



CÁLCULO DE VISIBILIDAD CON EL MODELO WRF A TRAVÉS DE LA DEPRESIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO

VISIBILITY CALCULATION WITH WRF MODEL THROUGH DEW POINT DEPRESSION

 CHABELI MARTÍNEZ MESA

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: chabelimartinez0@gmail.com

Palabras claves:	Resumen
visibilidad niebla neblina depresión del punto de rocío Gráfico de Taylor	La presente investigación evalúa la eficacia del modelo mesoescalar WRF (Weather Research and Forecasting), para pronosticar la visibilidad en la zona comprendida por las provincias Artemisa, La Habana y Mayabeque. Se tomó como muestra de estudio los datos reales de temperatura ambiente y temperatura del punto de rocío de las 10 estaciones meteorológicas del área de estudio con lo que se calculó la depresión del punto de rocío, variable importante en este estudio. Con los datos obtenidos de temperatura ambiente y depresión del punto de rocío se realizó un Gráfico de Taylor para los días con presencia de niebla, con presencia de neblina y sin presencia de ninguno de los dos fenómenos. Los valores de correlación obtenidos fueron altos, en los casos de niebla y neblina, de manera general, superiores a 0.7 por lo que se pudo comprobar la eficacia del gráfico con los datos reales para el pronóstico de visibilidad. Para comprobar su funcionamiento con los datos del modelo se tomaron dos casos de estudio, uno en el período poco lluvioso y uno en el período lluvioso y se realizó el mismo procedimiento. Otro resultado obtenido fue el correcto funcionamiento del modelo para pronosticar niebla y neblina, fundamentalmente para las estaciones del interior, cuyos valores de correlación superaron los 0.8, aunque sobreestimó para los dos casos de estudio la temperatura ambiente, con valores menores como 2 y 3 grados Celsius para el caso del período poco lluvioso y valores máximos de 6 y 7 grados Celsius para el caso del período lluvioso, esto trajo consigo diferencias en los valores de la depresión del punto de rocío obteniendo 1.5 como valor medio.
Key words:	Abstract
visibility fog haze dew point depression Taylor Graph	This Research evaluates the effectiveness of the WRF mesoscale model (Weather Research and Forecasting) to forecast visibility in the area comprised by the Artemisa, Havana and Mayabeque provinces. The actual data of ambient temperature and dew point temperature from 10 meteorological stations in the study area were taken as a study sample, with which the dew point depression was calculated, an important variable in this study. With the data obtained from ambient temperature and dew point depression, a Taylor Graph was made for days with the presence of fog, with the presence of mist and without the presence of either of the two phenomena. The correlation values obtained were high, in the cases of fog and mist, generally higher than 0.7, so it was possible to verify the effectiveness of the graph with the real data for the visibility forecast, To check its operation with the model data, two study cases were taken, one in the dry season and one in the rainy season, and the same procedure was carried out. Another result obtained was the correct operation of the model to forecast fog and haze, mainly for the inland stations, whose correlation values exceeded 0.8, although ambient temperature was overestimated for the two study cases, with lower values such as 2 and 3 °C for the case of the dry period and maximum values of 6 and 7°C for the case of the rainy period, this brought with it differences in the values of the dew point depression obtaining 1.5 as a mean value.

Recibido: 26 de septiembre de 2022

Aceptado: 30 de noviembre de 2022

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Introducción

Los avances tecnológicos y científicos de las últimas dos décadas han tributado directamente al desarrollo de la Meteorología como ciencia, al mismo tiempo que se ha exigido una mayor especialización y calidad en los pronósticos del tiempo. Actualmente es de suma importancia conocer el comportamiento de un gran número de variables meteorológicas que están estrechamente relacionadas con las diferentes actividades humanas (Hernández *et al.*, 2014).

La visibilidad, definida como la mayor distancia a la cual un cuerpo negro de dimensiones adecuadas puede ser visto y reconocido sobre el cielo cerca del horizonte, puede ser afectada por una variedad de fenómenos meteorológicos, entre los que se encuentran la calima, bruma, neblina y niebla, siendo estos últimos objetivos de la presente investigación.

En el mundo las nieblas son responsables de un gran número de accidentes de tránsito que involucran tanto pérdidas materiales como humanas. Los episodios de niebla espesa provocan impactos importantes en el flujo del tránsito aéreo y afectan a la comunidad aeronáutica en general, es por eso que un pronóstico de niebla exacto y oportuno puede dar a los funcionarios aeroportuarios la oportunidad de prepararse ante la posibilidad de niebla, ya sea desviando el tráfico o, si está previsto un episodio prolongado, implementando las medidas de mitigación apropiadas. El estudio y pronóstico de las nieblas además es fundamental para el análisis de la ocurrencia de nieblas ácidas y enfermedades fúngicas y para la evaluación de captación de agua en zonas secas.

El pronóstico de niebla y neblina resulta difícil ya que se requiere del conocimiento y pronóstico de complejos procesos de microescala que ocurren en la capa límite atmosférica, que ni los modelos meteorológicos de muy alta resolución son capaces de representar.

Las prácticas actuales de pronóstico de niebla en el mundo incluyen el uso de aproximaciones climatológicas, guías numéricas, métodos observacionales, métodos estadísticos, sistemas de expertos y la modelación numérica. Es fundamental considerar las características dinámicas y sinópticas que determinan la capa fronteriza, así como su variación con respecto a la escala temporal, para predecir adecuadamente la ocurrencia de la niebla, su extensión, intensidad y duración (Hernández *et al.*, 2014).

Se ha realizado un gran esfuerzo en modelación para la simulación de ambientes de niebla y gotas de niebla, pero la mayoría de los modelos en la actualidad no han sido capaces de generar esto por completo en tiempo real con fines de pronóstico. Variedad de métodos, incluyendo los estadísticos, árboles de decisión e inteligencia artificial (o Sistema de Expertos), se han encontrado insuficientes en el estudio de las nieblas.

