Omar Sánchez Pérez. Concepción de ideas y revisión del artículo: Adrian Luis Ferrer Hernández. Procesamiento de datos y revisión crítica del documento.
- Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Anexo 1. Valores estadísticos obtenidos del análisis de los datos observados y pronosticados en 72 horas promediadas con los datos observados o pronosticados, respectivamente, en cada día del periodo 2015-2017

Leyenda:

- OBS= Valores observados promedio
- D1= Valores pronosticados promedio en el dominio de 18 Km de resolución
- D2= Valores pronosticados promedio en el dominio de 6 Km de resolución
- 00:00 UTC= Valores obtenidos en la corrida del modelo iniciado a las 00:00 UTC
- 12:00 UTC= Valores obtenidos en la corrida del modelo iniciado a las 12:00 UTC
- Horario= Hora a la que se obtuvo el valor promedio dentro del periodo de 72 horas en análisis
- *Columnas de Horario*

Horario de máximo valor observado de la variable en su marcha promedio Horario de mínimo valor observado de la variable en su marcha diario promedio

A1.Promedio

a).

Horario (UTC)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]					
	OBS.	00:00 UTC		12:00 UTC		
		D1	D2	D1	D2	
0	1015.55	1015.15	1015.65			
3	1016.58	1015.80	1015.71			
6	1015.99	1016.04	1015.95			
9	1015.14	1015.91	1015.83			
12	1016.06	1016.08	1016.00	1015.91	1016.40	
15	1016.91	1016.18	1016.13	1016.10	1016.04	
18	1015.50	1015.77	1015.70	1015.73	1015.67	
21	1014.40	1015.08	1015.02	1015.12	1015.06	
0	1015.55	1015.46	1015.38	1015.63	1015.54	
3	1015.61	1015.97	1015.59	1016.02	1015.94	
6	1015.98	1016.18	1016.12	1016.11	1016.05	
9	1015.13	1015.99	1015.94	1015.91	1015.87	
12	1016.06	1016.08	1016.00	1015.96	1015.92	
15	1016.92	1016.18	1016.13	1016.25	1016.19	
18	1015.60	1015.66	1015.79	1015.95	1015.88	
21	1014.40	1015.21	1015.15	1015.24	1015.17	
0	1015.40	1015.61	1015.52	1015.57	1015.49	
3	1016.65	1016.04	1015.96	1016.04	1015.97	
6	1016.00	1016.22	1016.15	1016.27	1016.20	
9	1015.15	1016.08	1016.03	1016.08	1016.03	
12	1016.09	1016.11	1016.08	1016.09	1016.06	
15	1016.95	1016.23	1016.18	1016.26	1016.21	
18	1015.63	1015.86	1015.79	1015.91	1015.84	
21	1014.43	1015.26	1015.20	1015.34	1015.28	
0	1015.43	1015.69	1015.60	1015.79	1015.70	
3	1016.69			1016.15	1016.07	
6	1016.02			1016.27	1016.20	
9	1015.19			1015.16	1016.11	
12	1016.12			1016.21	1016.18	

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2m [°C]				
	OBS	00:00 UTC		12:00 UTC	
		D1	D2	D1	D2
0	25.78	25.38	25.35		
3	24.05	23.99	23.83		
6	23.17	23.38	23.19		
9	22.52	22.37	22.66		
12	22.70	23.4	23.23	24.26	24.23
15	28.06	27.75	27.99	27.96	28.18
18	29.90	29.18	29.48	29.15	29.46
21	28.88	28.07	23.24	28.01	28.18
0	25.80	24.98	24.89	25.05	24.96
3	24.10	23.87	23.72	23.95	23.81
6	23.17	23.25	23.06	23.31	23.13
9	22.52	22.81	22.59	22.86	22.65
12	22.70	23.18	23.06	23.24	23.09
15	28.06	27.47	27.74	27.48	27.71
18	29.94	29.15	29.44	29.11	29.41
21	28.91	28.03	28.17	27.96	28.21
0	25.79	24.98	24.89	24.97	24.88
3	24.10	23.85	23.70	23.87	23.72
6	23.18	23.21	23.02	23.24	23.06
9	22.55	22.76	22.55	22.80	22.59
12	22.71	23.14	23.07	23.17	23.05
15	28.09	27.46	27.72	27.43	27.69
18	29.94	29.12	29.43	29.10	29.41
21	28.86	28.05	28.25	28.03	28.24
0	25.77	24.98	24.89	24.97	24.87
3	24.10			23.84	23.69
6	23.20			23.19	23.01
9	22.55			22.75	22.54
12	22.72			23.08	23.01

