

# Efectividad del SisPI para el pronóstico de Temperatura Efectiva Equivalente en Cuba durante 2019



<https://cu-id.com/2377/v29n2e10>

## SisPI's effectiveness for Equivalent Effective Temperature forecast in Cuba during 2019

 Daisladys Gómez de la Maza Santana<sup>1\*</sup>,  Dunia Hernández González<sup>2\*\*</sup>,  
 Osniel Armas Forteza<sup>3\*\*\*</sup>,  Pedro Roura Pérez<sup>4\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.

<sup>2</sup>Sociedad Meteorológica de Cuba, Cuba.

<sup>3</sup>Meteorología Aeronáutica, Empresa de Navegación Aérea, Cuba.

<sup>4</sup>Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.

**RESUMEN:** Las variaciones temporales y espaciales de las sensaciones térmicas en Cuba a partir de varios índices bioclimáticos confirman el uso de la Temperatura Efectiva Equivalente como herramienta que permite conocer el espectro de sensaciones térmicas al que se enfrenta la población cubana. La reciente implementación de productos de este tipo en el pronóstico numérico requiere ser evaluada para su uso de forma operativa. Es por ello que en la presente investigación se plantea como objetivo principal evaluar la efectividad del pronóstico de Temperatura Efectiva Equivalente del Sistema de Pronóstico Inmediato durante el 2019. En este trabajo fue utilizada la metodología celda-punto para comparar los valores observados con los valores pronosticados, fueron procesados los datos y se calcularon los estadígrafos correspondientes para su evaluación. Como conclusiones se tiene que el Sistema de Pronóstico Inmediato mostró una buena habilidad para pronosticar este índice bioclimático en Cuba durante el 2019. Los mayores errores en el pronóstico fueron obtenidos en el horario nocturno y en los meses del período de invierno, principalmente en las estaciones ubicadas en zonas montañosas.

**Palabras claves:** verificación, temperatura efectiva equivalente, pronóstico numérico, sensaciones térmicas.

**ABSTRACT:** Based on several bioclimatic indexes, Temporal and spatial variations of thermal sensations in Cuba confirms the use of Equivalent Effective Temperature as a tool that allows us to know the spectrum of thermal sensations which Cuban population have to endure. Recent implementation of this kind of products in numerical forecast should be assessed in order to be used in an operative way. That's why the main objective of the present research is to assess the effectiveness of Equivalent Effective Temperature forecast of Nowcasting and Very Short Range Prediction System during 2019. In this investigation, the cell-point methodology was used to compare the observed values with the predicted values. Data was processed and the corresponding statistics were calculated for evaluation. It was concluded that Nowcasting and Very Short Range Prediction System showed good skills to the forecasting of this bioclimatic index in Cuba during 2019. The biggest errors in the forecast were obtained at night and in winter season, mainly in stations located in mountainous areas.

**Key words:** verification, equivalent effective temperature, numerical forecast, thermal sensations.

## INTRODUCCIÓN

La sensación de bienestar o malestar debido a la variación de las variables meteorológicas es un rasgo importante del estado del tiempo para las personas. Lo que se siente como combinación de la temperatura ambiente con el viento y con la humedad, es lo que se conoce con el concepto de sensación térmica (Portela *et al.*, 2000). Para el análisis de las sensaciones

térmicas se emplean índices e indicadores muy variados. Un índice es “una medida que intenta sintetizar en un valor único la información de diversas variables sobre una determinada magnitud del fenómeno que se describe en el tiempo y el espacio. Además, permite representar convencionalmente el grado o intensidad de una determinada cualidad o fenómeno” (Guevara, 2013).

\*Autor para correspondencia: [daisladys.gomez@insmet.cu](mailto:daisladys.gomez@insmet.cu)

\*\*E-mail: [dunyhernandez92@gmail.com](mailto:dunyhernandez92@gmail.com)

\*\*\*E-mail: [leinsoramas3@gmail.com](mailto:leinsoramas3@gmail.com)

\*\*\*\*E-mail: [pedro.roura@insmet.cu](mailto:pedro.roura@insmet.cu)

Recibido: 06/04/2023

Aceptado: 16/05/2023

Los primeros índices bioclimáticos aparecen a finales del siglo XIX; desde entonces, se han sucedido las investigaciones en este campo dando lugar a la existencia de más de 150 índices de confort (Fernández *et al.*, 2012). Este enfoque está ampliamente difundido en el ámbito internacional pero aún no existe consenso sobre cuál es el más adecuado, debido a que su utilidad depende de factores físicos, geográficos y biológicos. Dentro de los índices bioclimáticos más difundidos en Cuba se encuentra la Temperatura Efectiva Equivalente (TEE) (Santana, 2004; Guevara, 2006; Castillo, 2014; Barcia *et al.*, 2020) el cual se considera entre los más efectivos para el análisis de las sensaciones térmicas en el archipiélago (Barcia *et al.*, 2021).

En la actualidad muchas actividades socioeconómicas se planifican de acuerdo con los pronósticos meteorológicos; de ahí, la necesidad de aunar esfuerzos en aras de incrementar cada vez más la certeza en la predicción del tiempo, así como la incorporación de nuevas variables o índices e indicadores meteorológicos. La predicción del tiempo se efectúa de disímiles formas: desde el análisis de mapas sinópticos, los datos de aire superior, imágenes de satélite y radares; mediante el uso de métodos estadísticos; y hasta la modelación computacional, de extraordinaria importancia como una herramienta en la elaboración de los pronósticos a corto y mediano plazo (Díaz, 2010).