En Cuba, debido a las características tropicales e insulares, las nieblas y neblinas tiene una baja frecuencia de ocurrencia, mayormente son estacionales y de carácter local, estando relacionadas en gran medida por las características físico-geográficas. (Hernández *et al.*, 2014) El estudio sobre las nieblas en Cuba ha sido sobrio y poco publicado y está basado en el comportamiento de las condiciones meteorológicas en diferentes regiones del país.

A través de un estudio realizado por (Guzmán, 2013) se pudo determinar que la ocurrencia de niebla es más frecuente en el período poco lluvioso del año y en la región occidental de Cuba. Se determinó que en el período poco lluvioso la ocurrencia de niebla es más frecuente ante la llegada de sistemas frontales al occidente de Cuba y los días que preceden a los mismos. Mientras que para el período lluvioso es más frecuente en situaciones de influencia anticiclónica subtropical y débiles gradientes béricos sobre el territorio. Pero aunque la presencia de sistemas frontales sobre el occidente de Cuba y su avance sobre el territorio nacional, resultan favorables para la ocurrencia de brotes de niebla, no son condiciones suficientes para ello.

Mediante la modelación numérica y el conocimiento en diferentes variables se puede llegar a hacer el pronóstico de visibilidad, y una de las variables fundamentales para conseguirlo es la depresión del punto de rocío. El trabajo con esta variable es de suma importancia para anticipar la posible formación de la niebla o la neblina. Es por esto que en este trabajo se estudiará el comportamiento de la depresión del punto de rocío y su relación con la formación de las nieblas y neblinas, primero estudiando su comportamiento en la realidad, puesto que es desconocido en la actualidad y luego encaminado al pronóstico, utilizando el modelo mesoescalar WRF (Weather Research and Forecasting) con el núcleo dinámico ARW (Advanced Research WRF).

En aras de mejorar el pronóstico de visibilidad se plantea como **objetivo general**: determinar si el modelo mesoescalar WRF es eficiente para hallar la visibilidad utilizando la depresión del punto de rocío.

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de estudio de la presente investigación lo constituye el área que ocupan las provincias de Artemisa, La Habana y Mayabeque figura 2.1, está ubicada entre los 22°29' y los 23°12' de latitud norte y entre los 83°25' y los 81°40' de longitud oeste. Limita al Este con la provincia de Matanzas, al Sur con el Golfo de Batabanó, al Oeste con la provincia de Pinar del Río y al Norte con el Estrecho de la Florida. Cuenta con más de 8460 km² de extensión superficial. (Sitio web de la Oficina Nacional de Estadística (ONE), www.one.cu.)

Información y datos empleados

Para la realización de esta investigación se utilizaron los datos de las observaciones trihorarias de las 10 estaciones localizadas en la región que comprenden las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque en el período de 2008 al 2018 como muestra de estudio. Dichos datos fueron exportados de la base de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología (INSMET).

Las estaciones fueron divididas por regiones según la distribución realizada por (Barcia *et al.*, 2012) para una mejor apreciación de la ocurrencia del fenómeno en las diferentes zonas. La división se puede apreciar en la [Tabla 1](#):

Tabla 1. División en zonas de las 10 estaciones del área que comprenden las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque por regiones por (Barcia *et al.*, 2012).

Table 1. Zone division of the 10 stations in the area comprising the Havana, Artemisa and Mayabeque provinces by region by (Barcia *et al.* [2012])

Región	Estaciones
1	318 y 325
3	376 y 373
4	340, 374, 323, 375
6	320 y 322

Para identificar los días con niebla y neblina, se emplearon los datos correspondientes a la variable tiempo presente. Las nieblas y neblinas se encuentran representadas por los códigos del 10 al 12, el 28 y del 40 al 49 y se refiere a todo tipo de niebla (Manual de Códigos OMM).

También se utilizaron los datos de las variables: temperatura ambiente y temperatura del punto de rocío, de los días en los que se reportó el fenómeno. Se calculó la

depresión del punto de rocío a través de la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura del punto de rocío. (Ta-Td). Se promediaron todos los datos correspondientes a la temperatura ambiente y depresión del punto de rocío para los horarios de las 06:00 UTC, 09:00UTC, 12:00UTC y 03:00UTC, horarios en los que mayormente hay ocurrencia de nieblas.

En esta investigación fueron seleccionados 2 casos de estudios, los días 4 de enero del 2019 y el 5 de agosto del 2019, los cuales constituyen días en los que debido a las condiciones sinópticas existentes se vio afectada la visibilidad en la zona de estudio.

Procesamiento de la información

Modelo WRF

El modelo de pronóstico numérico WRF es un modelo de área limitada (LAM) que ha sido desarrollado, entre otros, por la división de Meteorología de Microescala y Mesoescala del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de los Estados Unidos de América (NCAR), de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA) y del Centro Nacional de Predicción Medioambiental de los Estados Unidos de América (NCEP). Se utiliza tanto para la investigación como para el pronóstico operativo.

Para las condiciones de frontera fueron utilizados los datos procedentes de modelos globales de pronósticos del tiempo como el Global Forecast System (GFS), con resolución de 0.5 grados (s 55km). Las corridas fueron inicializadas a las 00:00 UTC, con 54 horas de pronóstico.

La [Figura 1](#), muestra los dominios de simulación utilizados en el trabajo, con una resolución espacial de 12 km y 4 km, que comprende a la región occidental de Cuba y sus mares adyacentes.

