

Comparación de diferentes índices bioclimáticos en Cuba

Comparison of different bioclimatic index in Cuba

Sinaí Barcia-Sardiñas ¹*, Meylin Otero-Martín ³, Dunia Hernández-González ², Dianellys Gómez-Díaz ¹, Lomberto Gómez-Camacho ³



<http://opn.to/a/uaURQ>

¹Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

²Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

³Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Villa Clara, Cuba

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo comparar diferentes índices bioclimáticos en las condiciones de Cuba y determinar su relación con las variables meteorológicas involucradas. Para esto se calculan varios índices bioclimáticos de confort térmico (Temperatura Efectiva, Temperatura Efectiva Equivalente, Heat Index, Humidex, Temperatura Aparente, Windchill, Temperatura Efectiva Estándar, Temperatura fisiológica efectiva y el Índice Térmico Universal del Clima) utilizando los datos trihorarios de 6 estaciones meteorológicas. Se analizan las relaciones estadísticas entre estos y las principales variables meteorológicas que intervienen en su cálculo, así como las diferencias de estos con la temperatura ambiente. Los índices complejos estudiados representaron muy bien el estímulo de la radiación solar en las sensaciones térmicas en Cuba. La comparación entre índices complejos y empíricos en Cuba mostró las mayores relaciones estadísticas entre el Índice Térmico Universal del Clima y la Temperatura Efectiva Equivalente, aunque este último representa mejor las sensaciones térmicas bajo ambientes húmedos confirmando su uso adecuado el país. Las temperaturas efectivas obtenidas por cada índice estudiado difieren en mayor o menor medida entre ellas y la temperatura ambiente real por lo que estos valores no son realmente importantes para el usuario sino la clasificación de la sensación térmica y su influencia en las personas.

Palabras claves: índices bioclimáticos, sensación térmica, Cuba.

ABSTRACT: This paper aims to compare different bioclimatic indices in the conditions of Cuba and determine their relationship with the meteorological variables involved. For this, several bioclimatic indexes of thermal comfort are calculated (Effective Temperature, Equivalent Effective Temperature, Heat Index, Humidex, Apparent Temperature, Windchill, Standard Effective Temperature, Effective Physiological Temperature and the Universal Thermal Climate Index) using the tri-hour meteorological data of six stations. The statistical relationships between these and the main meteorological variables that are involved in their calculation are analyzed, as well as their differences with the ambient temperature. The complex indices studied represented very well the stimulation of solar radiation in thermal sensations in Cuba. The comparison between complex and empirical indices in Cuba showed the greatest statistical relationships between the Universal Thermal Climate Index and the Equivalent Effective Temperature, although the last one best represents thermal sensations under humid environments confirming its proper use in the country. The effective temperatures obtained by each index studied differ between them and the real ambient temperature, so these values are not really important for the user but the classification of the thermal sensation and its influence on people.

Key words: bioclimatic indices, thermal sensations, Cuba.

*Autor para correspondencia: Sinaí Barcia-Sardiñas: E-mail: sinaí.barcia@cfg.insmet.cu

Recibido: 23/01/2020

Aceptado: 18/03/2020

INTRODUCCIÓN

De los múltiples efectos ambientales que inciden sobre el hombre, los relacionados con el clima ocupan un lugar dominante, debido, por un lado, al carácter cambiante del mismo y por otro a las características fisiológicas del ser humano. Dentro de esta problemática, el tema de las sensaciones térmicas es uno de los fundamentales ya que es una muestra objetiva de la influencia del clima sobre el hombre.

Desde este punto de vista, [Givoni \(1969\)](#) definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos. Por su parte [Urriola \(2009\)](#) la define como, “aquella sensación aparente percibida por las personas en función de los parámetros determinantes del ambiente en el cual se mueven. Depende de la relación entre el calor que produce el metabolismo del cuerpo y el disipado hacia el entorno. Si es mayor el primero, la sensación es de calor, mientras que si es superior el segundo la sensación es de frío”.

La temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar son las variables determinantes en estas sensaciones, en las cuales también tienen una marcada influencia factores no climáticos que varían indistintamente, como la edad y el sexo de las personas, la alimentación, las tradiciones, la cantidad y el tipo de vestuario, el nivel de actividad física y el metabolismo de ellas ([Guevara, León y Hernández, 2017](#)).

Existen diversas formas de expresar la sensación y el estrés térmico de las personas. Esto es, a través de la(s) variable(s) meteorológicas involucradas o complejo de variables y de índices bioclimáticos. 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, Galán y Cañada, 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.

Los estudios recientes sobre el confort bioclimático mantienen los enfoques básicos señalados por [Morgan y Baskett \(1974\)](#): el enfoque analítico o racional, basado en el balance energético humano, y el enfoque sintético o empírico, fundamentado en combinaciones de diversas variables meteorológicas ([Tornero, Pérez y Gómez, 2006](#)). Los índices empíricos o simples ignoran el papel decisivo de la fisiología humana, la actividad, la ropa y otros datos personales (altura, peso, edad, sexo, entre otros), entre estos se tiene: la Temperatura Efectiva (TE), Temperatura Efectiva Equivalente (TEE), Temperatura Aparente (TA), Windchill (WCI), Índice de Calor (HI) y el Humidex, entre otros. Por su parte los índices racionales o complejos suelen estar desarrollados por técnicas informáticas, y dependen del equilibrio de energía del cuerpo humano ([Höppe, 1993](#)), entre los más conocidos se tiene: el Voto Medio Previsto (PMV), la Temperatura Fisiológica Efectiva, (PET), la Temperatura Efectiva Estándar (SET) y el Índice Térmico Universal del Clima (UTCI).

El uso de índices bioclimáticos es de los enfoques más empleados en Cuba y dentro de ellos la Temperatura Efectiva y la Temperatura Efectiva Equivalente son los más usados y así lo constatan los trabajos de [Santana \(2004\)](#), [Guevara \(2006\)](#) y [Castillo \(2014\)](#).

Este artículo tiene como objetivo: Comparar diferentes índices bioclimáticos en las condiciones de Cuba y determinar su relación con las variables meteorológicas involucradas.

Siguiendo las recomendaciones realizadas por [Barcia, Guevara, Estrada y Otero \(2018\)](#) se estudia el comportamiento de los índices Temperatura Efectiva, Temperatura Efectiva Equivalente y el Índice Térmico Universal del Clima (UTCI) para caracterizar climáticamente las sensaciones térmicas en Cuba. Además, se incluye el análisis de otros índices como la Temperatura Aparente, el Windchill, el Humidex, el Heat Index, la Temperatura Efectiva Estándar y la Temperatura Fisiológica Equivalente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió 6 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología, [Figura 1](#) y [Tabla 1](#).

Los datos climáticos trihorarios utilizados incluyeron las siguientes variables: temperatura seca (°C), temperatura húmeda (°C), humedad relativa (%), velocidad de viento (m/s). Estos datos fueron extraídos del Centro del Clima del INSMET, para el período 1981-2017.

Los datos fueron sometidos a pruebas de calidad validándose por distintas vías: comparación inicial con los valores extremos absolutos de las variables en el período, cálculo de estadígrafos de posición y dispersión, muestreos gráficos a subconjuntos de datos de los ficheros y análisis individual de valores dudosos.

Comparación de índices bioclimáticos seleccionados

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](#)). En este sentido los índices bioclimáticos integran el efecto de dos o más variables e intentan describir cómo actúa el medio ambiente atmosférico sobre el organismo humano, a partir de observaciones experimentales ([Santana, 2004](#)).

Los índices empíricos o simples se basan en fórmulas obtenidas estadísticamente con base en la aplicación de encuestas de sensación térmica en sujetos en ambiente libre. En cambio, los índices racionales o complejos se basan en ecuaciones obtenidas con base en el comportamiento fisiológico y el estrés térmico de sujetos evaluados en laboratorios o cámaras de ambiente controlado.

En el presente trabajo se determinaron las relaciones estadísticas entre índices bioclimáticos simples (Índice de calor, HI; Humidex; WindChill, WCI; Temperatura Efectiva, TE; Temperatura Efectiva Equivalente, TEE; Temperatura Aparente,

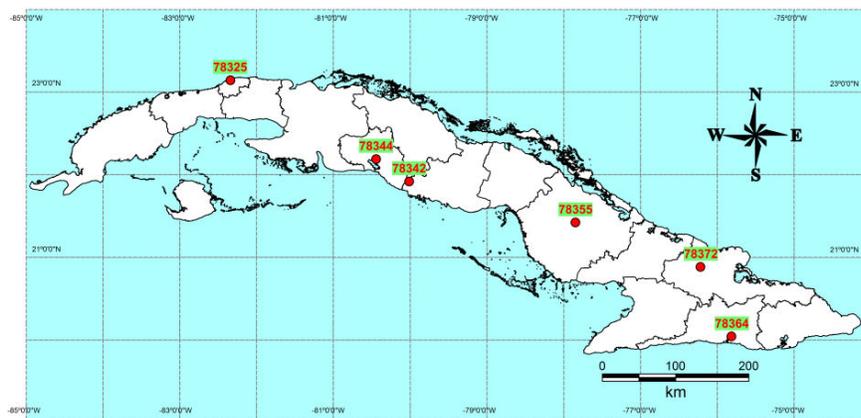


Figura 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Tabla 1. Indicativo y principales datos geográficos de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

| No. Estación | Nombre | Long | Lat | Altura (m) | Distancia a la costa (km) |
|--------------|--------------------|----------|---------|------------|---------------------------|
| 78325 | Casablanca | -82.3422 | 23.1433 | 62.3 | 0.14 |
| 78342 | Topes de Collantes | -80.015 | 21.9186 | 774.00 | 12.75 |
| 78344 | Cienfuegos | -80.4442 | 22.19 | 42.00 | 3.55 |
| 78355 | Camagüey | -77.85 | 21.4222 | 119.00 | 42.50 |
| 78364 | Santiago de Cuba | -75.8172 | 20.0433 | 45 | 2.92 |
| 78372 | Pedagógico | -76.2211 | 20.8844 | 156 | 24.94 |

TA) y aquellos derivados del balance de calor humano (Índice de Confort Térmico Universal, UTCI; Temperatura Fisiológica Equivalente, PET; Temperatura Efectiva Estándar, SET). En el análisis además se incluyó un índice no térmico, el Voto Medio Previsto (PMV).