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]				
	OBS	00:00 UTC		12:00 UTC	
		D1	D2	D1	D2
0	7.35	2.91	2.88		
3	5.21	3.58	3.44		
6	4.47	3.58	3.45		
9	4.15	3.34	3.42		
12	4.46	3.62	3.53	2.83	2.78
15	10.76	5.20	5.19	4.90	4.90
18	12.44	5.57	5.51	5.37	5.50
21	12.68	5.35	5.47	5.43	5.56
0	7.29	3.95	3.34	4.08	3.96
3	5.16	3.73	3.57	3.86	3.68
6	4.48	3.51	3.37	3.63	3.47
9	4.13	3.38	3.27	3.48	3.34
12	4.41	3.50	3.38	3.58	3.44
15	10.73	5.01	5.00	5.07	5.06
18	12.42	5.27	5.11	5.26	5.40
21	12.64	5.34	5.47	5.30	5.42
0	7.25	4.00	3.89	3.99	3.88
3	5.11	3.86	3.63	3.80	3.64
6	4.41	3.56	3.40	3.58	3.43
9	4.09	3.44	3.21	3.47	3.34
12	4.36	3.57	3.43	3.59	3.44
15	10.70	5.11	5.10	5.11	5.11
18	12.39	5.31	5.45	5.33	5.46
21	12.60	5.34	5.47	5.36	5.48
0	7.22	4.02	3.91	4.04	3.92
3	5.14			3.83	3.66
6	4.42			3.60	3.44
9	4.09			3.48	3.35
12	4.19			3.62	3.48

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]				
	CBS	00:00 UTC		12:00 UTC	
		D1	D2	D1	D2
0	77.47	84.23	84.67		
3	83.67	91.05	90.82		
6	85.10	93.33	93.18		
9	89.92	94.96	94.86		
12	90.63	93.67	93.56	88.23	88.60
15	68.09	81.75	81.17	80.45	78.86
18	58.65	77.80	77.15	77.65	76.59
21	63.27	81.42	80.46	81.16	80.60
0	77.43	91.15	90.99	91.04	90.76
3	85.67	94.11	94.34	94.34	94.27
6	89.11	95.57	95.31	95.70	95.67
9	90.92	96.16	96.14	96.35	96.34
12	90.64	94.94	94.93	95.36	94.97
15	68.00	82.04	80.56	83.24	81.81
18	58.12	77.36	75.14	77.67	76.62
21	63.12	80.35	79.68	81.85	80.53
0	77.45	90.67	90.49	91.07	90.79
3	85.68	94.15	94.07	94.32	94.23
6	89.14	95.42	95.37	95.51	95.46
9	89.94	96.01	95.05	96.13	96.07
12	90.66	94.83	94.56	95.11	94.66
15	68.03	82.41	81.23	82.96	81.48
18	58.59	77.14	76.06	77.95	76.26
21	63.23	80.25	79.70	80.71	79.11
0	77.50	90.63	90.44	90.71	90.49
3	85.67			94.15	94.06
6	89.17			95.44	95.37
9	90.94			96.03	95.97
12	90.65			95.04	94.56

e).

Horario (UTC)	OBS	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
		00:00 UTC		12:00 UTC	
		P1	D2	D1	D2
0	1.16	0.00	0.00		
3	0.46	0.19	0.22		
6	0.21	0.30	0.32		
9	0.17	0.24	0.26		
12	0.18	0.20	0.21	0.00	0.00
15	0.20	0.26	0.28	0.25	0.28
18	0.29	0.92	1.02	1.32	1.44
21	0.93	1.92	2.08	2.20	2.37
0	1.14	1.31	1.33	1.39	1.46
3	0.45	0.35	0.37	0.36	0.37
6	0.21	0.21	0.23	0.22	0.23
9	0.15	0.17	0.19	0.18	0.19
12	0.17	0.15	0.16	0.16	0.17
15	0.18	0.23	0.25	0.23	0.26
18	0.29	0.83	0.91	0.88	0.96
21	0.92	1.66	1.78	1.73	1.85
0	1.14	1.08	1.14	1.13	1.20
3	0.43	0.30	0.32	0.30	0.32
6	0.20	0.19	0.21	0.19	0.21
9	0.14	0.15	0.16	0.15	0.16
12	0.16	0.14	0.15	0.14	0.15
15	0.18	0.21	0.23	0.20	0.22
18	0.29	0.83	0.91	0.78	0.85
21	0.92	1.67	1.79	1.58	1.71
0	1.17	1.08	1.14	1.03	1.09
3	0.45			0.28	0.31
6	0.19			0.20	0.21
9	0.14			0.17	0.18
12	0.16			0.14	0.15

A2.Sesgo (PLAS)

a)

Horario UTC)	PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]			
	0000 UTC		1200 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-0.19	0.30		
3	-0.79	-0.87		
6	0.05	-0.13		
9	0.77	0.69		
12	0.02	-0.06	-0.18	0.32
15	-0.13	-0.79	-0.84	-0.89
18	0.17	0.10	0.12	0.06
21	0.68	0.62	0.71	0.65
0	0.10	0.32	0.28	0.19
3	-0.64	-0.72	-0.57	-0.65
6	0.21	0.14	0.13	0.07
9	0.86	0.81	0.78	0.73
12	-0.07	-0.10	-0.11	-0.14
15	-0.74	-0.80	-0.67	-0.73
18	0.26	0.19	0.36	0.30
21	0.81	0.76	0.85	0.78
0	0.21	0.15	0.18	0.10
3	-0.61	-0.69	-0.59	-0.67
6	0.22	0.15	0.28	0.22
9	0.55	0.88	0.74	0.89
12	0.02	-0.01	0.01	-0.01
15	0.72	-0.78	-0.65	-0.72
18	0.23	0.16	0.11	0.24
21	0.85	0.77	0.92	0.87
0	0.26	0.18	0.24	0.26
3			-0.54	-0.62
6			0.25	0.18
9			0.93	0.93
12			0.10	0.06