Los modelos de pronóstico numérico del tiempo son en la actualidad una de las herramientas más utilizadas por los pronosticadores. El modelo de predicción e investigación meteorológica (WRF, por sus siglas en inglés) es un sistema de predicción meteorológica numérica de mesoescala de próxima generación diseñado para satisfacer las necesidades tanto de investigación atmosférica como de predicción operativa. El modelo sirve para una amplia gama de aplicaciones meteorológicas en escalas que van desde decenas de metros a miles de kilómetros (Sierra *et al.*, 2014). En Cuba, el Sistema de Pronóstico Inmediato (SisPI), que se encuentra operativo en el Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología, complementa y diversifica la información que brindan los modelos globales y regionales disponibles para la elaboración

de los pronósticos y tiene como objetivo fundamental el pronóstico numérico de eventos meteorológicos de escala local.

La verificación es una parte esencial del sistema de pronóstico, pues proporciona un método para elegir entre los procedimientos de pronóstico y cuantificar las mejoras, también permite identificar las fortalezas y debilidades de los modelos de pronóstico, formando así un elemento crucial en cualquier programa sistemático para el perfeccionamiento de los pronósticos (Brooks & Doswell, 1996).

En Cuba, el desarrollo de esta actividad ha conllevado la verificación de los pronósticos de diferentes variables meteorológicas como temperatura, humedad relativa, precipitación, presión, viento, calidad del aire (Mitrani *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2013; Turtos *et al.*, 2013; Moya & Ortega, 2015; Valdés *et al.*, 2018; Roque *et al.*, 2018; Alfonso, 2020). La reciente implementación de la TEE en los pronósticos numéricos amerita que se determine la efectividad de este producto en el SisPI a partir de los resultados obtenidos por (Barcia *et al.*, 2020), en cuanto a la caracterización espacio-temporal de esta variable. De ahí, el presente estudio tiene como objetivo verificar el pronóstico para 24 horas de la Temperatura Efectiva Equivalente implementado en el SisPI.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos utilizados y período de estudio

El modelo WRF fue corrido con los datos del modelo GFS (Sistema Global de Predicción) correspondientes al año 2019. Se utilizó la corrida de SisPI inicializada a las 12:00 UTC de las variables velocidad del viento, temperatura y humedad relativa, que fueron empleadas para el cálculo de TEE. Fue escogida la inicialización de las 12:00 UTC por ser la que arroja mejores resultados en cuanto a la precisión del pronóstico (Alfonso, 2020). Para la evaluación fueron utilizados los datos de la red de estaciones meteorológicas de Cuba las que se agruparon en costeras, interiores y montañosas (Barcia *et al.*, 2020) y cuya distribución espacial se muestra en la figura 1.

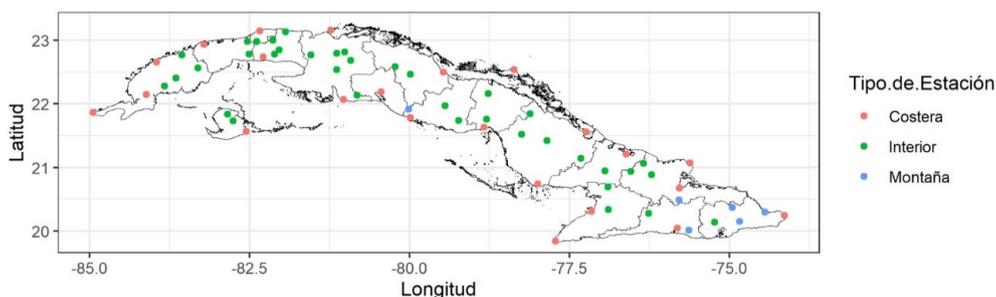


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio. Elaboración propia

## VARIABLES DE ESTUDIO

Fue calculado el índice bioclimático TEE mediante la fórmula de Brooks (Guevara et al., 2017):

$$TE = t - \frac{G}{80}(0.00439T^2 + 0.456T + 9.5) \quad (1)$$

$$TEE = TE + W[(0.11T - 0.13) - 0.002TG] \quad (2)$$

Donde:

$G = 100 - r$ , donde  $r$  es la humedad relativa del aire en %.

$T = t - 37$ : diferencia entre la temperatura del aire ( $t$ ) y la del cuerpo humano.

$W$ : velocidad del viento a 2 m de altura, que proviene de la relación  $0.67V$ , donde  $V$  es la velocidad del viento a 10 m de altura (al nivel de la estación meteorológica), en m/s.

## METODOLOGÍA

Para la verificación del pronóstico de esta variable se seleccionó la metodología celda-punto, pues se dispone de una base de datos de observaciones puntuales proveniente de estaciones meteorológicas. Este método permite comparar los valores de las observaciones puntuales con los valores pronosticados correspondientes a la celda donde se sitúa esa observación. De no coincidir, se interpola la salida del modelo a las coordenadas de la estación. Una vez interpolados los datos, es posible el cálculo de diferentes estadígrafos que se describen seguidamente:

Error Absoluto Medio ( $mae$ ): es definido como el promedio de los valores absolutos de los errores individuales de pronóstico, con un rango de valores definido por  $[0; +\infty]$ .

$$mae = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_i| \quad (3)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$$e = O - P \quad (4)$$

Error Cuadrático Medio ( $mse$ ): se define como la media de las diferencias al cuadrado entre el pronóstico y la observación.