El cálculo de cada uno de los índices estudiados se basó en las siguientes ecuaciones:

- Temperatura Efectiva (TE) y Temperatura Efectiva Equivalente (TEE)

Se utilizó la fórmula de Brooks ([Bútieva, Ilichiova y Kornilova, 1984](#)):

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

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

Donde:

t - Temperatura del aire

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

$T = t - 37$ - diferencia entre la temperatura del aire 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.

- El índice de enfriamiento Windchill

$$WCI = 13.13 + 0.62 * t - 13.95 * W^{0.16} * 0.486 * t * W^{0.16} \quad (3)$$

Donde:

WCI - representa el poder refrigerante del aire expresado en kcal/m².h¹

W - velocidad del viento en m/s y

t - temperatura del aire en °C

Es obvio que el índice pierde significado para $v=0$, por lo que solo puede ser aplicado con velocidades superiores a determinado umbral, usualmente 2.2 m/s.

- Temperatura Aparente

Se utilizó la fórmula empleada por el Buró de Meteorología de Australia, la cual incluye dos versiones de cálculo: una que tiene en cuenta el efecto de la temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación; y otra que no incluye la radiación. En este caso se ha empleado la última cuya ecuación es:

$$T_a = t + 0.33 * e - 0.70 * W - 4.00 \quad (4)$$

Donde:

t - temperatura del aire (°C)

e - presión de vapor, la cual viene dada por la expresión:

$$e = r/100 * 6.105 * \exp(17.27 * t / (237.7 + t)) \quad (5)$$

r - humedad relativa (%)

W - velocidad del viento (m/s)

- Heat Index o Índice de Calor

$$HI = c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2 \quad (6)$$

Donde:

t - temperatura ambiente (°C)

r - humedad relativa (%)

$c_1 = -8.784695$, $c_2 = 1.61139411$, $c_3 = 2.338549$,

$c_4 = -0.14611605$,

$c_5 = -1.2308094 * 10^{-2}$,

$c_6 = -1.6424828 * 10^{-2}$,

$c_7 = 2.211732 * 10^{-3}$,

$c_8 = 7.2546 * 10^{-4}$, $c_9 = -3.582 * 10^{-6}$

- Humidex

$$HUMIDEX = T_a + \frac{5}{9} * (e - 10) \quad (7)$$

Donde:

t - Temperatura del bulbo seco (°C)

e - Presión parcial de vapor (hpa) que viene dada por la [ecuación 5](#)

- Índice Térmico Universal (UTCI)

Este índice fue calculado a través de la ecuación disponible en: http://www.utci.org/utci_doku.php mediante un software creado por los autores para este fin. Es válido recordar que este índice es aplicable a valores climáticos que se encuentren dentro de estos rangos:

- -50 °C t +50 °C
- -30°C $tmrt-t$ +70 °C
- 0.5 m/s W 30.3 m/s
- 5% r 100%

Donde:

t - temperatura ambiente

$tmrt$ - temperatura media radiante (los datos utilizados fueron los obtenidos a través del modelo RayMan).

W - velocidad del viento

r - humedad relativa

- Temperatura Fisiológica Efectiva (PET)

El índice PET se computó con los datos trihorarios de temperatura, humedad relativa, nubosidad y velocidad del viento a través del modelo RayMan (Marazarakis, Rutz y Mayer, 2007). El cálculo de este índice exige tener los datos de radiación global o la temperatura media radiante. Puesto que las estaciones meteorológicas de Cuba no miden esta variable este parámetro se estimó a partir de la simulación realizada en el modelo Rayman.

También es posible adaptar los valores personales como la edad, el sexo, la altura y el peso. En este estudio se usó el ideal estandarizado en el modelo MEMI (*Munich Energy Balance Model for Individuals*) según Höppe (1999) (35 años, 1.75 m y 75kg). Asimismo, se pueden cambiar otras variables en RayMan como la actividad y la ropa, pero en el índice PET está fijada una actividad de 80 W y una ropa con una resistencia térmica de 0,9 clo (MEMI) (Höppe, 1999).

RayMan, además del índice PET también puede calcular otros índices térmicos como la Temperatura Efectiva Estándar (*Standard Effective Temperature*, SET) y el Voto Medio Previsto (*Predicted Mean Vote*, PMV).

- Temperatura Efectiva Estándar (SET)

La Temperatura Efectiva Estándar se define como la temperatura del aire equivalente de un medio ambiente isotérmico al 50% de humedad relativa, en el que un sujeto, usando una vestimenta estandarizada para la actividad involucrada, tiene el mismo estrés por calor (temperatura de la piel, t_{sk}) y estrés termo-regulatorio (humedad de la piel w) como en el ambiente real.

- Voto Medio Previsto (PMV)

El PMV establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente, y asigna un voto de confort a esa cantidad de tensión.

Es válido aclarar que, excepto el PMV, el resto de los índices calculados proporcionan valores de temperaturas efectivas, sensibles o aparentes que, si bien el valor real de cada uno es adimensional, convencionalmente se le pone detrás la unidad de grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), según se haya medido la temperatura original. Entonces se dice que es la temperatura que las personas sienten o perciben, siendo un recurso que se ha probado conveniente para ilustrar a la población el sentido del índice.

Entonces, partiendo de la aclaración anterior, se plantea que las temperaturas de confort obtenidas por estos distintos índices pueden variar notablemente y generalmente es difícil conciliar los datos obtenidos por ecuaciones racionales con aquellas de tipo empírico (Humphreys y Fergus, 1998). Las dificultades en el uso comparativo de los diversos índices se ilustran en la Tabla 2. Estos índices proporcionan diferentes umbrales de temperaturas con el mismo significado de sensaciones térmicas o descripciones de alertas, respectivamente.

Esta es una de las razones por la cual la elección del método más adecuado para caracterizar el confort térmico y las sensaciones térmicas de un país es compleja y conlleva un análisis profundo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación realizada entre los diferentes índices y las variables meteorológicas muestran que la temperatura del aire es la que mejor correlaciona con todos los índices bioclimáticos estudiados, demostrando la gran dependencia de cada índice con esta variable, Tabla 3. Los mayores valores de r , superiores a 0.90, se obtuvieron para HI, TE, TEE y Ta. En segundo lugar, se encuentra la T_{mrt} que igualmente alcanzó valores de correlación significativos con todos los índices complejos. En cuanto a los índices empíricos esta variable correlacionó mejor con HI, TE, TEE y Ta con valores superiores a 0.52.

De acuerdo a la Figura 2 los valores del UTCI aumentan significativamente con la mayor contribución de la radiación al balance de calor de

Tabla 2. Umbrales de temperaturas (°C) de sensaciones térmicas (descripción de la alerta) usadas en varios índices bioclimáticos

| | HI ¹ | Humidex ² | TE/TEE ³ | WCI ⁴ | SET | PET | UTCI |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|------------------|-------|-------|----------|
| Helado (peligro extremo) | | | | <-55 | | < 4 | <-40 |
| Muy frío (Muy frío) | | | <12 | -54(-40) | | 4-8 | -40(-13) |
| Frío (Frío) | | | 12-17 | -39(-28) | | 8-13 | -13(0) |
| Fresco (Peligro Moderado) | | | 17-22 | -27(-10) | <17 | 13-18 | 0-9 |
| Confortable (sin peligro) | | 20-29 | 22-25 | >-10 | 17-30 | 18-23 | 9-26 |
| Cálido (precaución) | 27-32 | 30-39 | | | 30-34 | 23-29 | 26-32 |
| Caluroso (precaución extrema) | 32-41 | 40-45 | 25-28 | | 34-37 | 29-35 | 32-38 |
| Muy caluroso (peligro) | 41-54 | > 45 | > 28 | | > 37 | 35-41 | 38-46 |
| Calor Sofocante (peligro extremo) | > 54 | | | | | > 41 | >46 |

¹Calculada para temperaturas >27°C

²Calculada para temperaturas >20°C

³Intervalos propuestos por [León \(1988\)](#) que pueden considerarse adecuados para la población cubana, aclimatada a las condiciones cálidas y húmedas que imperan durante la mayor parte del año en Cuba.

⁴Calculada para temperaturas <10°C y velocidad del viento superior a 1.4 m/s

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los diferentes índices calculados y las variables meteorológicas: velocidad el viento (FF-m/s), temperatura (T-°C), humedad relativa (Hr-%) y temperatura media radiante (Tmrt-°C)

| r | FF | T | Hr | Tmrt |
|----------------------|-------|------|-------|------|
| HI ^a | -0.10 | 0.78 | 0.12 | 0.29 |
| Humidex ^b | 0.01 | 0.87 | -0.20 | 0.45 |
| TE | 0.06 | 0.97 | -0.39 | 0.58 |
| TEE | -0.21 | 0.91 | -0.42 | 0.54 |
| Ta | 0.01 | 0.92 | -0.25 | 0.52 |
| WCI ^c | -0.46 | 0.87 | 0.08 | 0.14 |
| PET | -0.05 | 0.83 | -0.57 | 0.89 |
| SET | -0.04 | 0.82 | -0.55 | 0.89 |
| PMV | -0.01 | 0.89 | -0.56 | 0.87 |
| UTCI | -0.16 | 0.88 | -0.47 | 0.84 |

^aCalculada para temperaturas >27°C

^bCalculada para temperaturas >20°C

^cCalculada para temperaturas <10°C y velocidad del viento superior a 1.3 m/s

la superficie del cuerpo humano. Las diferencias entre la temperatura del aire y el UTCI son muy pequeñas para situaciones en que la $T_{mrt} \sim T$, pero esta puede ser mayor a los 10 °C en situaciones de gran radiación (típicamente en las tardes de cielo despejado). Este hecho confirma la necesidad de

usar el factor de radiación en el análisis bioclimático de las sensaciones térmicas, particularmente en Cuba donde la mayor parte del año se recibe una gran radiación, [Lecha et al. \(1994\)](#).