En las [Tablas 2 y 3](#) se expone la configuración física utilizada en el WRF, la misma se obtuvo basada en las consideraciones para el diseño de un experimento numérico

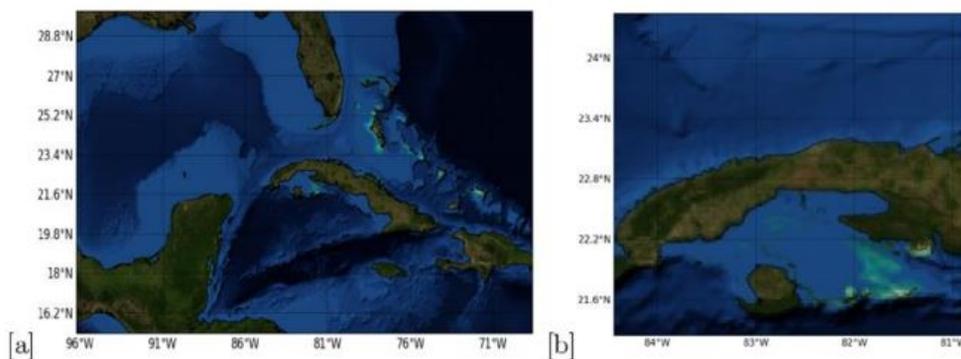


Figura 1. Dominios de simulación utilizados a) 12 km y b) 4 km.

Figure 1. Simulation domains used a) 12 km y b) 4 km.

Tabla 2. Opciones del WRF más significativas utilizadas en las simulaciones, Configuración de los dominios de simulación en la configuración CMP.

Table 2. Most significant WRF options used in the simulations. Configuration of the simulation domains in the CMP configuration.

Parámetros	Dominios	
	12 km	4 km
Tiempo de integración	60	30
Cantidad de nodos en la dirección x	256	103
Cantidad de nodos en la dirección y	204	94
Cantidad de niveles verticales en la atmósfera	35	35
Tope superior de la malla de simulación	50	50

Tabla 3. Configuración del WRF utilizadas en las simulaciones

Table 3. WRF configuration used in the simulations

Esquemas	Dominio 12 Km	Dominio 4 Km
Microfísica	WSM6	WSM6
Cúmulos	Grell-Freitas ensemble scheme	Grell-Freitas ensemble scheme
Capa límite	Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme	Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme
Radiación onda corta	Dudhia scheme	Dudhia scheme
Radiación onda larga	RRTM scheme	RRTM scheme
Frontera superficial	Monin-Obukhov (Janjic) scheme	Monin-Obukhov (Janjic) scheme
Superficie	Unified Noah land-surface model	Unified Noah land-surface model

(conocido en inglés como WRF_best-practices, (Wang *et al.*, 2017), donde sugieren una serie de recomendaciones para implementar el modelo y de donde se concluyó las condiciones que mejor pudieran ajustarse a las condiciones físico meteorológicas de Cuba. Esta configuración actualmente, se encuentra operativa en el centro meteorológico provincial Habana, Artemisa y Mayabeque.

Análisis de la correlación lineal.

Para crear los gráficos de Taylor, hubo que calcular si existía relación directa entre las variables temperatura del aire y depresión del punto de rocío con la reducción de la visibilidad, este cálculo se llevó a cabo mediante la expresión (1).

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (1)$$

Donde “x” corresponde a los valores de temperatura del aire, así como “y” representa la depresión del punto de rocío y “n”, es el tamaño de la muestra de datos.

La correlación estudia el grado de asociación o dependencia entre dos variables. Es decir, analiza hasta qué punto es significativa la dependencia de una variable con respecto a la otra.

Después de hallar la correlación se construyó el gráfico de Taylor para cada una de las estaciones meteorológicas de la región, con los datos de las observaciones reales de las estaciones y los aportados por el modelo donde se tomó los datos en cuenta la depresión del punto de rocío y la temperatura ambiente, de esta forma se puede apreciar en qué zona es más eficaz el modelo.

Resultados y discusión

Comportamiento de los casos de niebla y neblina. Situaciones sinópticas que favorecieron la ocurrencia de niebla.

Mediante el estudio del comportamiento de la variable tiempo presente en el período 2008-2018 se identificaron un total de 2994 casos de niebla. La distribución de la cantidad de casos por meses en este período se observa en el **Gráfico 1**.

El análisis del **Gráfico 1** muestra como la ocurrencia de niebla es más frecuente durante los meses del periodo poco lluvioso de noviembre a abril, lo que coincide con lo expresado por Guzmán, 2013. Enero se aprecia como pico máximo superando los 600 casos, mientras que junio es el mínimo absoluto con un valor menor que 100.

Entre las situaciones más propicias para la formación de la niebla en Cuba se pueden citar los débiles gradientes béricos que preceden a los frentes fríos, los vientos de región sur que en horas nocturnas se debilitan y el rápido desplazamiento al este de los anticiclones continentales que suceden a los frentes fríos, lo cual produce un flujo de región sudeste sobre la superficie terrestre enfriada con anterioridad, esta situación produce durante el día una alta humedad relativa y en la noche con cielo despejado, la presencia de niebla (Hernández,2000).

De manera general, al analizar las condiciones sinópticas presentes en los meses con mayor ocurrencia de niebla en el período estudiado se puede decir que la ocurrencia de niebla es más frecuente ante la llegada de sistemas frontales al occidente de Cuba y los días que preceden a los mismos tal y como expresó (Guzmán, 2013).

Situaciones sinópticas que favorecieron la ocurrencia de neblina.

Estudiando el comportamiento de la variable tiempo presente en el período 2008-2018 se identificaron un total de 47 244 casos de neblina, un número muy superior al de casos de niebla expresados anteriormente. El Gráfico 2 muestra la distribución por meses en estos años de los casos ocurridos y así observar los meses con mayor número de casos de neblinas.

Al analizar de forma detallada los casos de niebla como los de neblina se puede apreciar que la principal situación sinóptica que favorece la ocurrencia de ambos fenómenos es la influencia de sistemas frontales, ya sea en días precedentes o en días posteriores a su paso.

Análisis de los gráficos de Taylor para nieblas

Como muestra de estudio se tomaron los casos de ocurrencia de niebla y neblina en el período de 2008-2018. Se promediaron todos los datos correspondientes a la temperatura ambiente y depresión del punto de rocío para los horarios de las 06:00 UTC, 09:00UTC, 12:00UTC y 03:00UTC, horarios en los que mayormente hay ocurrencia de nieblas y se realizó el gráfico de Taylor para tales situaciones.