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (5)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$$e = O - P \quad (4)$$

Error Relativo Medio ( $mre$ ): es el coeficiente entre el error absoluto de la medida y el valor real de esta.

$$mre = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(e_i)}{O_i} \cdot 100 \quad (6)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$O$ : son los valores observados

$$e = O - P \quad (4)$$

Desviación Estándar de los valores pronosticados ( $desv_{est}P$ ): es una medida que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión del conjunto de datos de las variables pronosticadas

$$desv_{est}(P) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \quad (7)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$P$ : son los valores pronosticados

$\bar{P}$ : es la media de los valores pronosticados

Desviación Estándar de los valores observados ( $desv_{est}O$ ): es una medida que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión del conjunto de datos de las variables observadas.

Donde:

$$desv_{est}(O) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$O$ : son los valores observados

$\bar{O}$ : es la media de los valores observados

Coefficiente de Ajuste ( $a_i$ ): indica un buen ajuste del modelo para valores próximos a 1.

$$a_i = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (e_i)^2}{\sum_{i=1}^N ((O_i - \bar{O}) + (P_i - \bar{P}))^2} \quad (9)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$P$ : son los valores pronosticados

$O$ : son los valores observados

$\bar{O}$ : es la media de los valores observados

$\bar{P}$ : es la media de los valores pronosticados

$$e = O - P \quad (4)$$

Coefficiente de Correlación de Pearson ( $p_{cor}$ ): mide la relación estadística entre dos variables continuas. Puede tomar un rango de valores entre -1 y 1, un valor de cero indica que no hay asociación entre las dos variables, un valor mayor que cero indica una asociación positiva, y un valor menor que cero indica una asociación negativa.

$$p_{cor} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (10)$$

Donde:

$N$ : es el número de valores analizados

$P$ : son los valores pronosticados

$O$ : son los valores observados

$\bar{O}$ : es la media de los valores observados

$\bar{P}$ : es la media de los valores pronosticados

## RESULTADOS

En la [tabla 1](#) se muestran los resultados de la verificación anual para Cuba del pronóstico de la TEE con el SIsPI. Los mismos se expresan mediante los valores de los estadígrafos calculados.

La [figura 2](#) muestra la variación estacional que presentan estos estadígrafos cuando se analiza el comportamiento de la TEE considerando a Cuba como un punto. Los valores obtenidos de  $mae$  evidencian una marcada estacionalidad con los mínimos en los meses del período cálido, alcanzando el valor más bajo en

**Tabla 1.** Valores anuales de los principales estadígrafos de verificación para Cuba

<i>mae</i>	<i>mse</i>	<i>mre</i>	<i>desv<sub>est</sub>(P)</i>	<i>desv<sub>est</sub>(O)</i>	<i>a<sub>i</sub></i>	<i>p<sub>cor</sub></i>
1.76	5.15	4.61	3.97	3.26	0.9	0.86

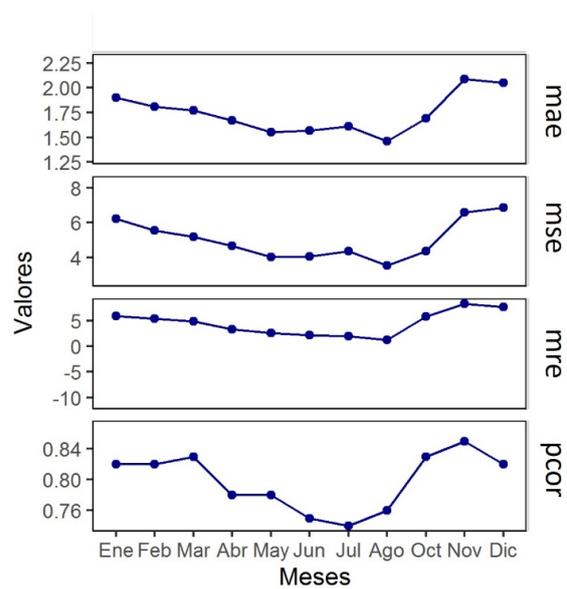
el mes de agosto (1.46) y el mayor valor en el mes de noviembre (2.09). Para el *mse* fueron obtenidos los menores valores en los meses correspondientes al verano, con un mínimo en el mes de agosto (3.55), mientras que los mayores errores se obtuvieron en los meses de noviembre (6.6) y diciembre (6.86). Fueron obtenidos valores positivos de *mre*, alcanzando los mayores errores en los meses de noviembre (8.31) y diciembre (7.62). El Índice de Correlación de Pearson, muestra valores cercanos a uno, obteniendo los máximos valores en el mes de noviembre. Los valores más pequeños se obtienen en el período cálido, alcanzando en el mes de julio el menor valor.

El Índice de Ajuste en la **figura 3** muestra, valores próximos a uno, principalmente en los meses correspondientes al invierno. El máximo valor se obtiene en los meses de enero y marzo (0.88). La desviación estándar de los valores pronosticados es superior a la desviación estándar de los valores observados, con valores que oscilan entre 2.74 y 3.92, alcanzando los valores máximos en el mes de enero (**Figura 3**).

Durante el horario diurno, los valores obtenidos de *mae* son más pequeños, alcanzando el mínimo error a las 15:00 UTC (1.09) y el máximo a las 00:00 UTC (2.21). En cuanto al *mse*, los mayores errores se presentan en el horario de la noche, alcanzando el máximo valor a las 00:00 UTC (7.61). Los valores de *mre* obtenidos fueron positivos y alcanzaron valores de hasta 8.81 (**Figura 4**).

El Índice de Correlación de Pearson muestra valores entre 0.7 y 0.89 (**Figura 4**). A partir de las 09:00 UTC se observa un aumento de dicho valor, alcanzando el máximo a las 15:00 UTC, para luego comenzar a disminuir hasta obtener un mínimo a las 00:00 UTC.