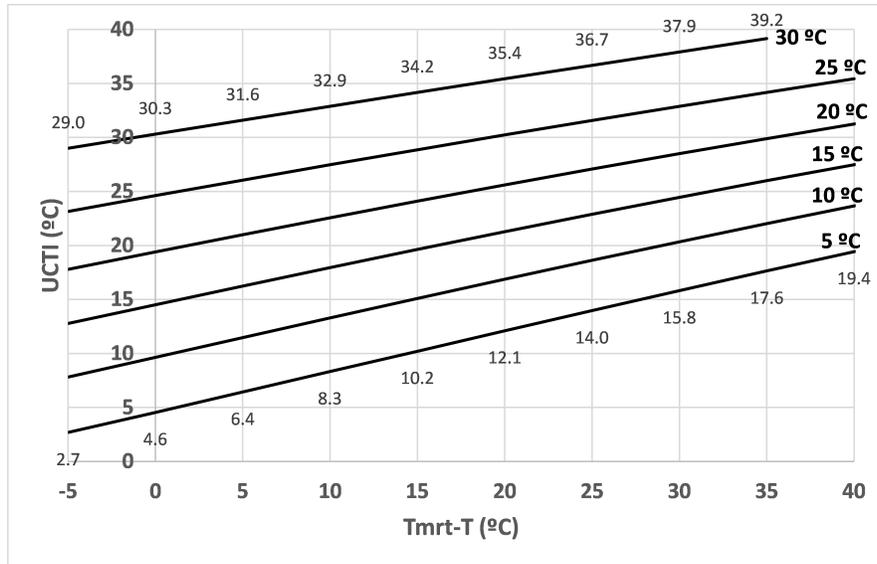


Figura 2. Dependencia del UTCI a la diferencia entre la Temperatura media radiante y la temperatura del aire. (FF=1m/s, Hr=50%).

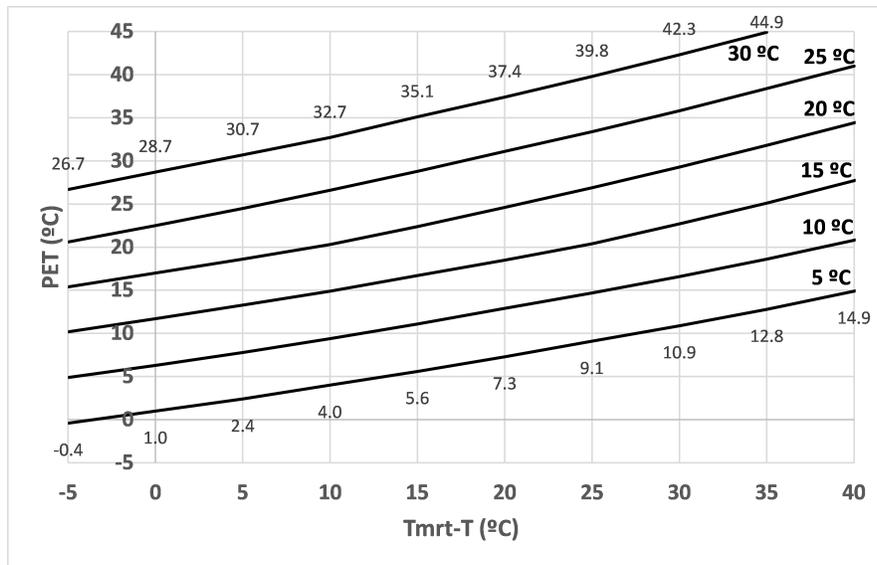


Figura 3. Dependencia del PET a la diferencia entre la Temperatura media radiante y la temperatura del aire. (FF=1m/s, Hr=50%).

El análisis realizado con el PET muestra un comportamiento similar al UTCI aunque como se observa en la [Figura 3](#) en situaciones en que la $T_{mrt} \sim T$ el valor del índice es varios grados inferior a la temperatura del aire. Por otra parte, el aumento del índice se hace más pronunciado bajo situaciones de gran radiación llegando a ser mayor que el UTCI bajo condiciones similares.

Las relaciones estadísticas entre los diferentes índices seleccionados y la velocidad del viento fueron muy débiles en el conjunto de casos analizados, no obstante se realizó un análisis más detallado para aquellos casos en que esta variable forma parte de la formulación de los índices bioclimáticos (TEE, UTCI, PET y WCI) en función de determinar su influencia para diferentes valores de temperatura.

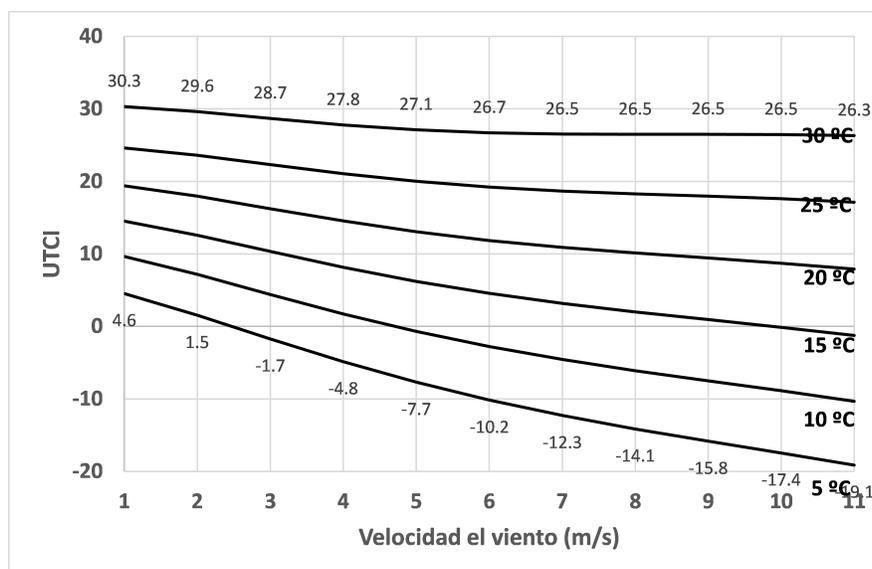


Figura 4. Dependencia del UTCI a la velocidad del viento. ($T_{mrt}=T$, $hr=50\%$).

Para el caso del UTCI la dependencia del mismo a la velocidad del viento es mayor para temperaturas del aire menores a los 20 °C, lo cual indica un mayor poder refrigerante del mismo bajo estas condiciones, [Figura 4](#). Los valores de este índice disminuyen notablemente hasta más de 10 °C de diferencia con respecto a la temperatura del aire cuando se presentan velocidades del viento por encima de los 4 m/s.

[Novak \(2013\)](#) encuentra dos problemas fundamentales a la hora de analizar el comportamiento de este índice en relación con altos valores de velocidad del viento. El primero es que con valores entre 20-27 m/s el valor del índice crece en lugar de disminuir y el segundo es que con valores de viento mayores a los 30 m/s los valores del UTCI decrecen notablemente hasta llegar incluso por debajo de 0 °C. Debido a esto este autor propone limitar a 20 m/s todos aquellos valores de velocidad del viento que superen este umbral. En este sentido la solución parece razonable debido a que el aumento del efecto de enfriamiento del viento por encima de este límite es discutible. Además, cuando la velocidad del viento supera los 20 m/s (72 km/h) las personas usualmente permanecen dentro de las edificaciones y cuando no lo están, visten ropas adecuadas minimizando la exposición de la superficie del cuerpo.

En el caso de Cuba estas condiciones de viento solo se presenta bajo situaciones sinópticas muy particulares como los frentes fríos fuertes, tormentas locales severas y los ciclones tropicales.

El índice PET presenta una menor dependencia a la velocidad del viento tal y como se ilustra en la [Figura 5](#). La mayor influencia de esta variable se observa cuando la velocidad está en el rango de 1 a 5 m/s. Por encima de este umbral la disminución del índice es apenas imperceptible.

En el caso de la TEE la dependencia de este índice a la velocidad del viento también es baja ([Figura 6a](#)) aunque aumenta notablemente bajo condiciones de alta humedad relativa ([Figura 6b](#)). Como se puede apreciar con valores de temperatura de 5 °C, 80 % de humedad relativa y velocidades de viento superiores a 3.5 m/s (12.6 km/h) se registran TEE inferiores a 0 °C. Estas situaciones meteorológicas no son frecuentes en Cuba y solo son características de las zonas montañosas.

En la [Figura 7](#) se muestra un ejemplo en la estación meteorológica de Topes de Collantes (78342) entre los días 10 y 11 de enero de 2010 en que los que predominó este tipo de situación y se presentaron valores de TEE inferiores a 0 °C con valores de T entre 0-5 °C, Hr entre 75-100 % y velocidad del viento superior a 4.5 m/s.

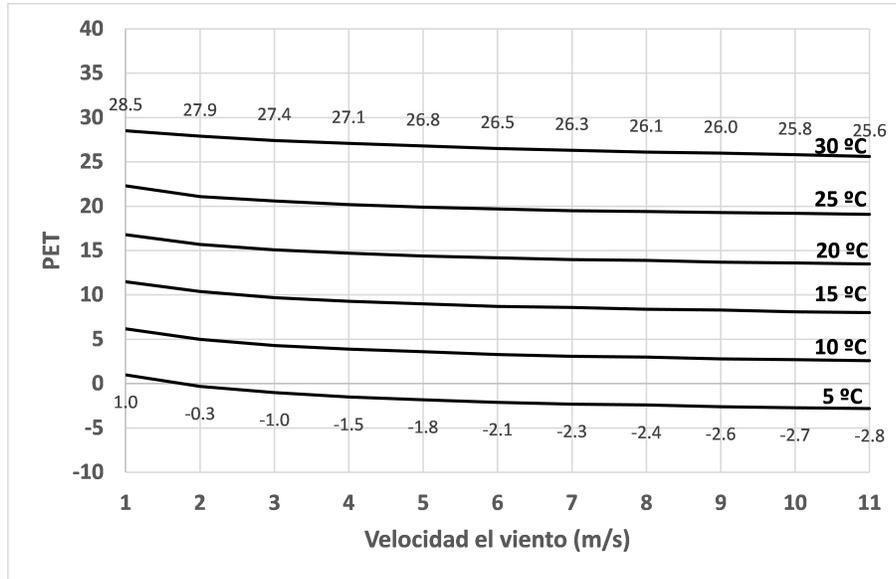


Figura 5. Dependencia del PET a la velocidad del viento. ($T_{mrt}=T$, $h_r=50\%$).