Los puntos en los gráficos muestran los casos de niebla ocurridos en dichos horarios y como se puede apreciar los valores extremos de la temperatura ambiente y la depresión del punto de rocío varían para cada estación debido a las condiciones locales.

En la Figura 2 se muestran los mejores resultados obtenidos, con valores de correlación entre la temperatura ambiente y la depresión del punto de rocío superiores a los 0.9. Estos resultados corresponden a estaciones localizadas en zonas del interior y sur del área de estudio. En el caso de Bahía Honda, que obtuvo una correlación perfecta, se debe a características locales que propician la formación de la niebla.

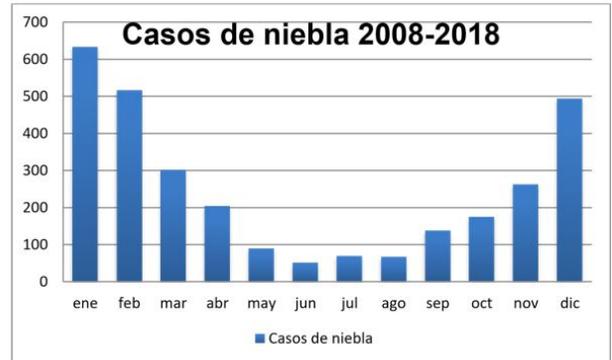


Gráfico 1. Distribución por meses de los casos de niebla en el período 2008-2018.

Graph 1. Distribution by months of the cases of fog in the period 2008-2018.

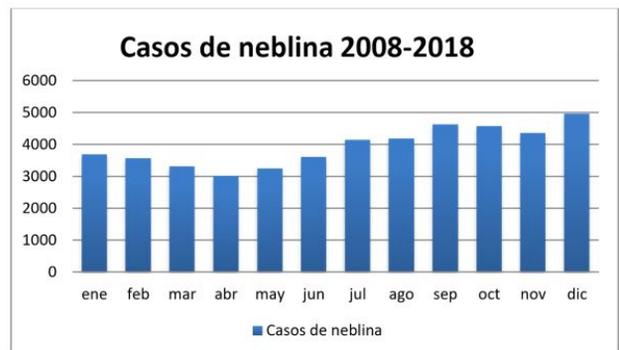


Gráfico 2. Distribución por meses de los casos de neblina en el período 2008-2018.

Graph 2. Distribution by months of haze cases in the period 2008-2018.

De manera general se aprecia que los casos de niebla ocurrieron en temperaturas que oscilaron entre los 16,4 grados Celsius y los 23, 6 grados Celsius, mientras que los valores de la depresión del punto de rocío oscilaron entre 0,3 y 1,4.

Según la Tabla 1, al dividir por su localización, los umbrales de temperatura ambiente en las estaciones, los resultados se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4. Umbrales de temperatura ambiente por región en casos de niebla.

Table 4. Ambient temperature thresholds by region in cases of fog.

Región 1	18,6°C - 23,6°C
Región 3	18,9°C - 21,4°C
Región 4	16,4°C - 22,5°C
Región 6	18,7°C -21,6°C

En cuanto a los umbrales de la depresión del punto de rocío como sigue:

Tabla 5. Umbrales de depresión del punto de rocío por región en casos de niebla.

Table 5. Dew point depression thresholds by region in cases of fog.

Región 1	0,6 - 1,3
Región 3	0,3 - 1,0
Región 4	0,3 - 1,0
Región 6	0,4 - 1,0

Todos estos valores muestran los umbrales de temperatura ambiente y depresión del punto de rocío en los que existe mayor intensidad o persistencia de la niebla.

Análisis de los gráficos de Taylor para los casos de neblina.

Como se explicó para los casos de niebla los puntos en los gráficos muestran los casos de neblina ocurridos en los horarios de las 06:00 UTC, 09:00 UTC, 12:00UTC y 03:00UTC y los valores extremos de la temperatura ambiente y la depresión del punto de rocío varían para cada estación debido a las condiciones locales.

De manera general los casos de neblina ocurrieron en temperaturas que oscilaron entre los 18,0 grados Celsius y los 24, 3 grados Celsius, mientras que los valores de la depresión del punto de rocío oscilaron entre 0,6 y 1,6. En

ambos casos los valores son ligeramente superiores a los valores de los casos de niebla.

Al dividirlos según la **tabla 1** , por su localización, se obtuvieron los siguientes umbrales de temperatura ambiente para cada estación (**Tabla 6**):

Tabla 6. Umbrales de temperatura ambiente por región en casos de neblinas.

Table 6. Ambient temperature thresholds by region for haze events.

Región 1	18,0°C - 24,3°C
Región 3	19,6°C - 23,6°C
Región 4	19,2°C - 22,6°C
Región 6	20,5°C - 23,2°C

En cuanto a los umbrales de la depresión del punto de rocío los resultados se pueden ver en la **Tabla 7**.

Estos valores muestran los umbrales de temperatura ambiente y depresión del punto de rocío en los que existe mayor intensidad o persistencia de neblina.

Al analizar los resultados obtenidos se observa que el gráfico funciona en el cálculo de la visibilidad de manera general para todas las regiones y muestra una muy buena correlación para los días en los que ocurrió niebla o neblina.

Para una mejor comprensión se realizó una comparación de los valores de correlación obtenidos para los días con niebla, con neblina y sin la ocurrencia de ninguno de estos fenómenos. Los valores se pueden encontrar en la **Tabla 8**.