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2m [°C]			
	0000 UTC		1200 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-0.40	-0.43		
3	-0.10	-0.20		
6	0.21	0.02		
9	0.35	0.14		
12	0.71	0.55	1.54	1.51
15	-0.30	-0.07	-0.12	0.10
18	-0.72	-0.43	-0.79	-0.48
21	-0.81	-0.64	-0.89	-0.72
0	-0.82	-0.91	-0.77	-0.85
3	-0.23	-0.38	-0.18	-0.33
6	0.08	-0.11	0.09	-0.09
9	0.28	0.07	0.28	0.08
12	0.49	0.37	0.50	0.34
15	-0.51	-0.35	-0.64	-0.40
18	-0.80	-0.50	-0.85	-0.55
21	-0.88	-0.64	-0.97	-0.72
0	-0.81	-0.90	-0.82	-0.91
3	-0.26	-0.41	-0.25	-0.40
6	0.03	-0.16	0.02	-0.16
9	0.25	0.02	0.23	0.02
12	0.43	0.36	0.43	0.31
15	-0.64	-0.37	-0.69	-0.43
18	-0.82	-0.51	-0.88	-0.56
21	-0.84	-0.61	-0.89	-0.68
0	-0.79	-0.89	-0.81	-0.91
3			0.21	-0.41
6			-0.01	-0.19
9			0.19	-0.02
12			0.36	0.29

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]			
	0000 UTC		1200 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-4.44	-4.47		
3	-1.64	-1.77		
6	-0.95	-1.02		
9	-0.01	-0.73		
12	-0.81	-0.25	-1.62	-1.66
15	-5.56	-5.57	-5.94	-5.94
18	-7.07	-6.93	-7.14	-7.01
21	-7.33	-7.21	-7.23	-7.10
0	-3.34	-3.45	-3.23	-3.35
3	-1.42	-1.58	-1.34	-1.51
6	-0.97	-1.11	-0.88	-1.04
9	-0.75	-0.25	-0.68	-0.82
12	-0.92	-1.03	-0.86	-1.00
15	-5.72	-5.73	-5.73	-5.74
18	-7.15	-7.00	-7.19	-7.05
21	-7.30	-7.18	-7.34	-7.22
0	-3.24	-3.25	-3.29	-3.39
3	-1.32	-1.49	-1.36	-1.53
6	-0.86	-1.01	-0.89	-1.04
9	-0.54	-0.77	-0.67	-0.80
12	-0.79	-0.25	-0.83	-0.97
15	-5.58	-5.59	-5.65	-5.66
18	-7.08	-6.94	-7.08	-6.95
21	-7.26	-7.13	-7.25	-7.14
0	-3.20	-3.32	-3.71	-3.33
3			-1.30	-1.48
6			-0.33	-0.98
9			-0.61	-0.74
12			-0.77	-0.91

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]			
	0000 UTC		1200 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	6.79	7.20		
3	5.38	5.15		
6	4.23	4.08		
9	4.05	3.95		
12	3.05	2.93	-2.45	-2.08
15	13.66	13.03	12.26	10.67
18	19.11	18.46	18.90	17.84
21	18.15	17.19	17.80	17.24
0	13.73	12.56	13.35	13.07
3	8.74	8.66	8.52	8.45
6	6.46	6.10	6.49	6.47
9	5.24	5.22	5.34	5.33
12	4.30	4.29	4.61	4.22
15	14.64	12.56	15.06	13.63
18	18.84	17.62	18.95	17.89
21	17.23	16.56	18.53	17.21
0	13.22	12.65	13.45	13.17
3	8.47	8.38	8.55	8.47
6	6.28	6.23	6.30	6.25
9	5.07	5.11	5.15	5.10
12	4.17	3.81	4.40	3.95
15	14.38	13.22	14.81	13.33
18	18.55	17.43	19.32	17.63
21	17.02	16.47	17.42	15.82
0	13.12	12.95	13.23	13.01
3			8.42	8.40
6			5.27	6.20
9			5.06	5.04
12			4.38	3.90

e).