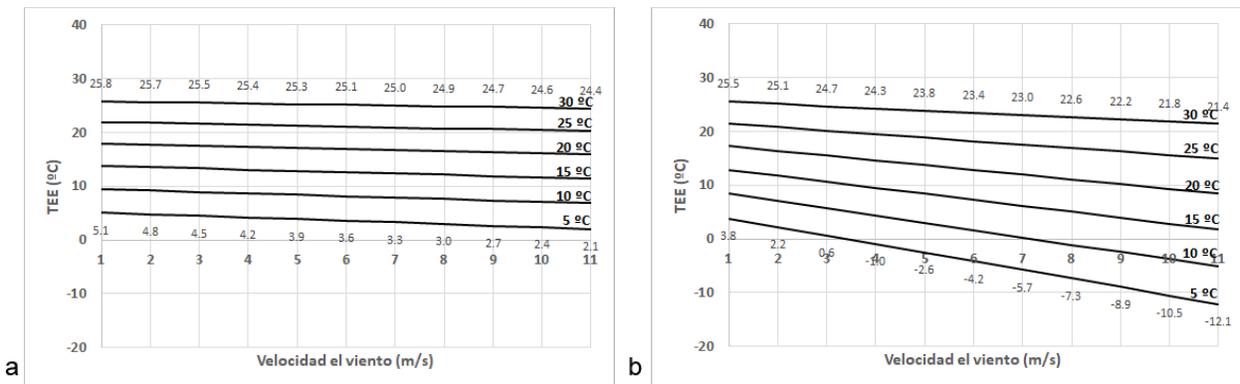


Figura 6. Dependencia de la TEE a la velocidad del viento. (a: $H_r=50\%$, b: $H_r=80\%$).

En esta misma estación meteorológica el día 15 de febrero de 1985 a la 1:00 a.m. con una T de 9.4 °C, Hr de 97 % y una velocidad del viento de 11.1 m/s la TEE tomó un valor de -12.9 °C lo cual resulta irrazonable para las condiciones de Cuba. Por esta razón, se pudiera considerar para el caso cubano limitar la velocidad del viento a 4 m/s (14.4 km/h) cuando esta supera este umbral bajo condiciones de elevada humedad relativa (> 70 %) y temperaturas inferiores a los 10 °C.

Para el índice de Windchill el aumento de la velocidad del viento se hace más notable con valores de T inferiores a los 5 °C en que el valor del índice disminuye en 2 °C con respecto a la T para velocidades del viento superiores a los 8 m/s (28.8 km/h), [Figura 8](#). En Cuba la velocidad del

viento no es elevada ([Lecha et al., 1994](#)) y la frecuencia de temperaturas mínimas por debajo de los 10°C no es alta, por lo que la aplicación de este índice solo sería posible en algunos casos de los meses más frescos del año y en zonas de la costa norte de la región occidental.

La humedad relativa es otra de las variables meteorológicas que influye significativamente en las sensaciones térmicas. Las mayores correlaciones se obtuvieron con todos los índices complejos con valores de r superiores a 0.5, [Tabla 2](#). No obstante, al analizar la dependencia de algunos de ellos con esta variable para diferentes valores de temperatura se consiguieron resultados interesantes. Por ejemplo, la relación entre el UTCI y la TEE con la humedad relativa es menor que

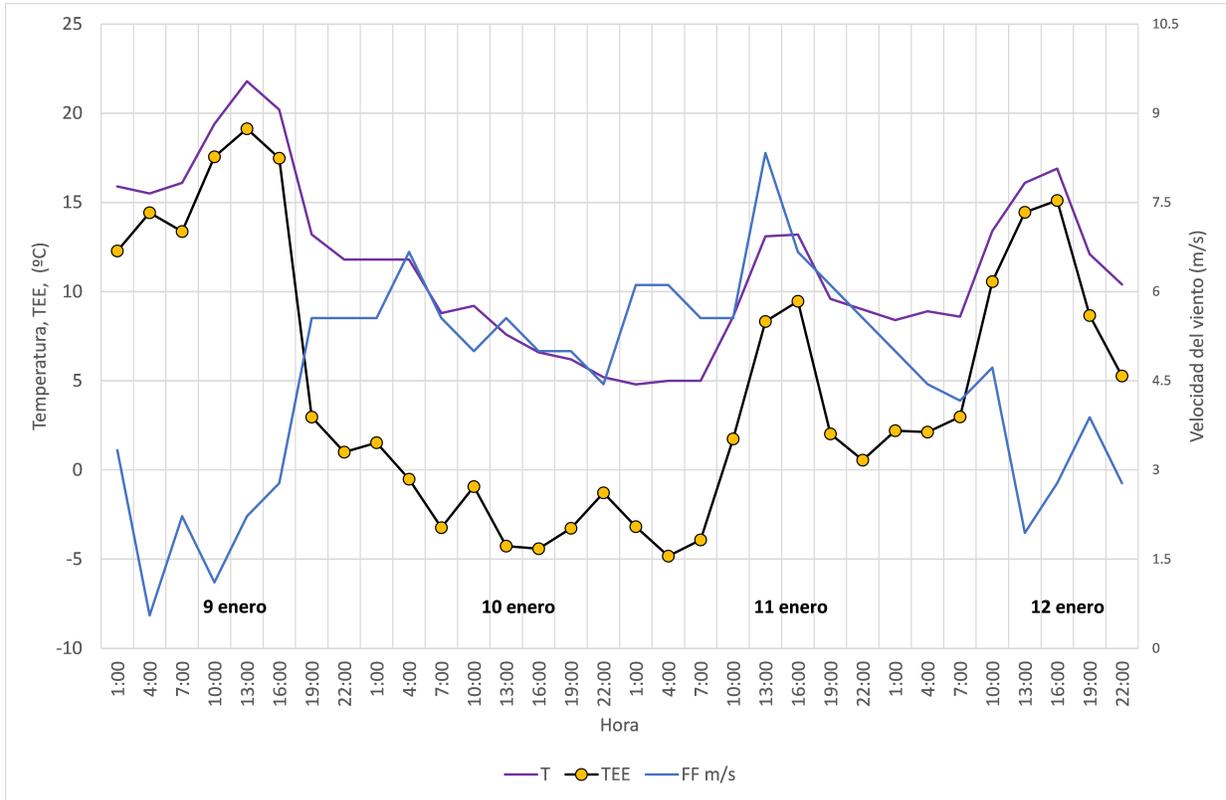


Figura 7. Marcha temporal de la T, TEE y la velocidad del viento durante días seleccionados del mes de enero de 2010. Estación meteorológica de Topes de Collantes (78342).

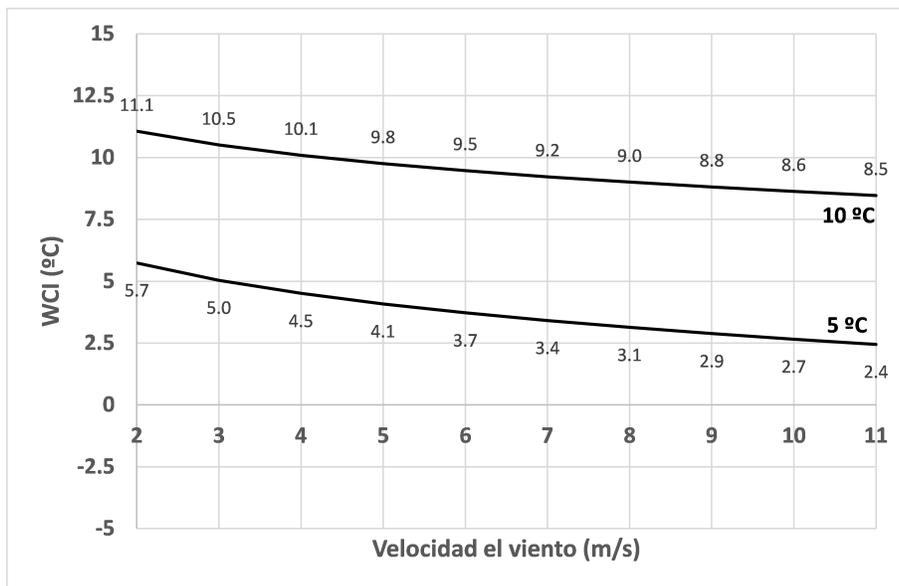


Figura 8. Dependencia del WCI a la velocidad del viento.

entre estos y el viento. En la [Figura 9a](#) es posible ver que el valor del UTCI comienza a diferenciarse más de la temperatura del aire en ambientes cálidos

y húmedos con valores de temperatura superiores a los 25 °C y humedad relativa por encima del 80 %.

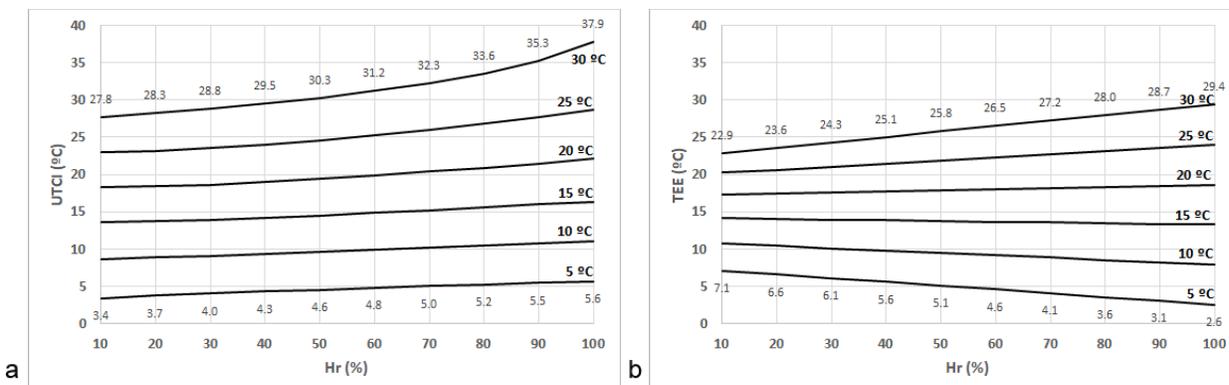


Figura 9. Dependencia del UTCI (a) y la TEE (b) a la humedad relativa. ($T_{mrt}=T$, $FF=1$ m/s).

