

Las sensaciones térmicas en Cuba a través de la Temperatura Efectiva Equivalente y el Índice Térmico Universal del Clima



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

Comparison of different bioclimatic index in Cuba

✉ M.Sc. Sinaí Barcia Sardiñas¹, ✉ M.Sc. Dunia Hernández González², ✉ Lic. Lomberto Gómez Camacho³

¹Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

²Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba

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

RESUMEN: El uso de los índices bioclimáticos es de los enfoques más empleados en Cuba para la caracterización de las sensaciones térmicas. El presente trabajo tiene como objetivo: Determinar el comportamiento temporal de las sensaciones térmicas en Cuba a partir de la Temperatura Efectiva Equivalente y el Índice Térmico Universal del Clima en el período 1981-2010. Para ello se han seleccionado un grupo de estaciones meteorológicas que caracterizan las zonas costeras, interiores y montañosas del país. Los resultados confirman que según la Temperatura Efectiva Equivalente las mañanas del período poco lluvioso se caracterizan por ser generalmente *frescas* y en menor medida resultan *frías* o *muy frías* y las mayores frecuencias de estas condiciones se registran hacia la mitad occidental del país. Por su parte las tardes de mayo a octubre son generalmente calurosas llegando a ser muy calurosas en los meses de julio y agosto. En cuanto al Índice Térmico Universal del Clima se observa una distribución similar, pero las sensaciones *frescas* y *frías* presentan muy baja frecuencia hacia las zonas llanas del país en el horario de la mañana cuando predominan durante todo el año las sensaciones de *confort* y *ligeramente cálidas*. Se confirma a través de ambos índices que las zonas montañosas presentan las condiciones térmicas más confortables del país. Se reafirma que las sensaciones térmicas varían según la zona geográfica sugiriendo la influencia de la aclimatación regional por lo que resulta necesario calibrar el Índice Térmico Universal del Clima para las condiciones cálidas de Cuba.

Palabras clave: sensación térmica, temperatura efectiva equivalente, índice térmico universal del clima.

ABSTRACT: The use of bioclimatic indices is one of the most widely used approaches in Cuba for the characterization of thermal sensations. The present work has as objective: To determine the temporal behavior of the thermal sensations in Cuba applying the Equivalent Effective Temperature and the Universal Thermal Climate Index in the period 1981-2010. For this, a group of meteorological stations that characterize the coastal, inland and mountainous areas of the country have been selected. The results confirm that according to the Equivalent Effective Temperature the mornings of the dry period are characterized by being generally *slight cold* and less frequently they are *cold* or *very cold* and the highest frequencies of these conditions are registered towards the western half of the country. On the other hand, the afternoons from May to October are generally *hot*, becoming *very hot* in the months of July and August. The Universal Thermal Climate Index shows a similar distribution, but the *slight cold* and *cold* sensations present very low frequency towards the plains of the country in the morning hours when *comfort* and *moderate heat* sensations predominate throughout the year. It is confirmed through both indices that the mountainous areas have the most comfortable thermal conditions in the country. The results reaffirm that thermal sensations vary according to the geographical area, suggesting the influence of regional acclimatization, which is why it is necessary to calibrate the Universal Thermal Climate Index for the warm conditions of Cuba.

Key words: thermal sensations, equivalent effective temperature, universal thermic climate index.

INTRODUCCIÓN

El organismo humano es un sistema homeotérmico por lo que su estado térmico depende en primer lugar, de un mecanismo termorregulador que estabiliza la temperatura interna del mismo alrededor de 37 °C, independientemente de la temperatura del medio aéreo

exterior. La termorregulación del cuerpo humano está sometida a mayor o menor tensión en dependencia de la generación, almacenamiento y pérdida de calor del mismo. Entre los mecanismos de defensa más importantes se encuentra la intensidad del flujo sanguíneo periférico y la sudoración.

*Autor para correspondencia: Sinaí Barcia Sardiñas - E-mail: sinaibs@gmail.com

Recibido: 19/07/2020

Aceptado: 16/02/2021

El tiempo y el clima, por su parte, también influye considerablemente en el estado térmico del individuo, ya que las variaciones en el comportamiento de las variables meteorológicas originan un amplio espectro de sensaciones térmicas en los hombres. La sensación térmica humana forma parte del amplio objeto de estudio de la Bioclimatología, para el que los bioclimatólogos han desarrollado diversos modelos matemáticos que buscan establecer estándares de condiciones climáticas consideradas confortables para el ser humano.

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. 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).

El uso de los índices bioclimáticos para evaluar las sensaciones térmicas 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 principales estudios sobre el confort bioclimático mantienen 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 *et al.*, 2006).

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. Dentro de ellos se encuentra la Temperatura Efectiva (TE). Este es utilizado por primera vez en Estados Unidos por Honghten y Yaglund (1923) y fue definido como la temperatura de un aire estacionario y saturado de humedad que produciría, según la opinión de un gran número de personas, una sensación térmica semejante a la que produce la situación atmosférica concreta analizada. Este índice se utiliza fundamentalmente para evaluar condiciones interiores de las edificaciones o en lugares donde no estén presentes los efectos del viento.