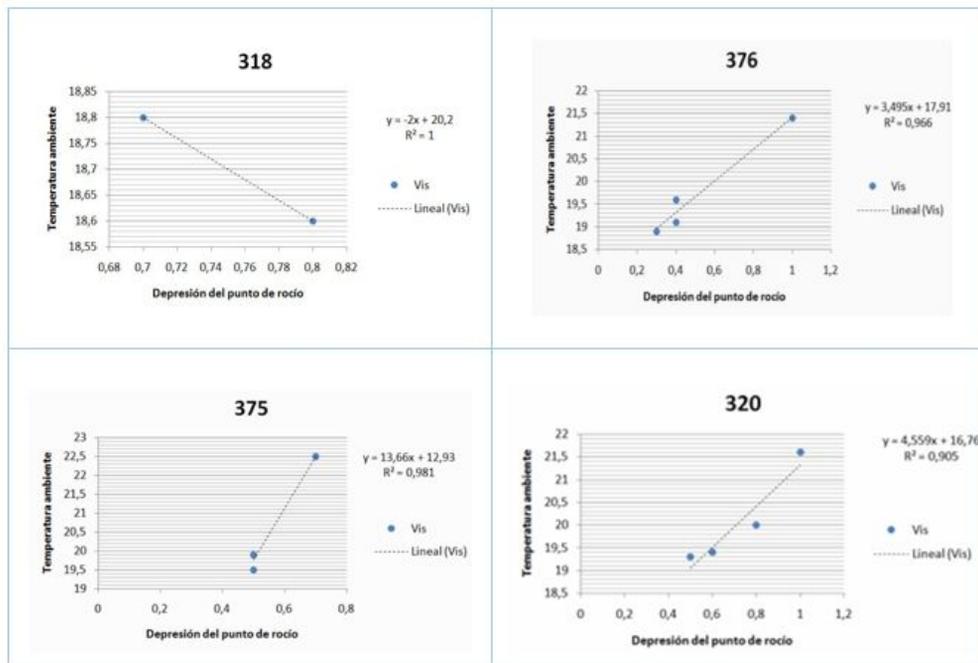


Figura 2. Gráficos de Taylor con mejor correlación para los días con presencia de niebla

Figure 2. Taylor charts with the best correlation for days with fog.

Tabla 7. Umbrales de depresión del punto de rocío por región en casos de neblinas.

Table 7. Dew point depression thresholds by region in cases of haze.

Región 1	0,8 - 1,4
Región 3	0,6 - 1,6
Región 4	0,7 - 1,2
Región 6	0,7 - 1,3

Con el análisis de los casos reales se puede decir que el gráfico funciona para la zona de estudio, fundamentalmente

para localidades del interior, en los que los coeficientes de correlación fueron superiores en días con niebla o neblina y permitió apreciar bajo qué valores de temperatura ambiente y depresión del punto de rocío se puede ver afectada la visibilidad, destacándose además una tendencia o una correlación inferior en los días que no se produjo el fenómeno, encontrándose valores de correlación muy bajos como es el caso de la estaciones de Santiago de las Vegas y Bainoa con 0,003 y 0,091 respectivamente. En el caso de los valores que dieron error se debieron a faltantes en la serie de datos. Estos resultados demuestran que el gráfico de Taylor puede ser usado como una herramienta para el

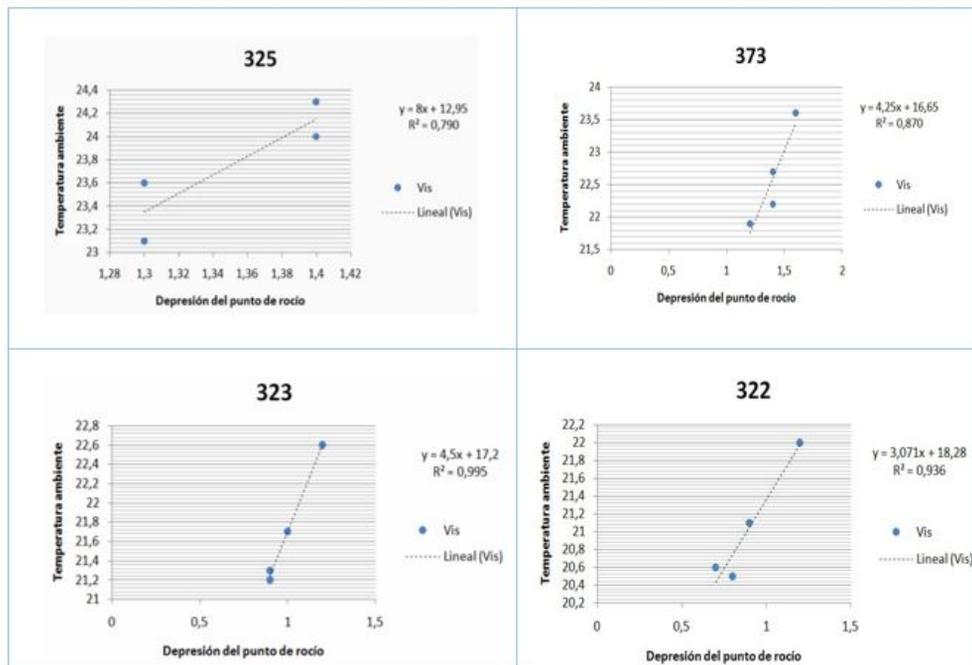


Figura 3. Gráficos de Taylor con mejor correlación para los días con presencia de neblina

Figure 3. Taylor charts with the best correlation for the days with the presence of haze.

Tabla 8. Valores de correlación para los días con niebla, con neblina y sin fenómeno

Table 8. Correlation values for days with fog, with mist and without phenomenon.

Región	Estaciones	Niebla	Neblina	Sin fenómeno
1	318 Bahía Honda	1,000	0,368	0,736
	325 Casablanca	0,325	0,790	0,969
3	376 Bauta	0,966	(4E-28)	0,970
	373 Santiago de las Vegas	0,773	0,870	0,003
4	340 Bainoa	0,786	0,768	0,091
	374 Tapaste	(2E-14)	0,679	0,827
	323 Güines	0,120	0,995	0,686
6	375 Melena del Sur	0,981	0,703	0,365
	320 Güira de Melena	0,905	0,749	0,577
	322 Batabanó	0,775	0,936	0,694

Tabla 9. Valores de temperatura ambiente para los días con niebla, con neblina y sin fenómeno.**Table 9.** Ambient temperature values for days with fog, with mist and without phenomenon.