Horario (UTC)	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
	0000 UTC		1200 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-1.16	-1.16		
3	-0.27	-0.24		
6	0.08	0.0		
9	0.08	0.0		
12	0.02	0.03	-0.18	-0.18
15	0.06	0.09	0.06	0.09
18	0.6	0.72	1.03	1.15
21	0.99	1.15	1.27	1.44
0	0.17	0.24	0.24	0.32
3	-0.10	0.08	-0.11	-0.10
6	0.00	0.02	0.02	0.03
9	0.02	0.03	0.01	0.02
12	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
15	0.05	0.07	0.05	0.07
18	0.53	0.53	0.58	0.67
21	0.74	0.86	0.82	0.95
0	-0.06	0.00	-0.02	0.05
3	-0.13	-0.12	-0.14	-0.12
6	0.00	0.02	0.01	0.00
9	0.01	0.02	-0.01	0.00
12	-0.02	-0.01	0.04	-0.03
15	0.03	0.06	0.02	0.04
18	0.54	0.62	0.40	0.56
21	0.74	0.86	0.65	0.77
0	-0.10	-0.03	-0.11	-0.05
3			0.11	-0.12
6			0.01	0.02
9			0.03	0.04
12			0.02	-0.01

A3. Error Absoluto Medio (MAE)

a)

Horario (UTC)	PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.19	0.30		
3	0.79	0.67		
6	0.05	0.03		
9	0.77	0.69		
12	0.02	0.06	0.18	0.32
15	0.23	0.75	0.84	0.89
18	0.17	0.10	0.12	0.06
21	0.68	0.62	0.71	0.65
0	0.10	0.32	0.28	0.19
3	0.64	0.72	0.57	0.65
6	0.21	0.14	0.13	0.07
9	0.86	0.81	0.78	0.73
12	0.07	0.10	0.11	0.14
15	0.74	0.80	0.67	0.73
18	0.26	0.19	0.36	0.30
21	0.81	0.76	0.85	0.78
0	0.21	0.15	0.18	0.10
3	0.61	0.69	0.59	0.67
6	0.22	0.15	0.28	0.22
9	0.55	0.88	0.74	0.89
12	0.02	0.01	0.01	0.01
15	0.72	0.78	0.65	0.72
18	0.23	0.16	0.11	0.24
21	0.85	0.77	0.92	0.87
0	0.26	0.18	0.24	0.26
3			0.54	0.62
6			0.25	0.18
9			0.95	0.93
12			0.10	0.06

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2m [°C]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.40	0.41		
3	0.10	0.20		
6	0.21	0.02		
9	0.35	0.14		
12	0.71	0.55	1.54	1.51
15	0.30	0.07	0.12	0.10
18	0.72	0.43	0.79	0.48
21	0.81	0.64	0.89	0.72
0	0.82	0.91	0.77	0.85
3	0.23	0.33	0.18	0.33
6	0.08	0.11	0.09	0.09
9	0.28	0.07	0.28	0.08
12	0.49	0.37	0.50	0.34
15	0.61	0.35	0.64	0.40
18	0.80	0.50	0.85	0.55
21	0.88	0.64	0.97	0.72
0	0.81	0.90	0.82	0.91
3	0.26	0.41	0.25	0.40
6	0.03	0.16	0.02	0.16
9	0.25	0.02	0.23	0.02
12	0.43	0.56	0.43	0.31
15	0.64	0.37	0.69	0.43
18	0.82	0.51	0.88	0.56
21	0.91	0.64	0.9	0.68
0	0.79	0.89	0.81	0.91
3			0.27	0.41
6			0.01	0.19
9			0.19	0.02
12			0.36	0.29

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	4.44	4.47		
3	1.67	1.77		
6	0.95	1.02		
9	0.61	0.73		
12	0.81	0.95	1.62	1.66
15	5.56	5.57	5.94	5.94
18	7.07	6.93	7.14	7.01
21	7.33	7.21	7.23	7.10
0	3.34	3.45	3.23	3.35
3	1.42	1.58	1.34	1.51
6	0.97	1.11	0.88	1.04
9	0.75	0.96	0.68	0.82
12	0.92	1.03	0.86	1.00
15	5.72	5.73	5.73	5.74
18	7.15	7.00	7.19	7.05
21	7.30	7.18	7.34	7.22
0	3.24	3.26	3.29	3.39
3	1.32	1.49	1.36	1.53
6	0.86	1.01	0.89	1.04
9	0.67	0.77	0.67	0.80
12	0.79	0.95	0.83	0.97
15	5.58	5.59	5.65	5.66
18	7.08	6.94	7.08	6.95
21	7.26	7.13	7.26	7.14
0	3.20	3.32	3.21	3.33
3			1.30	1.48
6			0.93	0.98
9			0.61	0.74
12			0.77	0.91

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	6.79	7.20		
3	5.38	5.15		
6	4.23	4.08		
9	4.05	3.95		
12	3.05	2.93	2.45	2.08
15	13.66	13.03	12.26	10.67
18	19.11	18.46	18.90	17.84
21	18.15	17.19	17.80	17.24
0	13.73	12.56	13.35	13.07
3	8.74	8.66	8.52	8.45
6	6.46	6.10	6.49	6.47
9	5.24	5.22	5.34	5.33
12	4.30	4.29	4.61	4.22
15	14.64	12.56	15.06	13.63
18	18.84	17.62	18.95	17.89
21	17.23	16.56	18.53	17.21
0	13.22	12.65	13.45	13.17
3	8.47	8.38	8.55	8.47
6	6.28	6.23	6.30	6.25
9	5.07	5.11	5.15	5.10
12	4.17	3.81	4.40	3.95
15	14.38	13.22	14.81	13.33
18	18.55	17.43	19.32	17.63
21	17.02	16.47	17.42	15.82
0	13.12	12.95	13.23	13.01
3			8.42	8.40
6			5.27	6.20
9			5.06	5.04
12			4.38	3.90

e).