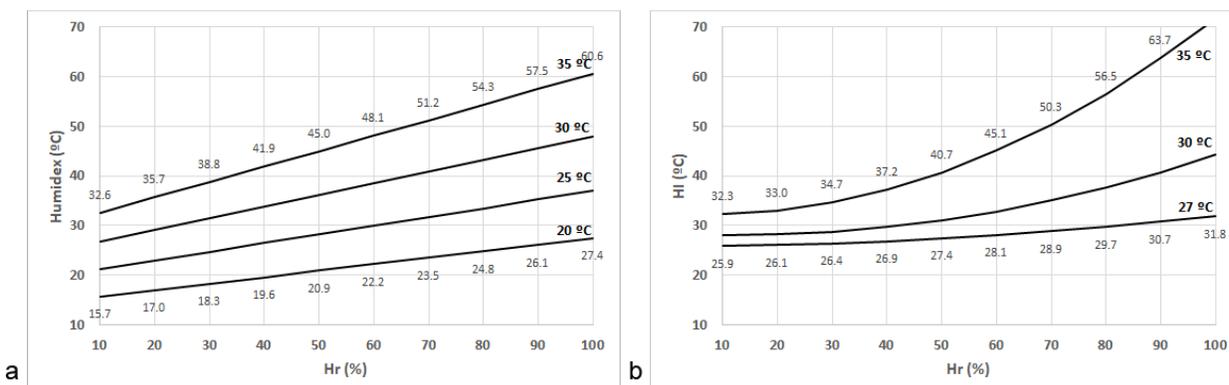


Figura 10. Dependencia del Humidex (a) y el HI (b) a la humedad relativa.

En el caso de la TEE se observó un efecto abanico en la cual la humedad relativa alta (>70 %) tiene una mayor influencia bajo condiciones de bajas (<10 °C) y altas (>25 °C) temperaturas, [Figura 9b](#). Este efecto de la TEE explica mejor que el UTCI las condiciones del clima cubano para bajas temperaturas. Por ejemplo, con $T=5$ °C, $Hr=80$ % se obtiene una TEE de 3.6 °C y un valor del UTCI de 5.2 °C. En el 1er caso el valor representa una sensación térmica Muy Fría y en el segundo una sensación de Frío Moderado (equivalente a Fresca para la TEE).

El Humidex y Heat Index son índices que mostraron una gran dependencia de la humedad relativa, sobre todo para valores de temperatura superiores a los 30 °C, [Figura 10](#). En ambos casos valores de temperatura de 35 °C o más y humedad relativa del 80 % o superior, el valor del índice puede ser hasta 20 grados superior al valor de la temperatura del aire.

No obstante, debido a su propia formulación solo caracterizan las sensaciones térmicas calurosas y su cálculo solo es válido para temperaturas superiores a los 20 °C y 27 °C respectivamente. Además, ninguno toma en cuenta la velocidad real del viento ni la radiación solar variables que impactan en la forma en que se siente una determinada temperatura y humedad en el cuerpo humano. Por eso su uso operativo en Cuba está limitado en algunos meses del año y en algunos horarios del día. No obstante, pudieran tener aplicaciones específicas en actividades como el turismo o para la caracterización de extremos climáticos por calor.

Las [tablas 4 y 5](#) y figuras de la [11](#) a la [13](#) ilustran las relaciones estadísticas entre varios índices en las estaciones seleccionadas que representan un amplio espectro de condiciones meteorológicas. El objetivo de este análisis fue mostrar las similitudes entre todos los índices calculados.

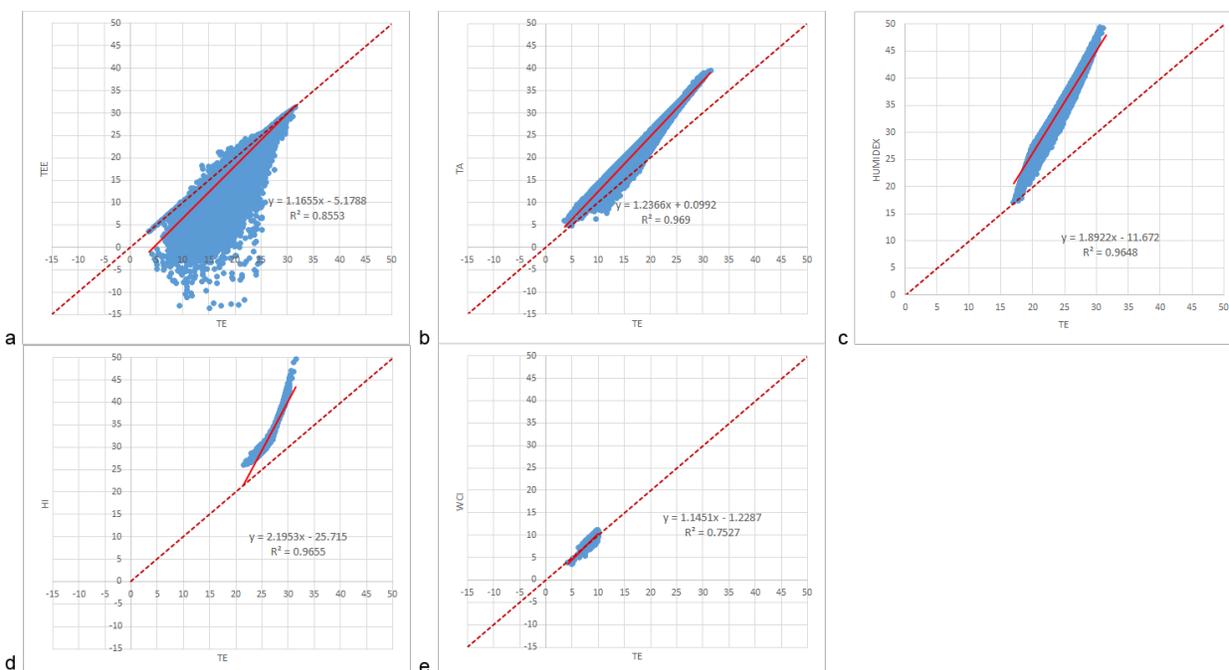


Figura 11. TE vs índices bioclimáticos simples. a) TEE - Temperatura Efectiva, b) Ta- Temperatura Aparente y c) Humidex, d) HI- Índice de calor y e) WCI- Wind Chill. Línea continua: Regresión.

Tabla 4. Coeficiente de determinación (R^2) entre los diferentes índices calculados.

| R^2 | HI | Humidex | TE | TEE | Ta | WCI | PET | SET | PMV | UTCI |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HI ^a | | 0.90 | 0.97 | 0.75 | 0.94 | | 0.23 | 0.22 | 0.29 | 0.42 |
| Humidex ^b | 0.90 | | 0.96 | 0.75 | 0.99 | | 0.42 | 0.42 | 0.52 | 0.57 |
| TE | 0.97 | 0.96 | | 0.86 | 0.97 | 0.75 | 0.59 | 0.60 | 0.70 | 0.73 |
| TEE | 0.75 | 0.75 | 0.86 | | 0.81 | 0.51 | 0.62 | 0.63 | 0.70 | 0.80 |
| Ta | 0.94 | 0.99 | 0.97 | 0.81 | | 0.54 | 0.53 | 0.54 | 0.63 | 0.68 |
| WCI ^c | | | 0.75 | 0.51 | 0.54 | | 0.51 | 0.49 | 0.70 | 0.45 |
| PET | 0.23 | 0.42 | 0.59 | 0.62 | 0.53 | 0.51 | | 0.97 | 0.98 | 0.94 |
| SET | 0.22 | 0.42 | 0.60 | 0.63 | 0.54 | 0.49 | 0.97 | | 0.97 | 0.95 |
| PMV | 0.29 | 0.52 | 0.70 | 0.70 | 0.63 | 0.70 | 0.98 | 0.97 | | 0.95 |
| UTCI | 0.40 | 0.57 | 0.73 | 0.80 | 0.68 | 0.45 | 0.94 | 0.95 | 0.95 | |

^aCalculada para temperaturas >27°C

^bCalculada para temperaturas >20°C

^cCalculada para temperaturas <10°C y velocidad del viento superior a 1.3 m/s

Las relaciones entre los índices empíricos fueron altas, como se puede observar la TE fue la que mejor correlacionó con el resto de los índices con valores de R^2 superiores al 75 %, coeficientes de correlación de Pearson mayores a 0.87, [Tablas 3](#) y [4](#) y [Figura 11](#).

Las relaciones estadísticas entre los índices simples y aquellos basados en el balance de calor humano fueron menores. Las más débiles se presentaron con Ta y aquellos índices que se inclinan por las condiciones cálidas (HI, Humidex) con coeficientes R^2 inferiores al 65 %, [Tabla 3](#).