Región	Niebla	Neblina	Sin fenómeno
1	18,6°C - 23,6°C	18,0°C - 24,3°C	22,7°C - 24,5°C
3	18,9°C - 21,4°C	19,6°C - 23,6°C	21,2°C - 23,1°C
4	16,4°C - 22,5°C	19,2°C - 22,6°C	20,0°C - 22,8°C
6	18,7°C - 21,6°C	20,5°C - 23,2°C	21,2°C - 23,3°C

Tabla 10. Valores de depresión del punto de rocío para los días con niebla, con neblina y sin fenómeno.**Table 10.** Dew point depression values for days with fog, with mist and without phenomenon.

Región	Niebla	Neblina	Sin fenómeno
1	0,6 - 1,3	0,8 - 1,4	2,0 - 4,0
3	0,3 - 1,0	0,6 - 1,6	1,5 - 3,5
4	0,3 - 1,0	0,7 - 1,2	1,3 - 2,7
6	0,4 - 1,0	0,7 - 1,3	1,2 - 3,0

pronóstico a corto plazo de los procesos que dan lugar a la formación de las nieblas y neblinas en la región de estudio, con los mejores resultados hacia la región interior.

Se tomaron como casos de estudio, dos días en los que la visibilidad se vio afectada por uno de estos fenómenos, el primer caso pertenece al período poco lluvioso que es el 4 de enero del 2019 y el segundo es el 5 de agosto de 2019 perteneciente al período lluvioso. Para ambos casos se tomaron los valores de la temperatura ambiente y la temperatura del punto de rocío pronosticados por el WRF en los plazos de tiempo que antecedieron los eventos de niebla, con los que se determinaron los valores de la depresión del punto de rocío que se utilizan para realizar los gráficos de Taylor.

Caso de estudio del 4 de enero del 2019

Como primer caso de estudio se escogió el 4 de enero del 2019 que fue un día en el que se produjo un evento de niebla que redujo significativamente la visibilidad en varios puntos de la región occidental incluyendo la zona de estudio.

Luego de realizar los gráficos de Taylor para cada una de las diez estaciones ubicadas en la zona de estudio, se obtuvieron valores de correlación muy buenos, superiores a 0,8. En la [Figura 4](#) se puede apreciar los mejores resultados obtenidos, con valores de correlación superiores a 0,9, pertenecientes a estaciones localizadas en zonas del interior

Se ubicó la mayor probabilidad de ocurrencia de nieblas con valores de temperatura de 23,5°C y 1,5 de depresión del punto de rocío.

Se realizó una comparación de los umbrales de temperatura y depresión del punto de rocío obtenidos con el modelo y los que fueron observados:

Tabla 11. Tabla comparativa de los umbrales de temperatura ambiente entre la muestra de estudio y los datos del modelo para el 4 de enero del 2019**Table 11.** Comparative table of ambient temperature thresholds between the study sample and the model data for January 4, 2019.

Temperatura ambiente (°C)		
Muestra		Modelo
	Región 1	
18,6 - 23,6		20,9 - 23,4
	Región 3	
18,9 - 21,4		20,5 - 22,1
	Región 4	
16,4 - 22,5		20,1 - 22,2
	Región 6	
18,7 - 21,6		20,0 - 22,6

Las temperaturas del aire pronosticadas por el modelo, son superiores a las de la muestra para las cuatro regiones, a razón de 2,3°C; 1,6°C; 3,7°C y 1,3 °C respectivamente. Esto indica que el modelo en este caso de estudio sobreestimó los valores de temperatura mínima, resultados que han sido consecuente con los obtenidos por otros autores que han trabajado con esta variable. En cuanto a las máximas, para las regiones 1 y 4 fueron ligeramente subestimadas, puesto a que hay una diferencia de 0,2°C y 0,3°C respectivamente, mientras que para las regiones 3 y 6, el valor de la temperatura arrojada por el modelo es mayor que el de la muestra, a razón de 0,7°C y 1,0 °C respectivamente, lo que muestra una ligera sobreestimación en este caso.

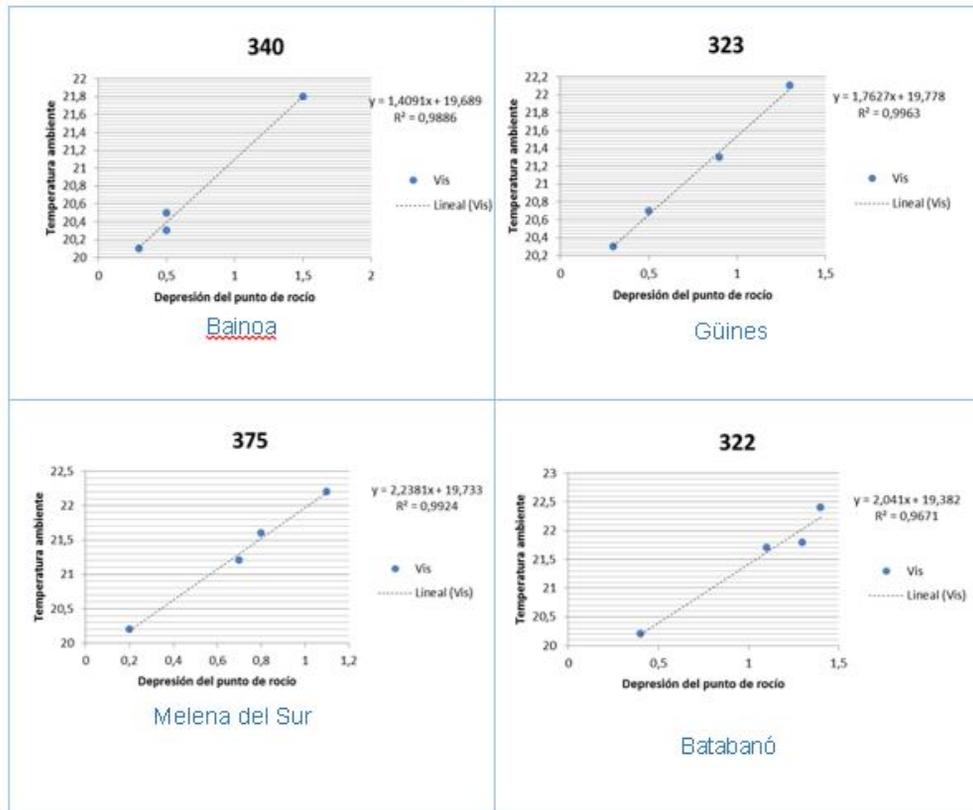


Figura 4. Gráficos de Taylor con mejor correlación para los días con presencia de niebla según los datos obtenidos por el modelo WRF.