Horario (UTC)	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	1.16	1.16		
3	0.27	0.24		
6	0.08	0.0		
9	0.08	0.0		
12	0.02	0.03	0.18	0.18
15	0.06	0.09	0.06	0.09
18	0.6	0.72	1.03	1.15
21	0.99	1.15	1.27	1.44
0	0.17	0.24	0.24	0.32
3	0.10	0.08	0.11	0.10
6	0.00	0.02	0.02	0.03
9	0.02	0.03	0.01	0.02
12	0.01	0.01	0.02	0.01
15	0.05	0.07	0.05	0.07
18	0.55	0.53	0.58	0.67
21	0.74	0.86	0.82	0.95
0	0.06	0.00	0.02	0.05
3	0.13	0.12	0.14	0.12
6	0.00	0.02	0.01	0.00
9	0.01	0.02	0.01	0.00
12	0.02	0.01	0.04	0.03
15	0.03	0.06	0.02	0.04
18	0.54	0.62	0.40	0.56
21	0.74	0.86	0.65	0.77
0	0.10	0.03	0.11	0.05
3			0.11	0.12
6			0.01	0.02
9			0.03	0.04
12			0.02	0.01

A4. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)

a)

Horario (UTC)	PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	1.47	1.49		
3	1.67	1.71		
6	0.39	0.40		
9	0.89	0.82		
12	0.41	0.42	0.29	0.39
15	0.55	0.55	0.93	0.98
18	0.54	0.52	0.46	0.45
21	0.92	0.88	0.89	0.84
0	1.54	1.53	1.55	1.54
3	1.67	1.70	1.64	1.67
6	0.62	0.61	0.51	0.50
9	1.03	0.99	0.92	0.88
12	0.55	0.55	0.51	0.51
15	0.62	0.97	0.85	0.87
18	0.69	0.67	0.69	0.66
21	1.09	1.05	1.08	1.02
0	1.56	1.53	1.52	1.52
3	1.64	1.67	1.62	1.65
6	0.68	0.67	0.72	0.70
9	1.14	1.10	1.13	1.09
12	0.68	0.68	0.60	0.59
15	0.97	1.01	0.82	0.93
18	0.72	0.70	0.72	0.70
21	1.13	1.09	1.19	1.15
0	1.50	1.59	1.50	1.58
3			1.61	1.63
6			0.77	0.75
9			1.24	1.20
12			0.78	0.78

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2 m [°C]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	1.06	1.07		
3	0.97	1.01		
6	0.65	0.58		
9	0.68	0.58		
12	0.92	0.77	1.66	1.63
15	0.67	0.59	0.51	0.50
18	0.98	0.78	1.01	0.78
21	1.20	1.09	1.23	1.11
0	1.30	1.37	1.25	1.30
3	0.92	0.93	0.88	0.93
6	0.65	0.65	0.62	0.60
9	0.70	0.65	0.67	0.60
12	0.80	0.72	0.79	0.68
15	0.92	0.76	0.92	0.77
18	1.06	0.88	1.10	0.89
21	1.32	1.17	1.35	1.17
0	1.36	1.42	1.34	1.40
3	0.98	1.04	0.95	1.00
6	0.70	0.71	0.66	0.67
9	0.74	0.69	0.71	0.66
12	0.80	0.76	0.79	0.72
15	0.96	0.81	0.98	0.81
18	1.14	0.94	1.15	0.92
21	1.27	1.25	1.17	1.23
0	1.39	1.46	1.19	1.45
3			0.99	1.05
6			0.72	0.74
9			0.74	0.71
12			0.79	0.76

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	5.29	5.51		
3	2.87	2.97		
6	1.84	1.96		
9	1.65	1.80		
12	1.74	1.85	2.47	2.51
15	6.19	6.22	6.54	6.56
18	7.49	7.39	7.53	7.42
21	7.71	7.59	7.59	7.48
0	4.20	4.29	4.15	4.25
3	2.55	2.66	2.67	2.77
6	1.93	2.06	1.87	2.00
9	1.81	1.92	1.76	1.84
12	1.85	1.96	1.79	1.91
15	6.37	6.39	6.36	6.39
18	7.56	7.45	7.61	7.50
21	7.69	7.58	7.73	7.63
0	4.03	4.11	4.15	4.24
3	2.34	2.45	2.50	2.60
6	1.87	1.99	1.99	2.10
9	1.71	1.81	1.86	1.97
12	1.73	1.85	1.88	1.99
15	6.25	6.28	6.33	6.36
18	7.51	7.40	7.54	7.42
21	7.66	7.55	7.67	7.57
0	4.04	4.13	4.02	4.10
3			2.24	2.45
6			1.85	2.00
9			1.73	1.83
12			1.78	1.89