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los diferentes índices calculados.

| r | HI | Humidex | TE | TEE | Ta | WCT | PET | SET | PMV | UTCI |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HI ^a | | 0.95 | 0.99 | 0.86 | 0.97 | | 0.48 | 0.47 | 0.54 | 0.64 |
| Humidex ^b | 0.95 | | 0.98 | 0.87 | 1.00 | | 0.65 | 0.65 | 0.72 | 0.76 |
| TE | 0.99 | 0.98 | | 0.92 | 0.98 | 0.87 | 0.77 | 0.78 | 0.84 | 0.86 |
| TEE | 0.86 | 0.87 | 0.92 | | 0.90 | 0.72 | 0.79 | 0.79 | 0.84 | 0.90 |
| Ta | 0.97 | 1.00 | 0.98 | 0.90 | | 0.73 | 0.73 | 0.74 | 0.80 | 0.83 |
| WCT ^c | | | 0.87 | 0.72 | 0.73 | | 0.71 | 0.70 | 0.84 | 0.67 |
| PET | 0.48 | 0.65 | 0.77 | 0.79 | 0.73 | 0.71 | | 0.99 | 0.99 | 0.97 |
| SET | 0.47 | 0.65 | 0.78 | 0.79 | 0.74 | 0.70 | 0.99 | | 0.98 | 0.98 |
| PMV | 0.54 | 0.72 | 0.84 | 0.84 | 0.80 | 0.84 | 0.99 | 0.98 | | 0.97 |
| UTCI | 0.64 | 0.76 | 0.86 | 0.90 | 0.83 | 0.67 | 0.97 | 0.98 | 0.97 | |

^aCalculada para temperaturas >27°C

^bCalculada para temperaturas >20°C

^cCalculada para temperaturas <10°C y velocidad del viento superior a 1.3 m/s

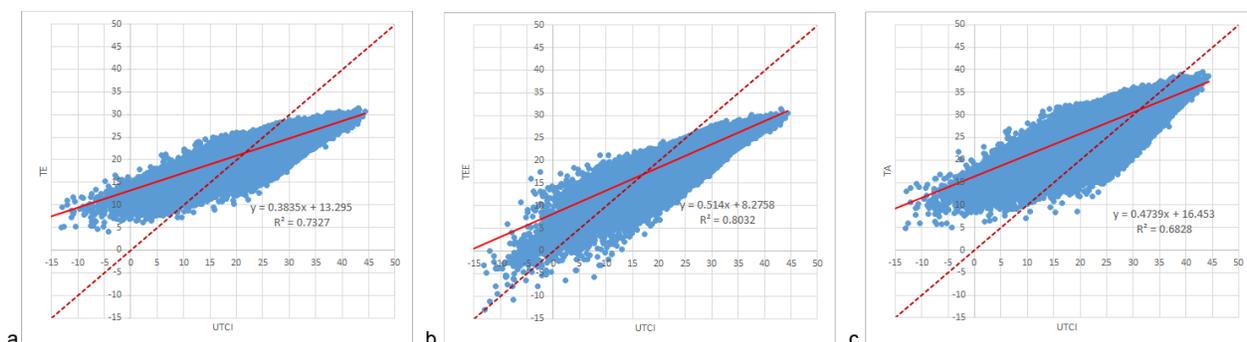


Figura 12. UTCI vs índices bioclimáticos simples. a) TE - Temperatura Efectiva, b) TEE - Temperatura Efectiva Equivalente y c) Ta - Temperatura Aparente. Línea continua: Regresión.

La temperatura efectiva/equivalente y la temperatura aparente (Ta) son índices que pueden ser calculados para un amplio rango de condiciones ambientales, a pesar del hecho que la escala de evaluación representa solo sus valores positivos. Cuando se compararon estos índices con el PET, SET y UTCI se obtuvieron las mayores relaciones con la TE y la TEE y específicamente entre la TEE y el UTCI con un R² de 80% y un coeficiente de correlación de Pearson de 0.90, [Tablas 3 y 4](#) y [Figura 12](#).

Como ya se había dicho las relaciones estadísticas entre el UTCI y el HI y el Humidex fueron débiles, los coeficientes de pendiente son de 0.43 y 0.57 respectivamente. Las líneas de

regresión de los índices de "calor" estuvieron lejos de las líneas de identidad, [Figura 13](#).

Los índices PET, SET y UTCI ajustaron muy bien entre ellos. Estos tienen el mismo enfoque, la diferencia en los valores resultan de las diferentes estructuras del modelo balance de calor y las definiciones de las condiciones de referencia, [Tablas 3 y 4](#) y [Figura 14](#).

Para el PMV que no es un índice térmico las mayores relaciones con el resto de los índices se obtuvieron con la TE, TEE, PET, SET y UTCI, [Tablas 4 y 5](#).

Se realizaron también comparaciones entre los índices usando datos sinópticos de algunas estaciones meteorológicas. Para el análisis se

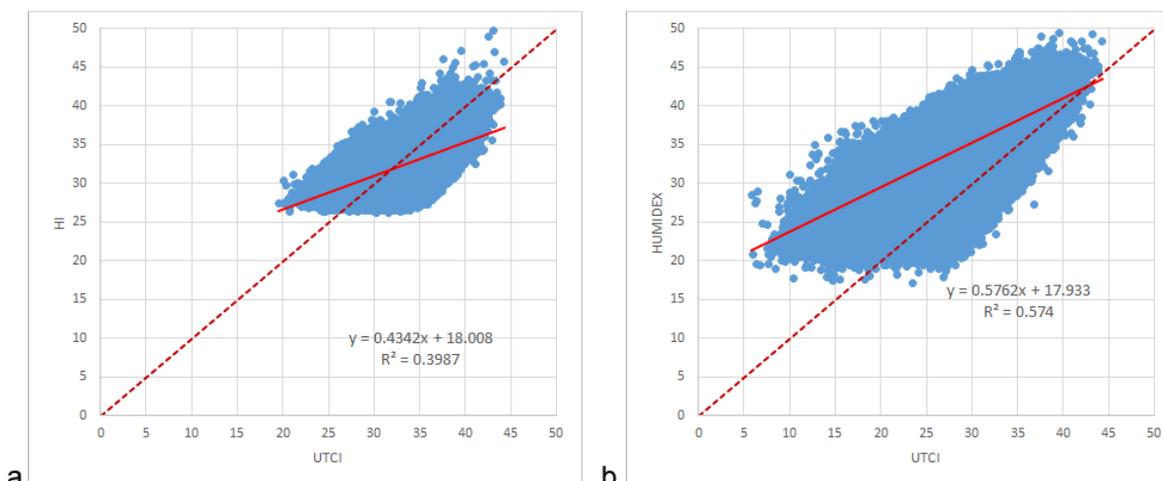


Figura 13. UTCI vs índices bioclimáticos simples. a) HI Índice de Calor, b) Humidex. Línea continua: Regresión.

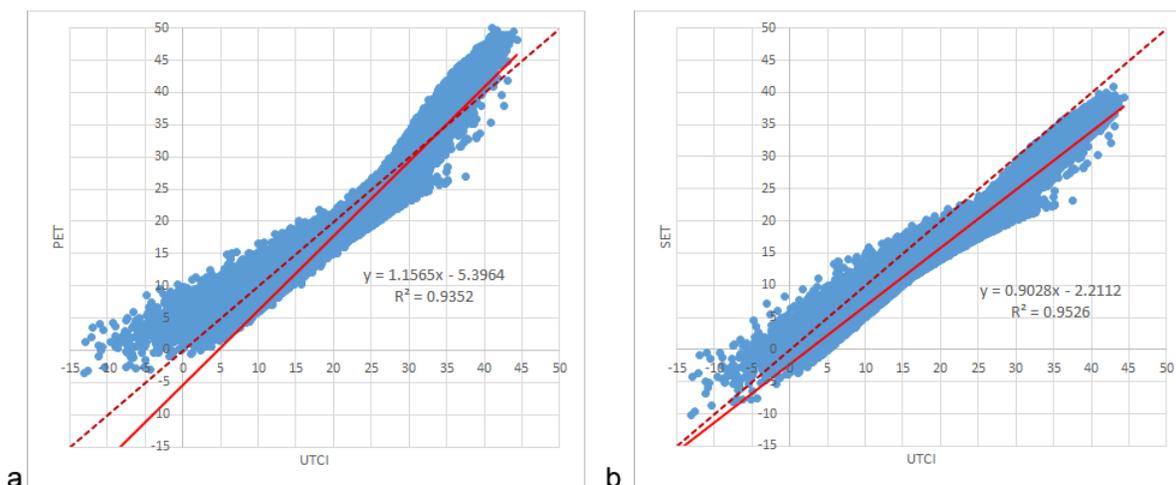


Figura 14. UTCI vs índices bioclimáticos basados en el balance de calor. a) PET Temperatura Fisiológica Equivalente, b) SET. Línea continua: Regresión.

escogieron grupos de días consecutivos que representaban condiciones frías y cálidas. En el caso de las condiciones frías se escogieron varios días de diciembre de 2010.

El mes de diciembre de 2010 manifestó una sostenida influencia de masas continentales de aire frío, lo que conllevó a la frecuente ocurrencia de temperaturas muy bajas en el país. Debido a ello este mes fue clasificado como el mes de diciembre más frío desde el año 1951 en el país. El comportamiento de las temperaturas extremas se mantuvo bastante por debajo de sus respectivas medias históricas durante todo el mes, destacándose el día 15, cuando se rompieron

simultáneamente en el país 28 récords de temperatura mínima absoluta para el mes de diciembre, de ellos cinco fueron récords absolutos de estación (BVC, 2010).

La situación ocurrida el día 15 estuvo asociada a la influencia de una masa de aire muy fría, seca y estable de origen ártico que impuso marcadas condiciones invernales sobre el archipiélago cubano con vientos de región norte. Las imágenes de satélite muestran la cuña de aire frío descendiendo a través del estrecho de La Florida, invadiendo el occidente y centro del país, con predominio de la poca nubosidad en estas regiones, [Figura 15](#).

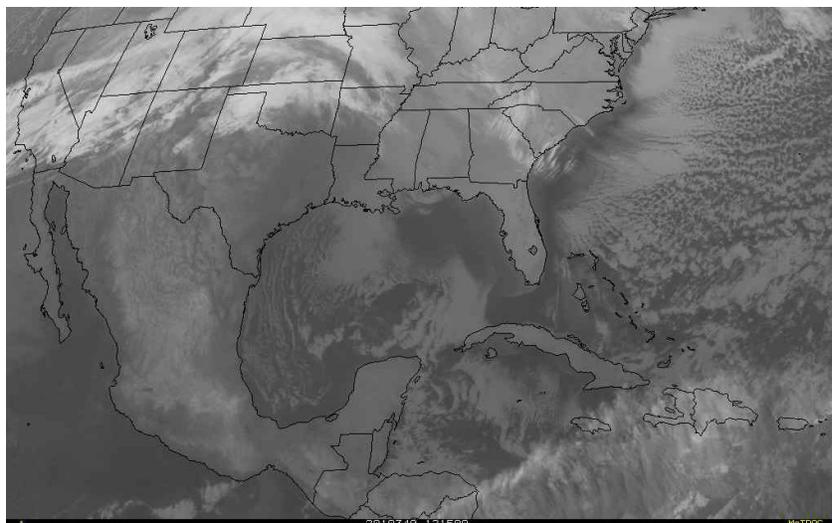


Figura 15. Imagen de satélite del 15 de diciembre de 2010.