En la **figura 5** al analizar el Índice de Ajuste, fueron obtenidos valores mayores a 0.74. Se observan en el horario diurno los valores más cercanos a uno,

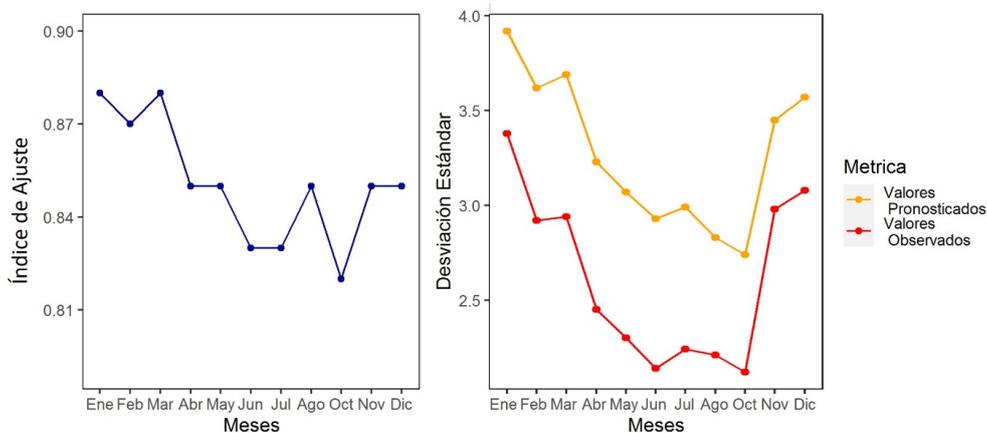


**Figura 2.** Valores de *mae*, *mse*, *mre*, *p<sub>cor</sub>* para TEE en Cuba durante 2019

alcanzando a las 15:00 UTC el máximo valor (0.93), mientras que los menores valores se obtienen en horas la noche.

La desviación estándar de los valores pronosticados es superior a la desviación estándar de los valores observados, mostrando valores que oscilaron entre 2.89 y 3.36, alcanzando el máximo valor en el horario de las 12:00 UTC (**Figura 5**). También se muestra que para los valores observados la desviación estándar alcanza los valores máximos en este mismo horario.

Un análisis más detallado de la efectividad del pronóstico de la TEE se realiza a continuación al evaluar las principales diferencias entre las estaciones meteorológicas de Cuba. En la **figura 6** se muestra que los máximos valores de *mae* y *mse* se alcanzan en la



**Figura 3.** Valores de Índice de Ajuste (Izquierda) y Desviación Estándar (Derecha)

estación meteorológica Pinares de Mayarí, ubicada en la provincia Holguín, en el mes de diciembre. Los valores obtenidos de *mae* oscilaron entre 0.84 y 4.24, el valor mínimo se muestra en el mes de octubre, en la estación meteorológica de Guantánamo. Esta misma estación meteorológica en el mes de octubre obtuvo el mínimo valor de *mse*, para este estadígrafo se obtuvieron valores entre 1.13 y 27.65. En cuanto a *mae*, *mse* y *mre*, se obtienen los mayores valores en los meses del período de invierno, siendo en las estaciones ubicadas en zonas montañosas donde se alcanzan estos valores y se observa la mayor heterogeneidad en dicho período.

El análisis realizado por estaciones meteorológicas en los horarios de observaciones, evidencia que los valores de *mae* oscilaron entre 0.7 y 4.72 (Figura 7), el máximo valor se obtiene a las 03:00 UTC en la estación meteorológica localizada en Pinares de Mayarí, Holguín y el mínimo valor, a las 15:00 UTC en la estación meteorológica ubicada en Júcaro, Ciego de Ávila. Los menores errores se presentan en el horario diurno y se pueden observar en las estaciones ubicadas en las zonas costeras del país, mientras que las estaciones ubicadas en zonas montañosas son las que muestran los mayores errores en este horario. La mayor heterogeneidad se presenta en el horario nocturno, en las estaciones localizadas en las zonas montañosas del país.

El *mre* alcanza valores entre -5.42 y 41.19 (Figura 7), el máximo valor se muestra a las 03:00 UTC en la estación meteorológica ubicada en Santiago de las Vegas, en el horario nocturno las estaciones ubicadas en las zonas montañosas muestran una mayor heterogeneidad. Para el *mse*, el máximo valor se muestra a las 03:00 UTC en la estación meteorológica de Pinares de Mayarí en la provincia de Holguín, mientras que el mínimo valor se muestra a las 15:00 UTC en la estación meteorológica ubicada en Júcaro, Ciego de Ávila. Los mayores errores se presentan en el horario nocturno, lo cual se ve reflejado en los gráficos, en este horario las estaciones de mayor error son las ubicadas en las zonas montañosas.

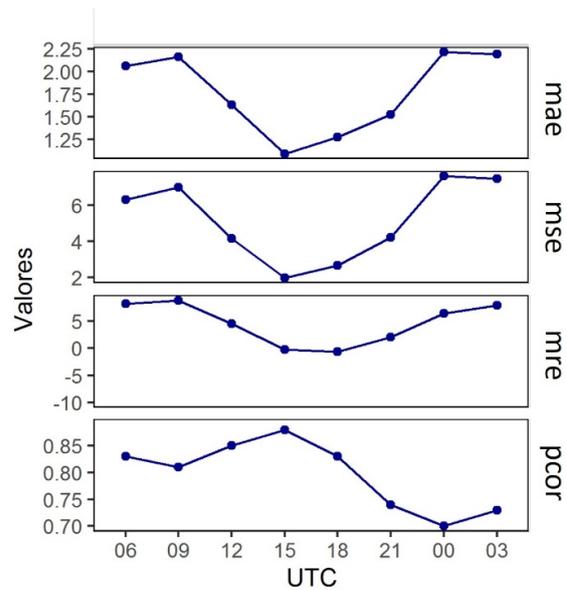


Figura 4. Valores de *mae*, *mse*, *mre*, *pcor* para Cuba durante 2019

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este estudio se ha realizado una verificación del pronóstico numérico del índice bioclimático Temperatura Efectiva Equivalente, el cual ha sido implementado recientemente en el SisPI. Para ello se realizó el análisis con la información disponible del 2019 y se emplearon las observaciones de 67 estaciones meteorológicas distribuidas por toda Cuba para identificar las diferencias en la efectividad de estos pronósticos.