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	8.05	8.37		
3	6.23	6.35		
6	4.92	4.82		
9	4.75	4.72		
12	4.06	3.95	3.67	3.44
15	14.23	13.57	12.94	11.44
18	19.50	18.88	19.29	18.26
21	18.00	17.72	18.33	17.77
0	14.47	14.52	14.09	13.82
3	9.28	9.22	9.04	8.98
6	6.90	6.66	6.88	6.88
9	5.69	5.67	5.74	5.73
12	4.82	4.79	5.04	4.72
15	15.13	13.11	15.53	14.12
18	19.24	18.06	19.34	18.31
21	17.81	17.15	19.04	17.73
0	14.06	12.58	14.23	13.96
3	9.07	8.99	9.12	9.04
6	6.73	6.69	6.71	6.67
9	5.59	5.62	5.61	5.57
12	4.75	4.49	4.91	4.54
15	14.97	13.85	15.32	13.88
18	19.05	18.01	19.75	18.10
21	17.69	17.14	17.03	16.50
0	13.00	13.80	14.04	13.83
3			9.07	9.02
6			5.71	6.66
9			5.55	5.55
12			4.96	4.57

e).

Horario (UTC)	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	1.87	1.87		
3	0.87	0.87		
6	0.43	0.43		
9	0.39	0.42		
12	0.42	0.43	0.66	0.66
15	0.64	0.66	0.56	0.58
18	1.00	1.20	1.50	1.66
21	1.64	1.81	1.85	2.05
0	1.51	1.56	1.45	1.49
3	0.83	0.83	1.05	1.05
6	0.45	0.46	0.43	0.45
9	0.41	0.43	0.42	0.44
12	0.50	0.52	0.46	0.47
15	0.61	0.63	0.59	0.61
18	1.02	1.12	1.08	1.18
21	1.45	1.58	1.50	1.65
0	1.28	1.30	1.28	1.31
3	0.72	0.73	0.81	0.82
6	0.47	0.48	0.50	0.50
9	0.44	0.45	0.46	0.46
12	0.55	0.50	0.52	0.52
15	0.52	0.54	0.58	0.58
18	1.00	1.09	1.02	1.10
21	1.50	1.64	1.47	1.60
0	1.32	1.34	1.23	1.24
3			0.71	0.71
6			0.51	0.52
9			0.54	0.54
12			0.45	0.45

A5. Error relativo medio (MRE)

a)

Horario (UTC)	PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-0.02	0.03		
3	-0.08	-0.09		
6	0.00	0.00		
9	0.08	0.07		
12	0.00	-0.01	-0.02	0.03
15	-0.07	-0.06	-0.08	-0.09
18	0.02	0.01	0.01	0.01
21	0.07	0.06	0.07	0.06
0	0.01	0.00	0.03	0.02
3	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06
6	0.02	0.01	0.01	0.01
9	0.08	0.08	0.08	0.07
12	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
15	-0.07	-0.08	-0.07	-0.07
18	0.03	0.02	0.04	0.03
21	0.08	0.07	0.08	0.08
0	0.02	0.01	0.02	0.01
3	-0.06	-0.07	-0.06	-0.07
6	0.02	0.01	0.03	0.02
9	0.09	0.09	0.09	0.09
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.07	-0.08	-0.07	-0.07
18	0.02	0.02	0.03	0.02
21	0.08	0.08	0.09	0.09
0	0.02	0.02	0.03	0.03
3			-0.05	-0.06
6			0.02	0.02
9			0.09	0.09
12			0.01	0.01

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2 m [°C]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-1.55	-1.65		
3	-0.43	-1.10		
6	0.51	0.08		
9	1.54	0.60		
12	3.11	2.52	6.78	6.64
15	-1.08	-0.25	-0.44	0.35
18	-2.41	-1.42	-2.63	-1.59
21	-2.79	-2.21	-3.08	-2.49
0	-3.16	-3.51	-2.97	-3.30
3	-0.96	-1.59	-0.76	-1.36
6	0.32	-0.48	0.37	-0.39
9	1.26	0.21	1.25	0.34
12	2.15	1.62	2.20	1.51
15	-2.18	-1.23	-2.28	-1.43
18	-2.65	-1.67	-2.83	-1.84
21	-3.03	-2.20	-3.36	-2.50
0	-3.13	-2.50	-3.19	-3.53
3	-1.06	-1.70	-1.04	-1.66
6	0.13	-0.67	0.10	-0.68
9	1.55	0.09	1.02	0.10
12	1.89	1.58	1.88	1.38
15	-2.27	-1.33	-2.46	-1.52
18	-2.74	-1.71	-2.92	-1.88
21	-2.91	-2.21	-3.08	-2.36
0	-3.05	-3.44	-3.16	-3.53
3			-1.10	-1.71
6			-0.04	-0.83
9			0.85	-0.07
12			1.59	1.27