Figure 4. Taylor charts with the best correlation for the days with the presence of fog according to the data obtained by the WRF model.

Luego de este análisis se puede decir que de manera general, el modelo tiende a sobreestimar los valores de temperatura del aire. La mayor diferencia se obtuvo en la región 4 para temperaturas mínimas que corresponde a estaciones del interior, mientras que para temperaturas máximas fue en la región 6, que corresponde a estaciones de la costa sur.

En este caso los valores mínimos de depresión del punto de rocío para las regiones 1, 4 y 6 de la muestra de estudio, son ligeramente mayores al determinado a través de los datos del modelo a razón de 0,1 en las tres regiones; mientras que para la región 3 sucedió lo contrario el valor de la muestra es inferior, a razón de 0,3 que el determinado a través de los datos del modelo.

Para los valores máximos, los datos de la muestra son inferiores a los del modelo para las cuatro regiones, a razón de 2,2 para la región 1; 0,3 para la región 3 y 0,5 para las regiones restantes. Era de esperarse que existiera algún tipo de diferencia entre la muestra y el modelo debido a que como se probó anteriormente que el modelo sobreestimaba un poco los valores de temperatura ambiente, esto influye a la hora de calcular la depresión del punto de rocío.

Tabla 12. Tabla comparativa de los umbrales de depresión del punto de rocío entre la muestra de estudio y los datos del modelo para el 4 de enero del 2019

Table 12. Comparative table of the dew point depression thresholds between the study sample and the model data for January 4, 2019

Depresión del punto de rocío	
Muestra	Modelo
	Región 1
0,6 - 1,3	0,5 - 3,5
	Región 3
0,3 - 1,0	0,6 - 1,3
	Región 4
0,3 - 1,0	0,2 - 1,5
	Región 6
0,4 - 1,0	0,3 - 1,5

Caso de estudio del 5 de agosto del 2019

Como segundo caso de estudio se escogió el 5 de agosto del 2019, que pertenece al período lluvioso del año que es el que menor formación de estos fenómenos tiene a lo largo de todo un año. Sin embargo, no quiere decir que ciertas condiciones sobre todo de carácter local, favorezcan la ocurrencia de las nieblas y neblinas, en este caso, según el mapa de superficie de las 12: 00 UTC se observaba un flujo del primer cuadrante con un eje de una onda tropical cerca de la región central de Cuba.

Se realizó el mismo procedimiento del caso de estudio anterior, y los mejores resultados se muestran en la **Figura 5**, con valores de correlación superiores a 0,9 en las estaciones localizadas en zonas del interior.

Se ubicó la mayor probabilidad de ocurrencia de nieblas con valores de temperatura entre los 25,2°C y los 25,7°C, y valores de depresión del punto de rocío de 2,5.

Se realizó también para este caso una comparación de los umbrales de temperatura y depresión del punto de rocío obtenidos con el modelo y los que fueron observados:

Tabla 13. Tabla comparativa de los umbrales de temperatura ambiente entre la muestra de estudio y los datos del modelo para el 5 de agosto de 2019.

Table 13. Comparative table of the ambient temperature thresholds between the study sample and the model data for August 5, 2019.

Temperatura ambiente (°C)	
Muestra	Modelo
	Región 1
18,6 - 23,6	25,2 - 27,4
	Región 3
18,9 - 21,4	23,9 - 25,1
	Región 4
16,4 - 22,5	23,4 - 25,3
	Región 6
18,7 - 21,6	26,5- 28,3

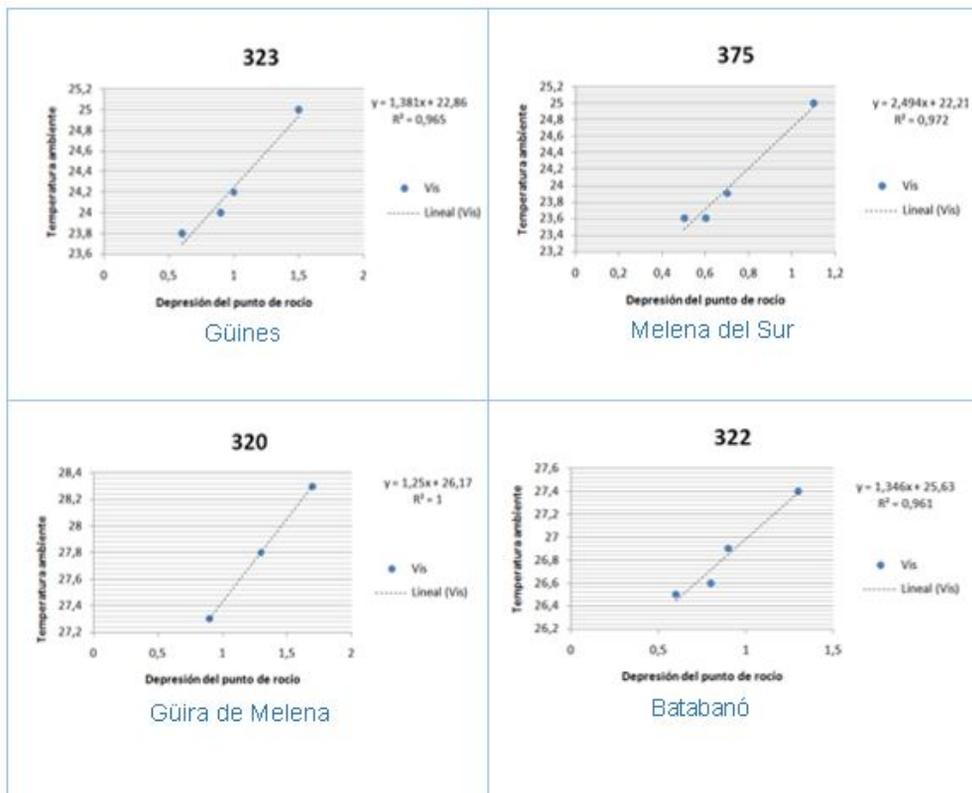


Figura 5. Gráficos de Taylor con mejor correlación para los días con presencia de niebla según los datos obtenidos por el modelo WRF.