De forma general, el *mae* indica una buena habilidad del modelo para representar el comportamiento de la variable en el año de análisis. Por su parte el *mre* si bien mostró valores por encima de cero, esto puede estar asociado a que para todo el año en general, el modelo tiende a sobreestimar los valores de las variables temperatura, humedad relativa y viento (Alfonso, 2020). Por su parte el alto valor que se obtuvo de  $\alpha_i$  mostró la exactitud del pronóstico del modelo para

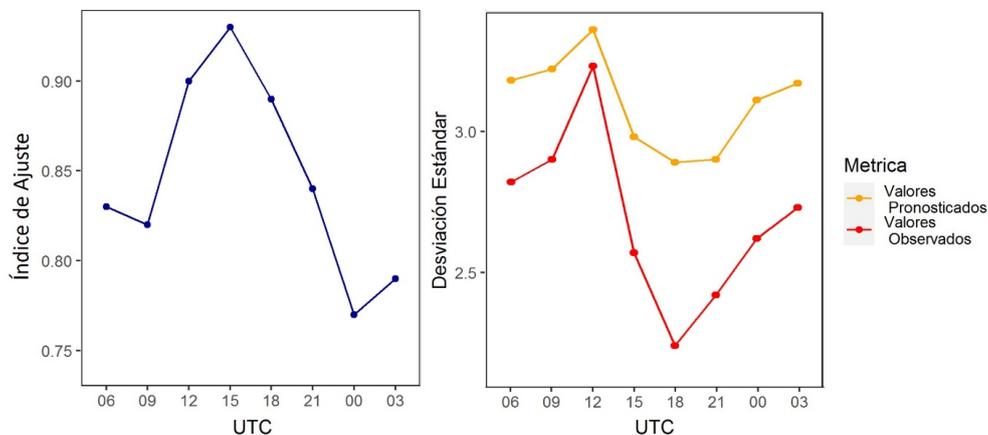


Figura 5. Valores de Índice de Ajuste (Izquierda) y Desviación Estándar (Derecha)