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-50.43	-55.78		
3	-41.72	-33.95		
6	-19.55	-22.83		
9	-14.59	-17.63		
12	-18.10	-20.55	-36.40	-37.38
15	-51.65	-51.76	-54.80	-54.80
18	-56.82	-55.74	-57.11	-56.02
21	-57.83	-55.85	-57.09	-56.09
0	-45.86	-47.34	-44.21	-45.86
3	27.62	30.71	-25.73	-29.14
6	21.62	24.79	-19.43	-23.02
9	-18.10	-20.02	-16.25	-19.62
12	-20.81	-23.36	-19.29	-22.60
15	-53.25	-53.40	-53.05	-53.11
18	-57.55	-55.40	-57.78	-56.65
21	-57.76	56.76	-58.07	-57.12
0	-44.75	-46.21	-45.18	-46.68
3	-25.76	29.09	-26.40	-29.62
6	-19.41	-22.83	-19.95	-23.31
9	-15.75	-18.89	-16.29	-19.44
12	-18.12	-21.54	-18.73	-22.02
15	-52.20	-52.28	-52.51	-52.59
18	-57.14	-56.02	-57.08	-56.00
21	-57.60	-56.61	-57.11	-56.60
0	-44.34	-45.92	-44.29	-45.87
3			25.36	-28.73
6			-18.72	-22.20
9			-14.92	-18.10
12			-17.55	-20.80

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	8.77	9.29		
3	6.28	6.31		
6	4.74	4.58		
9	4.15	4.34		
12	3.36	3.24	-2.70	-2.29
15	20.06	19.21	17.98	15.65
18	32.56	31.45	32.17	30.37
21	28.72	27.17	28.09	27.21
0	17.73	17.52	17.18	16.82
3	10.20	10.11	9.92	9.84
6	7.25	7.19	7.28	7.25
9	5.77	5.74	5.87	5.85
12	4.75	4.73	5.08	4.65
15	21.53	18.47	22.08	19.99
18	32.19	30.11	32.26	30.47
21	27.30	26.24	29.26	27.18
0	17.06	16.63	17.33	16.97
3	9.88	9.79	9.97	9.87
6	7.05	6.99	7.06	7.00
9	5.58	5.62	5.67	5.60
12	4.65	4.20	4.85	4.36
15	21.14	19.43	21.74	19.56
18	31.67	29.93	32.94	30.06
21	26.92	26.05	25.52	25.00
0	16.91	16.71	17.08	16.80
3			9.53	9.80
6			7.03	6.96
9			5.66	5.54
12			4.84	4.31

e).

Horario (UTC)	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-100.00	-100.00		
3	-58.64	-52.45		
6	39.22	49.07		
9	47.55	55.19		
12	11.14	14.72	-100.00	-100.00
15	52.11	44.70	31.70	49.64
18	207.15	241.51	345.78	386.84
21	106.77	123.39	136.19	154.98
0	14.74	21.21	21.31	28.06
3	-21.65	17.42	-23.43	-20.66
6	11.20	11.17	8.03	15.38
9	13.85	21.07	3.83	10.96
12	-8.22	-3.17	-9.00	-3.15
15	28.34	41.68	24.20	36.91
18	196.58	227.80	196.43	224.63
21	80.64	91.98	90.73	104.43
0	-5.34	0.07	-1.78	4.43
3	-31.06	-27.15	-31.95	-27.65
6	-1.14	7.96	6.84	1.55
9	5.24	13.60	-8.50	-2.01
12	-11.81	-8.25	20.67	-16.18
15	17.20	31.36	12.21	23.32
18	165.33	212.36	164.31	188.86
21	71.79	92.87	69.00	82.30
0	-8.16	-2.50	-9.49	-4.13
3			-22.51	-28.84
6			4.20	12.09
9			17.81	24.92
12			0.99	-3.58

A6. Correlación de Pearson

a)

Horario (UTC)	PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL MEDIO DEL MAR [hPa]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.16	0.25		
3	0.26	0.29		
6	0.35	0.27		
9	0.34	0.30		
12	0.36	0.38	0.21	0.37
15	0.33	0.35	0.32	0.35
18	0.32	0.34	0.34	0.36
21	0.31	0.33	0.30	0.31
0	0.22	0.23	0.22	0.24
3	0.26	0.28	0.27	0.28
6	0.25	0.38	0.36	0.37
9	0.35	0.37	0.35	0.37
12	0.34	0.37	0.35	0.38
15	0.27	0.32	0.31	0.33
18	0.32	0.34	0.33	0.35
21	0.30	0.32	0.30	0.32
0	0.21	0.25	0.21	0.23
3	0.25	0.27	0.25	0.27
6	0.36	0.37	0.36	0.37
9	0.35	0.36	0.35	0.37
12	0.33	0.36	0.34	0.37
15	0.29	0.31	0.32	0.32
18	0.33	0.34	0.33	0.35
21	0.30	0.31	0.30	0.32
0	0.20	0.22	0.21	0.23
3			0.25	0.27
6			0.36	0.38
9			0.35	0.36
12			0.33	0.36

b).