Figure 5. Taylor charts with the best correlation for the days with the presence of fog according to the data obtained by the WRF model.

En la **Tabla 13** se observa que las temperaturas mínimas del modelo son superiores a las de la muestra para las cuatro regiones a razón de 6,6°C; 5,0°C; 7,0 °C y 7,8 °C respectivamente. Esto indica que el modelo en este caso de estudio sobreestimó los valores de temperatura mínima, resultados que han sido consecuente con los obtenidos por otros autores que han trabajado con esta variable. En cuanto a las máximas, sucede lo mismo, los valores de temperatura arrojados por el modelo son superiores a los de la muestra, para las cuatro regiones a razón de 3.8°C, 3.7°C; 2.8°C y 6.7 °C respectivamente. Esto indica que para los valores de temperatura máxima el modelo también sobreestimó los valores.

Luego de este análisis se puede decir que de manera general el modelo tiende a sobreestimar los valores de temperatura del aire, con la mayor diferencia en la región 6, perteneciente a la costa sur con valores de 7.8°C para las temperaturas mínimas y 6.7°C de diferencia en las temperaturas máximas.

Para el caso de los umbrales de depresión del punto de rocío, **Tabla 14**, los valores mínimos de depresión del punto de rocío para las regiones 1, 3 y 6 de la muestra de estudio, son inferiores al determinado a través de los datos del modelo a razón de 1,2; 0,6 y 0,2 respectivamente; mientras que para la región 4 el valor determinado a través de los datos del modelo es el mismo que se obtuvo en la muestra de estudio. Para los valores máximos, los datos de la muestra son inferiores a los del modelo para las cuatro regiones, a razón de 1,5 para la región 1; 0,9 para la región 4 y 0,7 para las regiones 3 y 6. Era de esperarse que existiera algún tipo de diferencia entre la muestra y el modelo debido a que como se probó anteriormente que el modelo sobreestimaba un poco los valores de temperatura del aire, esto influye a la hora de calcular la depresión del punto de rocío.

Tabla 14. Tabla comparativa de los umbrales de depresión del punto de rocío entre la muestra de estudio y los datos del modelo para el 5 de agosto del 2019

Table 14. Comparative table of the dew point depression thresholds between the study sample and the model data for August 5, 2019

Depresión del punto de rocío	
Muestra	Modelo
	Región 1
0,6 - 1,3	1,8 - 2,8
	Región 3
0,3 - 1,0	0,9 - 1,7
	Región 4
0,3 - 1,0	0,3 - 1,9
	Región 6
0,4 - 1,0	0,6 - 1,7

Cuando las condiciones sinópticas son propicias, los reportes de formación de nieblas indican que estas se producen en zonas del interior con mayor regularidad y permanencia que en áreas costeras donde resultan más esporádicas. (Barcia y Rodríguez, 2019) y como se pudo apreciar en los dos casos de estudio el modelo mostró un mejor rendimiento para las zonas del interior, donde es más propensa la formación, intensidad y permanencia de las nieblas, como se expresó anteriormente, puesto que obtuvieron generalmente los mejores resultados de correlación en los gráficos.

Conclusiones

- Se demostró que el modelo es eficiente para el pronóstico de la visibilidad fundamentalmente para zonas del interior.
- Al realizar los gráficos de Taylor para las estaciones los mejores resultados fueron obtenidos para las localizadas en el interior obteniéndose muy buenos valores de correlación, superiores a 0.8.
- Al realizar la comparación de los umbrales de temperatura del aire y depresión del punto de rocío de la muestra con los proporcionados por el modelo quedó demostrado que el modelo sobreestimó para los dos casos de estudio la temperatura, con valores menores como 2 y 3 grados Celsius para el caso del período poco lluvioso y valores máximos de 6 y 7 grados Celsius para el caso del período lluvioso, esto trajo consigo diferencias en los valores de la depresión del punto de rocío obteniendo 1.5 como valor medio.

Recomendaciones

- Extender el estudio para otras regiones del país.
- Aplicar en la práctica operativa el Gráfico de Taylor para el pronóstico de visibilidad.

Bibliografía

- Barcia, S., Ballester, M., Cedeño, Y., García, E., González, J., & Regueira, V. (2012). Variabilidad espacio-temporal de las variables que intervienen en los pronósticos a corto plazo en Cuba. Informe de resultado científico, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología INSMET, La Habana, Cuba.
- Barcia S.; Rodríguez C. (2019) Las nieblas en la provincia Cienfuegos, patrones sinópticos asociados. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 25.
- Guzmán L. (2013): Condiciones favorables para la ocurrencia de nieblas en Cuba. Tesis de diploma. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC).

Hernández, A. O. (2000). Elementos que provocan la reducción de la visibilidad atmosférica. Tesis de Maestría, UDICT, Instituto de Meteorología, 102 pp.

Hernández J. F., González C. M. y González P. (2014): Pronóstico de nieblas para las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque.

WMO (1992): Vocabulario Meteorológico Mundial (1992). OMM No.182, 784pp.

Wang W. (2017): Considerations for Designing and Numerical Experiment.

Página web utilizada: www.one.cu

Conflicto de intereses: El autor declara no tener conflicto de intereses.