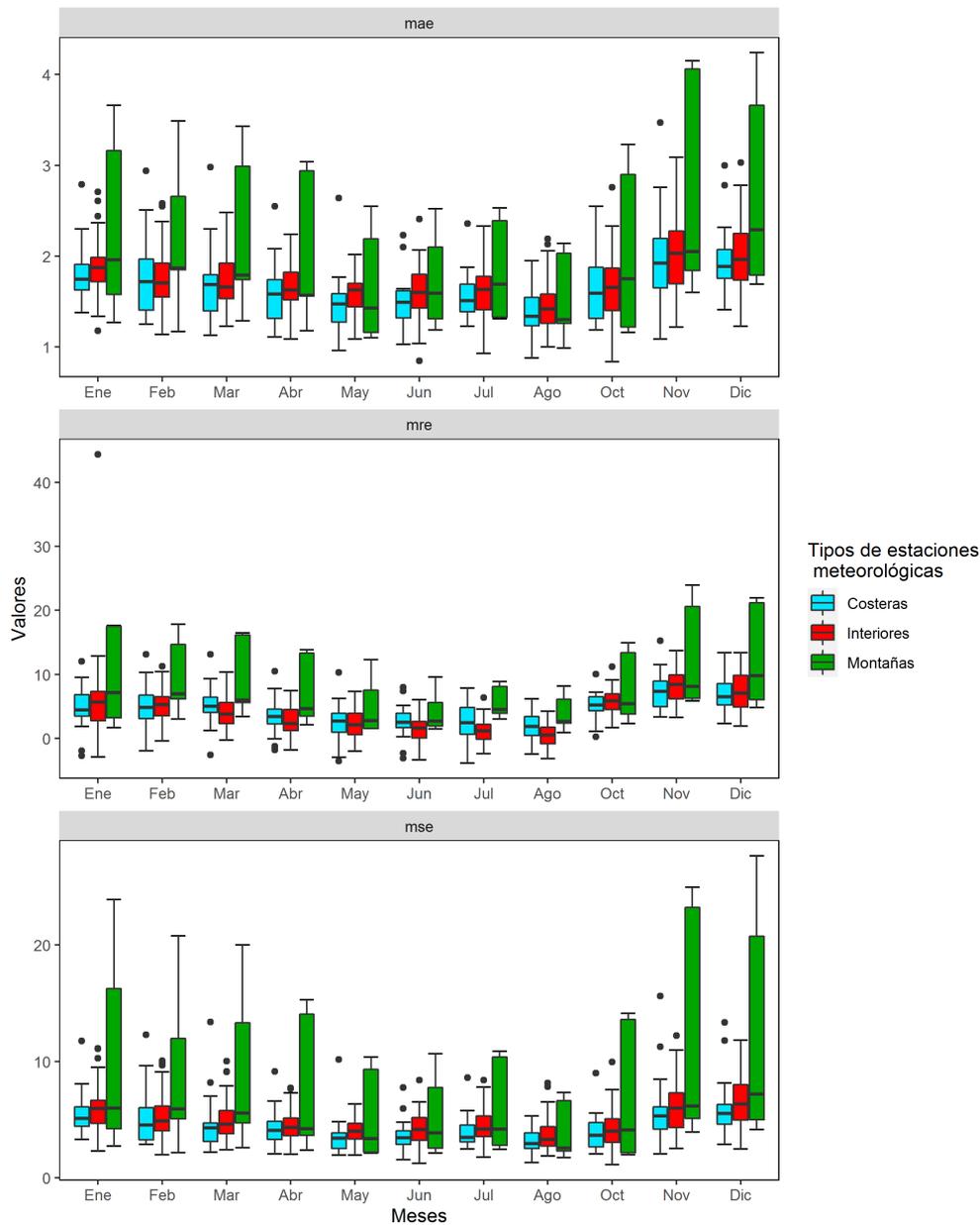


Figura 6. Valores de *mae* , *mre* y *mse* según el tipo de estación meteorológica

este índice bioclimático. La  $p_{cor}$  fue positiva y con valores cercanos a uno lo que ratifica la correspondencia directa entre lo pronosticado por el modelo y el comportamiento de las variables en estudio, corroborando así los resultados obtenidos por (Alfonso, 2020), donde fueron alcanzados para las variables meteorológicas humedad relativa, viento y temperatura valores de  $a_i$  y  $p_{cor}$  cercanos a uno.

La variación mensual para Cuba evidenció que los valores de *mae* obtenidos mostraron una marcada estacionalidad en correspondencia con las variaciones propias de las variables meteorológicas del país. Los altos valores de *mae* y *mse* obtenidos en noviembre y diciembre pueden estar asociados a que, atendiendo a la actividad frontal, estos meses se consideraron más activos que lo usual o cercano a la norma, ya

que afectaron a Cuba durante el mes de noviembre 2 frentes fríos y en diciembre 4, que fueron clasificados de débil o moderados. Estos resultados obtenidos para *mae* , *mse* y *mre* pueden estar asociados a que para todo el año en general el modelo tiende a sobreestimar los valores de temperatura, humedad relativa y viento (Alfonso, 2020). Los altos valores de correlación entre lo observado y pronosticado indican que el modelo hace una buena representación de la variable estudiada.

En cada uno de los meses del año se reafirma la gran habilidad del modelo en el pronóstico de la variable estudiada, así lo muestra los resultados obtenidos para el índice de ajuste. Los valores de desviación estándar son superiores en los meses del período de invierno, esto puede deberse a las variaciones locales que presentan las variables, por la ocurrencia en este