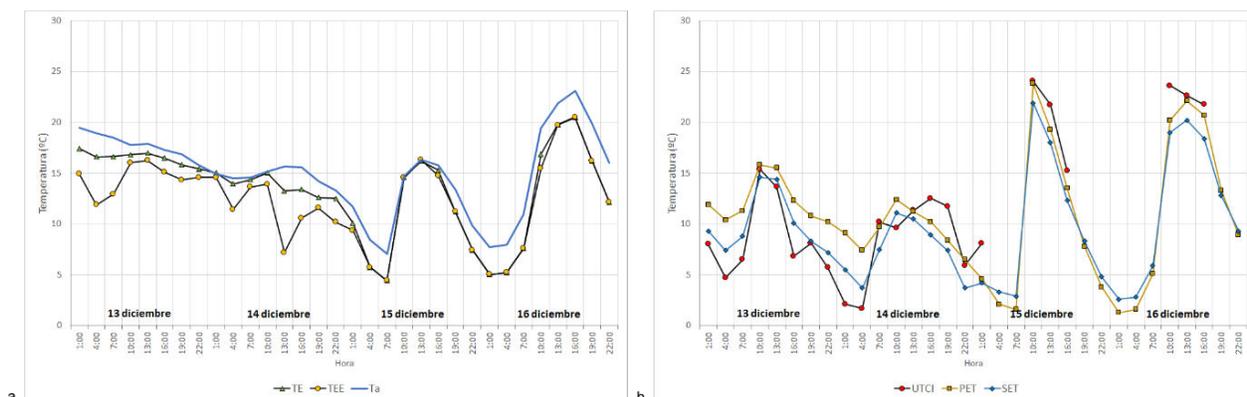


Figura 16. Marcha temporal de índices bioclimáticos (a- Índices simples b- Índices basados en el balance de calor humano) durante días seleccionados del mes de diciembre de 2010. Estación meteorológica de Casablanca (78325).

El análisis de las sensaciones térmicas a través de los diferentes índices en períodos fríos, mostró que tanto para los simples como para los más complejos se observa una gran similitud en su comportamiento, Figuras 16 y 17. Las mayores diferencias en los índices complejos se observaron entre los días 13 y 14 de diciembre en la estación de Casablanca bajo mayores velocidades del viento (3-10 m/s), Figura 15b. Como se vio anteriormente el UTCI presenta una mayor sensibilidad a la velocidad del viento que el PET por lo que presenta valores más bajos en iguales condiciones.

El mes de julio de 2015 fue el tercero más cálido desde 1951, su temperatura media fue 28.2 °C, valor que estuvo 0.7 °C por encima de lo normal

para este mes (BVC, 2015). La temperatura máxima diaria se mantuvo muy por encima de lo normal durante todo el mes, rompiendo los récords de esta variable en 11 estaciones meteorológicas y se igualaron en otras, fundamentalmente en la última decena del mes, durante la cual se mantuvo por encima de 34.0 °C.

Las altas temperaturas fueron favorecidas por el predominio de las altas presiones oceánicas con poca nubosidad, intensa radiación solar y vientos débiles unido al comportamiento deficitario de las precipitaciones en gran parte del país que se encontraba transitando por un intenso período de sequía meteorológica. A la par de esta situación sinóptica la presencia de polvo del Sahara en el

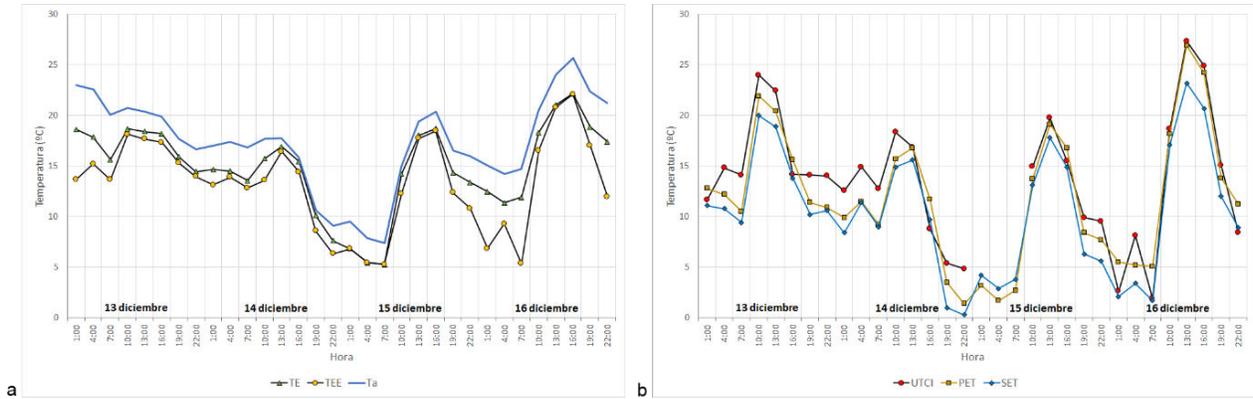


Figura 17. Marcha temporal de índices bioclimáticos (a- Índices simples b- Índices basados en el balance de calor humano) durante días seleccionados del mes de diciembre de 2010. Estación meteorológica de Cienfuegos (78344).

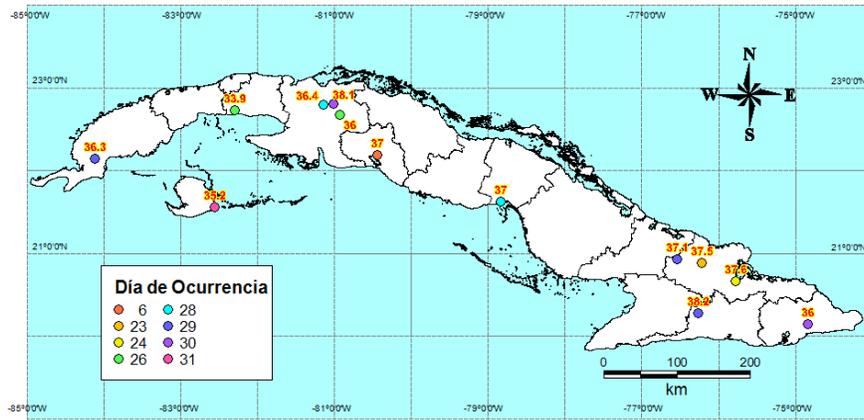


Figura 18. Récorde de Temperatura Máxima Absoluta registrados en el mes de julio de 2015.

área implicó también una disminución de las lluvias y sensaciones térmicas de mucho calor.

La mayor parte de los récords de temperatura máxima ocurrieron en la última decena del mes con valores superiores a los 36 °C, sólo el de la estación meteorológica de Cienfuegos (78344) ocurrió en los primeros días, [Figura 18](#).

En días cálidos (5-8 julio y 28-31 julio 2015) los índices simples ilustraron muy bien la marcha diaria de las condiciones bioclimáticas, observándose cómo las eminentes diferencias entre el día y la noche afectan su comportamiento, lo cual fue más significativo para Ta, HI y Humidex, [Figura 19a](#). Se apreció también una mayor desviación entre el comportamiento de todos los índices simples teniendo similares comportamientos Ta - HI y TE - TEE.

No obstante, el estímulo de la radiación solo fue bien expresado a través de los índices de balance de calor como se puede ver en las [Figuras 19b](#) y [20b](#). Los índices complejos también mostraron mayores diferencias entre ellos comparado con los casos analizados anteriormente siendo el UTCI y el PET los que presentaron un comportamiento similar, [Figuras 19b](#) y [20b](#).

Los datos analizados de las 6 estaciones meteorológicas escogidas ilustraron cómo cada índice en particular difiere de la temperatura del aire. La [Tabla 6](#) muestra las frecuencias de las diferencias entre los índices calculados y la temperatura del aire (dT) para rangos de 5 grados.

En el caso de los índices bioclimáticos PET, SET y UTCI sus valores difieren de la temperatura ambiente en un amplio rango desde valores

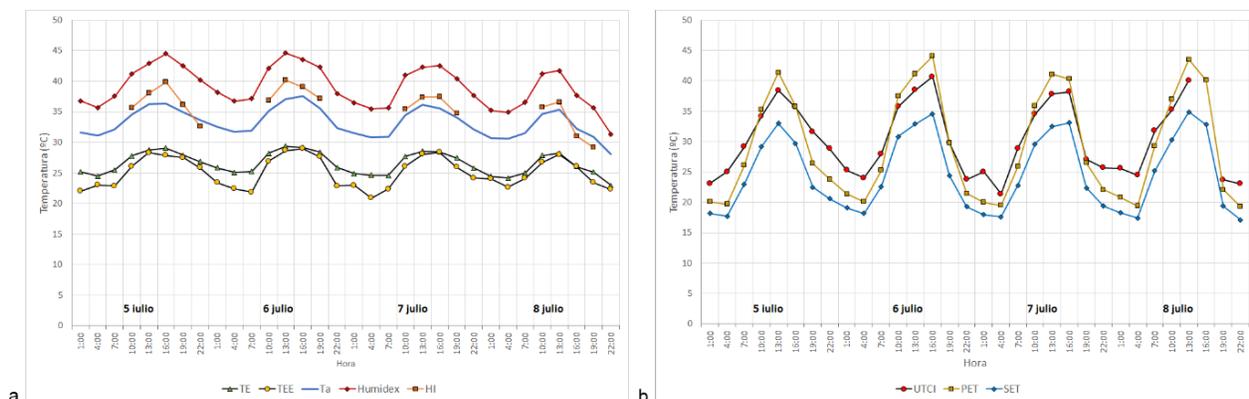


Figura 19. Marcha temporal de índices bioclimáticos (a- Índices simples b- Índices basados en el balance de calor humano) durante días seleccionados del mes de julio de 2015. Estación meteorológica de Cienfuegos (78344).