Horario (UTC)	TEMPERATURA DEL AIRE A 2 m [°C]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.33	0.34		
3	0.55	0.57		
6	0.65	0.65		
9	0.64	0.67		
12	0.66	0.69	0.56	0.55
15	0.34	0.43	0.34	0.44
18	0.54	0.56	0.53	0.55
21	0.48	0.48	0.49	0.49
0	0.40	0.40	0.40	0.41
3	0.54	0.57	0.54	0.56
6	0.63	0.65	0.64	0.66
9	0.64	0.67	0.65	0.68
12	0.65	0.68	0.66	0.69
15	0.35	0.43	0.36	0.45
18	0.51	0.54	0.53	0.55
21	0.46	0.46	0.48	0.48
0	0.39	0.40	0.40	0.40
3	0.54	0.56	0.54	0.56
6	0.62	0.64	0.63	0.65
9	0.65	0.66	0.64	0.66
12	0.64	0.66	0.65	0.67
15	0.34	0.42	0.34	0.43
18	0.50	0.52	0.51	0.53
21	0.41	0.44	0.45	0.46
0	0.39	0.39	0.40	0.40
3			0.54	0.56
6			0.62	0.64
9			0.63	0.66
12			0.64	0.66

c).

Horario (UTC)	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 m [km/h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.34	0.36		
3	0.47	0.45		
6	0.55	0.54		
9	0.51	0.54		
12	0.50	0.52	0.44	0.46
15	0.41	0.42	0.44	0.45
18	0.43	0.45	0.42	0.44
21	0.42	0.42	0.42	0.42
0	0.38	0.40	0.37	0.39
3	0.43	0.45	0.43	0.45
6	0.52	0.54	0.53	0.55
9	0.50	0.52	0.52	0.55
12	0.48	0.51	0.50	0.53
15	0.39	0.39	0.40	0.40
18	0.41	0.43	0.42	0.43
21	0.40	0.40	0.41	0.41
0	0.37	0.38	0.37	0.39
3	0.43	0.46	0.43	0.45
6	0.51	0.53	0.51	0.54
9	0.42	0.52	0.50	0.53
12	0.47	0.55	0.48	0.51
15	0.36	0.37	0.38	0.38
18	0.38	0.40	0.41	0.42
21	0.39	0.38	0.39	0.40
0	0.36	0.38	0.37	0.38
3			0.43	0.45
6			0.40	0.53
9			0.49	0.52
12			0.47	0.50

d).

Horario (UTC)	HUMEDAD RELATIVA A 2 m [%]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	0.15	0.16		
3	0.17	0.20		
6	0.29	0.31		
9	0.34	0.35		
12	0.30	0.34	0.24	0.20
15	0.34	0.35	0.29	0.34
18	0.57	0.55	0.57	0.55
21	0.47	0.47	0.49	0.48
0	0.20	0.21	0.19	0.20
3	0.25	0.27	0.25	0.27
6	0.38	0.39	0.40	0.41
9	0.38	0.39	0.40	0.41
12	0.36	0.39	0.39	0.39
15	0.33	0.36	0.35	0.39
18	0.54	0.52	0.55	0.54
21	0.45	0.44	0.47	0.46
0	0.19	0.19	0.21	0.21
3	0.25	0.27	0.27	0.28
6	0.37	0.39	0.37	0.39
9	0.37	0.38	0.38	0.38
12	0.35	0.36	0.37	0.37
15	0.31	0.35	0.32	0.36
18	0.51	0.49	0.52	0.51
21	0.42	0.40	0.43	0.42
0	0.18	0.18	0.19	0.19
3			0.27	0.27
6			0.37	0.38
9			0.38	0.38
12			0.37	0.37

e).

Horario (UTC)	ACUMULADO DE PRECIPITACIONES EN SUPERFICIE [mm/3h]			
	00:00 UTC		12:00 UTC	
	D1	D2	D1	D2
0	-	-	-	-
3	0.07	0.06	-	-
6	0.21	0.19	-	-
9	0.24	0.20	-	-
12	0.28	0.24	-	-
15	0.20	0.27	0.26	0.24
18	0.21	0.20	0.22	0.22
21	0.21	0.20	0.23	0.22
0	0.11	0.10	0.10	0.09
3	0.07	0.06	0.07	0.06
6	0.17	0.16	0.20	0.18
9	0.19	0.17	0.21	0.19
12	0.24	0.20	0.24	0.21
15	0.24	0.22	0.25	0.23
18	0.15	0.15	0.17	0.16
21	0.18	0.18	0.19	0.19
0	0.09	0.08	0.10	0.08
3	0.06	0.06	0.06	0.06
6	0.15	0.13	0.17	0.16
9	0.18	0.14	0.20	0.17
12	0.21	0.17	0.21	0.17
15	0.21	0.19	0.23	0.21
18	0.13	0.13	0.15	0.14
21	0.15	0.14	0.16	0.16
0	0.09	0.08	0.09	0.07
3	-	-	0.07	0.06
6	-	-	0.16	0.14
9	-	-	0.16	0.14
12	-	-	0.21	0.17