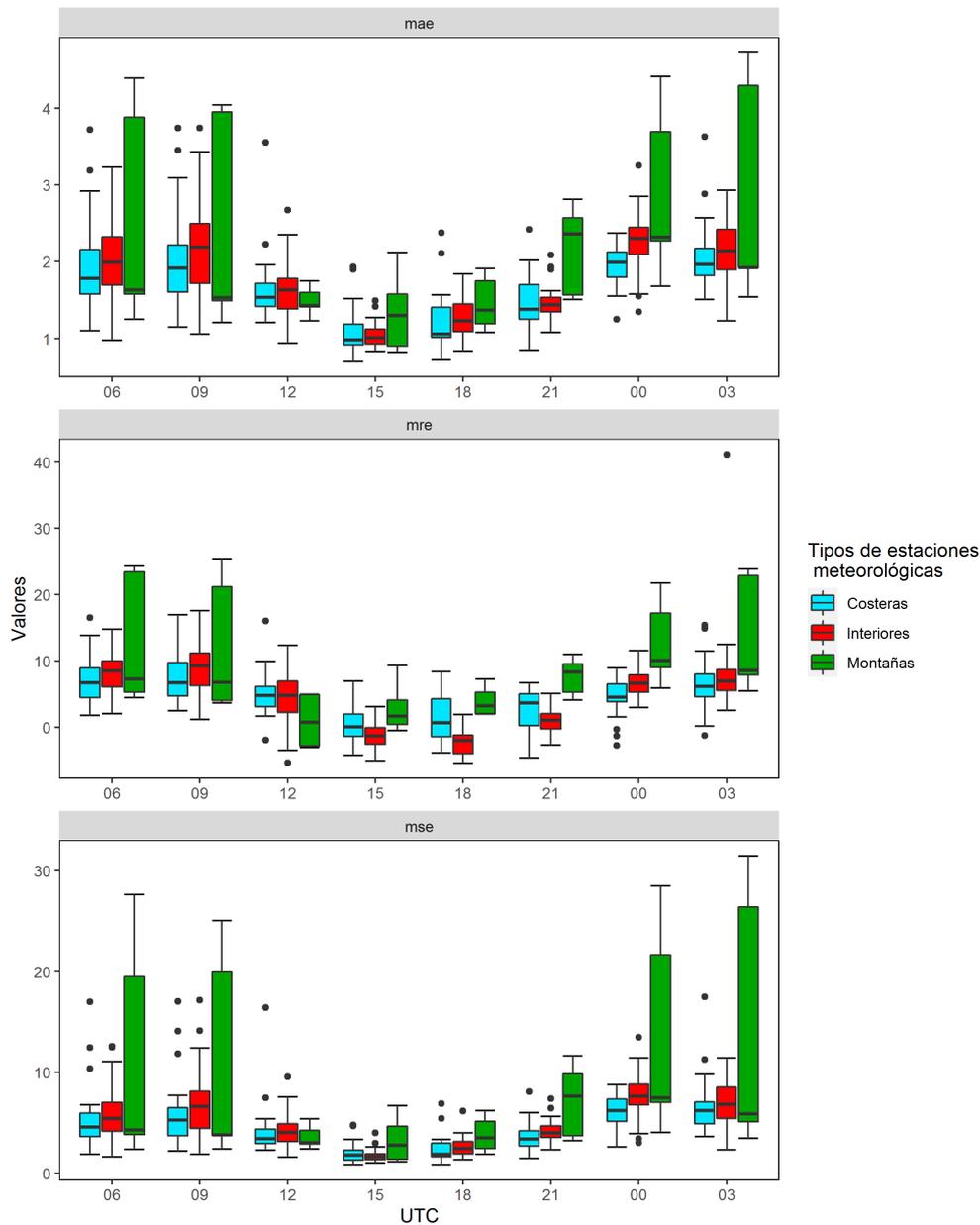


Figura 7. Valores de *mae*, *mre*, *mse* para la TEE según el tipo de estación meteorológica

período de fenómenos como neblinas, la influencia de poca nubosidad y las calmas de viento que favorecen los procesos de irradiación nocturna, y que provocan una disminución en la temperatura. También está el hecho de que en este período se dan los intercambios de masas de aire entre latitudes medias y la zona tropical, que pueden afectar una región específica del país (fundamentalmente el occidente y centro), esto trae consigo una mayor diferencia en los valores de las estaciones de tipo interior, costeras y de montaña por lo que los valores de desviación van a ser mayor.

Como bien se evidencia las estaciones presentan diferencias entre sí. Dentro de las estaciones ubicadas en zonas montañosas, las que mostraron los máximos errores fueron la estaciones meteorológicas Topes de Collantes y Pinares de Mayarí, que son las que se encuentran a una mayor altura de las consideradas en

el estudio, los altos errores en estas estaciones pueden estar asociados a que una de las deficiencias del modelo es que tiende a subestimar la altura, es decir, ubica estas estaciones a una menor altura, por lo que no logra reflejar adecuadamente el comportamiento de las variables meteorológicas en esas zonas, fundamentalmente el viento, de ahí el comportamiento para este índice particularmente.

Las diferencias en el horario nocturno pueden deberse a la influencia del viento en este índice bioclimático pues el modelo presenta los mayores errores de viento en horas de la noche y temprano en la mañana (Sierra et al., 2014). Los valores de positivos de *mre* pueden estar asociados a la influencia del viento en este índice bioclimático pues el modelo tiende a sobreestimar los valores de esta variable meteorológica. El Índice de Correlación de Pearson indica que el

modelo hace una buena representación de las variables estudiadas en los horarios de las observaciones. Así mismo los gráficos muestran como los menores valores de  $p_{cor}$  se obtienen en las primeras horas de la mañana y de la noche, y esto puede deberse a que tal vez el modelo no logra reflejar correctamente estos horarios donde ocurren los mayores aumentos y descensos de temperatura. Los máximos valores de desviación estándar pueden deberse a que en el horario de las 12 UTC, justo antes de la salida del sol, se produce la mínima temperatura y los procesos que favorecieron el enfriamiento durante la noche son desiguales para las localidades en zonas de interior y costeras del país, por lo que en ese horario la desviación estándar puede ser superior.

Estos resultados obtenidos en la verificación del pronóstico de la Temperatura Efectiva Equivalente con SisPI durante el 2019 fueron favorables, por lo que puede considerarse como una herramienta a emplear por los pronosticadores. Cabe destacar que en la investigación solo fue considerado un año de estudio, esto debido a la disponibilidad de los datos de las variables pronosticadas por el modelo, por lo que es necesario tener en cuenta la posibilidad de que en otros períodos de estudio con una caracterización diferente y donde exista la afectación de algún organismo tropical u otros factores meteorológicos, los resultados arrojados en la investigación no sean tan favorables. Sin embargo, como punto de inicio, los resultados aquí obtenidos pueden servir para un posterior empleo de pronósticos de índices bioclimáticos más certeros.

Un segundo paso de esta investigación sería conocer que tan factible son los pronósticos de sensaciones térmicas obtenidos a partir de la Temperatura Efectiva Equivalente y en mayor plazo los posibles pronósticos de Condición de Calor Intenso y Condición de Frío Intenso.

El pronóstico y monitoreo de forma operativa de la TEE permitirá la vigilancia de las sensaciones térmicas en Cuba y de las condiciones de calor y frío intenso que se puedan producir lo que a su vez contribuirá al pronóstico meteorológico y vigilancia climática de eventos de extremos térmicos potencialmente capaces de impactar en la salud, así como en otras actividades económicas priorizadas del país (Barcia et al., 2020).

## CONCLUSIONES

El pronóstico del comportamiento de la Temperatura Efectiva Equivalente con SisPI durante el 2019 se correspondió acertadamente con los valores observados, obteniendo valores de Índice de Ajuste y Correlación de Pearson cercanos a uno.

Los mayores errores de pronóstico se obtienen en los meses del período de invierno, siendo en las estaciones ubicadas en zonas montañosas donde se alcanzan estos valores y se observa la mayor heterogeneidad en dicho período. Dentro de las estaciones

ubicadas en zonas montañosas, las que muestran los máximos errores son la estaciones meteorológicas Topes de Collantes y Pinares de Mayarí, que son las que se encuentran a una mayor altura de las consideradas en el estudio.