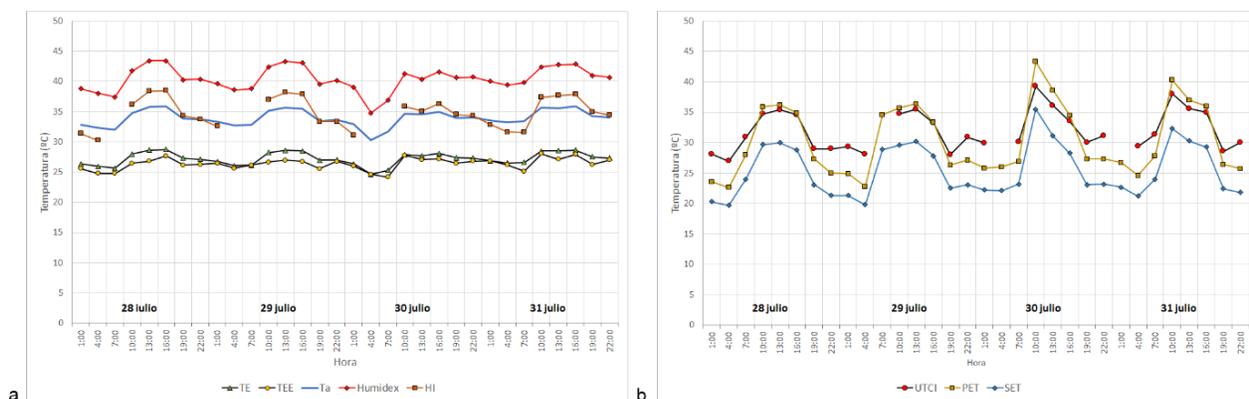


Figura 20. Marcha temporal de índices bioclimáticos (a- Índices simples b- Índices basados en el balance de calor humano) durante días seleccionados del mes de julio de 2015. Estación meteorológica de Casablanca (78325).

inferiores a los -10 hasta los 25 en el caso del PET. No obstante, la mayor cantidad de valores oscilan en el rango de -10 a 10. El índice PET es el que presenta la mayor variabilidad.

Para los índices WCI y HI la mayor parte de los valores difirieron ligeramente de la temperatura en el rango de -5 a 5 °C. Esto sugiere que, para este grupo de índices sus valores dependen mayormente de la temperatura ambiente.

La Ta y el Humidex son índices que sus valores superan la temperatura siendo más significativo en el caso del último en que puede diferir en más de 10 °C para los casos estudiados.

Sin embargo, los índices TE y TEE proporcionaron valores inferiores a la temperatura del aire. En más de un 90 % de los casos estos puede llegar a ser hasta 5 °C menos.

Tradicionalmente estos índices se han considerado adecuados para describir la sensación térmica en Cuba y han sido los más aplicados a las condiciones del país. Como ventajas se señalan la relativa sencillez de sus cálculos, la facilidad de obtención de las variables involucradas y la posibilidad de comparar los resultados con los obtenidos en estudios precedentes en otros territorios el país o a escala nacional (Castillo, 2014).

A pesar de lo descrito hasta el momento, los índices empíricos o simples nunca van a cumplir los requisitos esenciales que, para cada valor de índice, debe ser siempre un correspondiente estado termo-fisiológico significativo, independientemente de la combinación de valores meteorológicos de entrada. Así, su uso es limitado

Tabla 6. Frecuencia (%) por rangos de diferencias entre los índices bioclimáticos y la temperatura del aire (dT). Período 1981-2017.

| Rango dT | TE | TEE | Ta | HI | Humidex | WCI | PET | SET | UTCI |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| -15 : -10 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.4 |
| -10 : -5 | 1.6 | 8.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 43.3 | 5.8 |
| -5 : 0 | 98.4 | 91.4 | 1.6 | 30.0 | 0.2 | 47.4 | 38.7 | 37.4 | 33.7 |
| 0 : 5 | 0.0 | 0.0 | 64.1 | 66.6 | 10.3 | 52.6 | 22.1 | 15.5 | 41.1 |
| 5 : 10 | 0.0 | 0.0 | 34.2 | 3.3 | 69.7 | 0.0 | 14.6 | 3.1 | 18.7 |
| 10 : 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 0.0 | 4.0 | 0.5 | 0.2 |
| 15 : 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 |
| 20 : 25 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| Min | -8.9 | -32.3 | -5.4 | -4.9 | -2.6 | 0.6 | -7.8 | -11.6 | -15.3 |
| Max | 0.0 | 0.9 | 8.1 | 11.8 | 16.5 | 1.3 | 23.9 | 15.1 | 11.2 |
| Promedio | -1.5 | -3.2 | 4.1 | 0.4 | 7.9 | 0.9 | -1.4 | -4.5 | -0.1 |
| DST | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 1.9 | 3.0 | 0.0 | 4.6 | 3.7 | 3.2 |

y los resultados a menudo no son comparables. Es por esto que la caracterización del entorno térmico en términos termo-fisiológicos significativos requiere la aplicación de un modelo de balance de calor que tome en cuenta todos los mecanismos de intercambio de calor ([Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger y Tinz, 2012](#)).

CONCLUSIONES

Los índices complejos UTCI y PET correlacionan bien entre sí, aunque el primero muestra una mayor influencia de la velocidad del viento. En ambos casos representan muy bien el estímulo de la radiación solar en las sensaciones térmicas, lo cual resulta pertinente en Cuba donde la alta radiación solar incidente es uno de los principales factores formadores del clima del país.

La comparación entre índices complejos y empíricos en Cuba muestra las mayores relaciones estadísticas entre el UTCI y la TEE, aunque este último representa mejor las sensaciones térmicas bajo ambientes húmedos. La TEE, a pesar de ser un índice empírico, se confirma como adecuado para representar las sensaciones térmicas de la población cubana, a partir de la integración de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) que contribuyen tanto al confort como al disconfort climático.

La comparación realizada entre los diferentes índices de sensación térmica que se representan a través temperaturas efectivas en Cuba muestra que estos difieren entre ellos y entre los valores de temperatura ambiente por lo que el uso de los mismos debe mostrar una clasificación de la situación y no un valor de temperatura aparente. Lo importante para el usuario no debe ser el valor del índice sino su significado en términos de su efecto en las personas y su influencia o no en la salud.

REFERENCIAS

- Barcia, S.; Guevara, A. V.; Estrada, Y. y Otero, M. (2019). “Conceptualización de términos y selección de índices bioclimáticos para aplicar en Cuba”. Informe de Resultado, No. 1. Cuba: Instituto de Meteorología, 67 p.
- Blazejczyk, K.; Epstein, Y.; Jendritzky, G.; Staiger, H. & Tinz, B. (2012). “Comparison of UTCI to selected thermal indices”. *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 515-535, DOI 10.1007/s00484-011-0453-2.
- Bútieva, I. V.; Ilichiova, E. M.; y Kornilova, R. P. (1984). Régimen de tiempo y sensación térmica del hombre en diferentes zonas naturales de la URSS en el período cálido del año. En *Materiales de Investigaciones Meteorológicas*, pp. 74-81.

- Castillo, C. (2014). *Sensaciones térmicas y extremos bioclimáticos por calor en la provincia Cienfuegos*. Tesis de Licenciado, La Habana: Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, 80 p.
- Centro Nacional del Clima: Boletín de la Vigilancia del Clima. Centro del Clima; Instituto de Meteorología; Agencia del Medio Ambiente; Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. República de Cuba. Vol. 22/Nº 12, Diciembre 2010, ISSN - 1029 - 204.
- Centro Nacional del Clima: Boletín de la Vigilancia del Clima. Centro del Clima; Instituto de Meteorología; Agencia del Medio Ambiente; Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. República de Cuba. Vol. 27/Nº 7, Julio 2015, ISSN - 1029 - 204.
- Deb, C. & A, R. (2010). "The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET) in outdoor thermal comfort studies". *International Journal of Engineering Science and Technology*, 7: 2825- 2828.
- De Couto, P. C.; De Musis, C. R.; Sacardi, M.; De Souza, J.; Albuquerque, M. C. (2013). "Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto termal no campus da UFMT em Cuiabá-MT". *Revista Electrónica en Gestión y Tecnología Ambiental*, 9(9). <http://dx.doi.org/10.5902/223611707707>
- Givoni, B. (1969). "Man, Climate and Architecture". *Amsterdam: Elsevier Science*.
- Guevara, A. V. (2006). *Las condiciones de calor intenso como indicador de extremos bioclimáticos en Ciudad de La Habana*. Tesis de Maestría, La Habana: Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, 110 p.
- Guevara, V. (2013). "Breve introducción a la sensación térmica y los índices de confort o bienestar en el mundo". In: *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*, La Habana: Casa de México.
- Guevara, V.; León, A. y Hernández, D. (2017). "Sensaciones térmicas en la Isla de la Juventud". *Revista Cubana de Meteorología*, 23(3): 328-340, ISSN: 0864-151X.
- Höppe, P. 1993. "Heat balance modelling". *Experientia*, 49: 741-746.
- Höppe, P. 1999. "The physiological equivalent temperature -a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment". *International Journal of Biometeorology*, 43: 71-75.
- Humphreys M. & Fergus N. Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort. ASHRAE Transactions 104 (1b) 991-1004 CA. US. 1998.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. y Lapinel, B. 1994. *El Clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
- León, A. 1988. *Las sensaciones de calor en el occidente de Cuba*. Tesis de Licenciado, La Habana: Universidad de la Habana, 28 p.
- Morgan, D. L. & Baskett, R. L. 1974. "Comfort of man in the city. An energy balance model of man-environment coupling". *International Journal of Biometeorology*, 18(3): 184-198.
- Novak, M. 2013. "Use of the UTCI in the Czech Republic". *Geographia Polonica*, 86(1): 21-28 <http://dx.doi.org/10.7163/GPol.2013.3>
- Santana, M. 2004. Estudio de las sensaciones térmicas en la provincia Ciego de Ávila. Tesis de Maestría, La Habana: Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, 73 p.
- Svensson, M. K.; Thorsson, S. & Lindqvist, S. 2003. "A geographical information system model for creating bioclimatic maps-examples from a high, mid-latitude city." *International Journal of Biometeorology*, 47: 102-112. DOI 10.1007/s00484-002-0150-2.
- Tornero, J.; Pérez, J. A. y Gómez, F. 2006. "Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes". *Cuadernos de Geografía*, 80: 147-182.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

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/)