Los menores errores se presentan en el horario diurno y se pueden observar en las estaciones ubicadas en las zonas costeras del país, mientras que las estaciones ubicadas en zonas montañosas son las que muestran los mayores errores en este horario

## REFERENCIAS

- Alfonso, S. (2020). *Evaluación del Sistema de Pronóstico Inmediato* [Tesis de Licenciado]. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Barcia, S.; Hernández, D. & Gómez, L. (2021). Las sensaciones térmicas en Cuba a través de la Temperatura Efectiva Equivalente y el Índice Térmico Universal del Clima. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(2), 1-14, ISSN: 2664-0880.
- Barcia, S.; Hernández, D.; Velázquez, B.; Armas, O.; Otero, M.; Guevara, A. V.; Estrada, Y.; Gómez, D.; Gómez, L. & Fernández, N. (2020). *Efectos meteoro-tropicos peligrosos asociados a las sensaciones térmicas extremas en Cuba*. (Informe Científico Técnico) (p. 207). La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología.
- Brooks, H. E. & Doswell III, C. A. (1996). A Comparison of Measures-Oriented and Distributions-Oriented Approaches to Forecast Verification. *Weather and Forecasting*, 11(3), 288-303, [https://doi.org/10.1175/15200434\(1996\)011<0288:ACOMOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200434(1996)011<0288:ACOMOA>2.0.CO;2).
- Castillo, C. (2014). *Sensaciones térmicas y extremos bioclimáticos por calor en la provincia Cienfuegos* [Tesis de Licenciado]. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Díaz, E. (2010). *Evaluación del pronóstico numérico del tiempo a corto plazo para Cuba con el modelo de mesoescala MM5V3* [Tesis de Licenciado]. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Díaz, O.; Sierra, M.; Quintana, N.; Alonso, Y.; González Mayor, Y.; Díaz, Y.; Ojeda, M.; Pérez, A. & Carrasco, M. (2013). *Asimilación y desarrollo de métodos de evaluación de pronóstico numérico para Cuba y Mares Interamericanos*. (Informe de Resultado Científico) (p.122). La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología.
- Fernández, F.; Galán, E. & Cañada, R. (2012). Caracterización del régimen bioclimático medio del área metropolitana de Madrid, mediante la aplicación de la temperatura fisiológica (PET). *Territoris*, 8, 83-101.

- Guevara, A. V. (2006). *Las condiciones de calor intenso como indicador de extremos bioclimáticos en Ciudad de La Habana* [Tesis de Maestría]. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Guevara, A. V. (2013). *Breve introducción a la sensación térmica y los índices de confort o bienestar en el mundo*. Taller Nacional sobre índices de sensación térmica y su implementación en los servicios climáticos en el contexto de la variabilidad del clima y el cambio climático, Cuba.
- Guevara, A. V.; León, A. & Hernández, D. (2017). Sensaciones térmicas en la Isla de la Juventud. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(3), 328-340, ISSN: 2664-0880.
- Mitrani, I., Borrajero, I., & Bezanilla, A. (2006). Pronóstico de lluvia sobre territorio cubano al paso de los huracanes Charley e Iván, usando MM5V3. En *Climate Variability and Change-Hydrological Impacts* (pp. 201-206). IAHS. ISBN: 978-1-901502-78-7.
- Moya, A. & Ortega, J. (2015). Aplicación del modelo meteorológico WRF para el pronóstico de precipitaciones en período lluvioso de Cuba, 2014. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 5(1), ISSN: 2225-515X, DOI: [10.18259/acs.2015021](https://doi.org/10.18259/acs.2015021).
- Portela, M.; Guevara, A. & León, A. (2000). Cálculo y Terminología de las Sensaciones Térmicas en el pronóstico diario del tiempo para Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 7(1).
- Roque, A.; Ferrer, A.; Borrajero, I. y Sierra, M. (2018). Elaboración de pronóstico energético a corto plazo para parques eólicos. *Ingeniería Energética*, 39(2), 115-122, ISSN: 1815-5901.
- Santana, M. (2004). *Estudio de las sensaciones térmicas en la provincia Ciego de Ávila* [Tesis de Maestría]. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Sierra, M.; Ferrer, A. L.; Hernández, Y.; González, Y.; Cruz, R.; Borrajero, I. & Rodríguez, C. (2014). *Sistema automático de predicción a mesoescala de cuatro ciclos diarios*. (Informe de Resultado Científico) (p.70). La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología.
- Turtos, L.; Capote, G.; Fonseca, Y.; Alvarez, L.; Gacita, M.; Bezanilla, A.; Borrajero, I.; Meneses, E. & Pire, S. (2013). Assessment of the Weather Research and Forecasting model implementation in Cuba addressed to diagnostic air quality modeling. *Atmospheric Pollution Research*, 4(1), 64-74, ISSN: 1309-1042, DOI: [10.5094/APR.2013.007](https://doi.org/10.5094/APR.2013.007).
- Valdés, A.; Cruz, R. y Roque, A. (2018). Evaluación del pronóstico de viento del modelo Weather Research Forecast (WRF) en torres de prospección eólica. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), 16-28, ISSN: 2664-0880

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflictos de intereses

**Contribución de autoría:** Concepción de la idea: **Daisladys Gómez de la Maza Santana**. Obtención de los datos: **Dunia Hernández González**. Metodología: **Daisladys Gómez de la Maza Santana**. Obtención de los resultados: **Daisladys Gómez de la Maza Santana**. Análisis estadístico: **Daisladys Gómez de la Maza Santana** y **Pedro Roura Pérez**. Discusión de los resultados obtenidos: **Daisladys Gómez de la Maza Santana**, **Osniel Armas Forteza** y **Dunia Hernández González**. Revisión: **Daisladys Gómez de la Maza Santana**, **Dunia Hernández González**, **Osniel Armas Forteza** y **Pedro Roura Pérez**. Edición: **Daisladys Gómez de la Maza Santana** y **Dunia Hernández González**.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)