Luego de múltiples investigaciones experimentales surge el índice Temperatura Efectiva Equivalente (TEE). Este tiene sus antecedentes en el anterior, y aunque se ha empleado fundamentalmente en condiciones de clima templado, durante todos estos años ha

sido mundialmente utilizado para evaluar las condiciones de confort térmico. Dicho índice es más preciso, ya que evalúa la sensación de calor del cuerpo humano teniendo en cuenta la interacción entre la temperatura, la humedad del aire y la rapidez del viento en el medio exterior.

La TE y TEE, como índices empíricos, 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 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 *et al.*, 2012).

Siguiendo este enfoque en los últimos años se han propuesto un grupo de índices para expresar la sensación térmica siendo la Temperatura Fisiológica Efectiva (PET) y el Índice Térmico Universal del Clima (UTCI) los más destacados. El PET es uno de los índices térmicos más usados en la actualidad (Lin y Matzarakis, 2008; Deb y A, 2010). Este utiliza dos tipos de variables, las variables meteorológicas y las del balance humano de la energía. Las ventajas de este índice son su independencia del tipo de ropa y de la actividad metabólica y su expresión en grados Celsius (°C) facilita su uso tanto en climas cálidos como fríos (Deb y A, 2010).

El UTCI fue propuesto por la Sociedad Internacional de Biometeorología (ISB) en el año 2000. El mismo debía tener significación termofisiológica en el campo del intercambio de calor, ser válido para cualquier clima, temporada y escala espacio-temporal y ser útil para las aplicaciones a la Biometeorología Humana (pronóstico diario, avisos, para la cartografía bioclimática regional y global, estudios epidemiológicos e investigaciones de impacto climático) (Jendritzky *et al.*, 2001). Este índice sigue el concepto de la Temperatura Equivalente que involucra la idea de ambiente de referencia con las siguientes características: humedad relativa del 50 %, aire en calma y temperatura media radiante igual a la temperatura del aire. La respuesta fisiológica de la persona es calculada después de una exposición de 30 minutos y 120 minutos. También se expresa en Grados Celcius (°C) y representa para unas determinadas condiciones climáticas de humedad, velocidad del viento y temperatura del aire, la temperatura del aire equivalente en el ambiente de referencia que produce la misma respuesta fisiológica.

Cuba posee un clima cálido con elevados valores de radiación solar incidente y alta humedad relativa del aire, lo que ocasiona que durante gran parte del año se presenten sensaciones no confortables por exceso de calor. Con el objetivo de definir el espectro de sensa-

ciones térmicas para este clima, muchos especialistas han realizado estudios sobre esta temática a escala nacional entre los que se destacan los trabajos de Osorio *et al.* (1988), Lecha y Florido (1989), Lecha (1989), Osorio (1989), Guevara *et al.* (1990), Lecha (1992) y Lecha *et al.* (1994).

A escala local, sin dudas es la mitad occidental de Cuba la más estudiada y dentro de ella la Habana, Matanzas, Cienfuegos y Villa Clara destacan como las provincias de mayores estudios sobre las sensaciones térmicas y los extremos bioclimáticos. En la mitad oriental las investigaciones relacionadas con este tema son más escasas y son las provincias de Ciego de Ávila, Camagüey y Santiago de Cuba las que presentan las mayores publicaciones.

El uso de los 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).

Barcia *et al.*, (2020) comparan diferentes índices bioclimáticos en las condiciones de Cuba y determinan su relación con las variables meteorológicas involucradas. Concluyen que el UTCI y el PET 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. También obtienen que al comparar índices complejos y empíricos las mayores relaciones estadísticas se alcanzan entre el UTCI y la TEE, aunque este último representa mejor las sensaciones térmicas bajo ambientes húmedos. A partir de estos resultados se plantea como objetivo: Determinar el comportamiento temporal de las sensaciones térmicas en Cuba a partir de la Temperatura Efectiva Equivalente y el Índice Térmico Universal del Clima en el período 1981-2010.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió todo el país y se utilizaron 67 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología (Figura 1 y Tabla 1). No obstante para evidenciar los principales resultados obtenidos se escogieron 11 estaciones que representan las condiciones climáticas de las zonas costeras, zonas del interior y de las zonas montañosas del país (Figura 1).

Los datos climáticos trihorarios utilizados incluyeron las siguientes variables: temperatura seca (°C), temperatura húmeda (°C), humedad relativa (%), velocidad de viento (m/s) y nubosidad (octavos). Estos datos fueron extraídos del Centro del Clima del INS-MET, para el período 1981-2010.

Los datos fueron sometidos a pruebas de calidad validándose por distintas vías: comparación inicial con los valores extremos absolutos de las variables en el

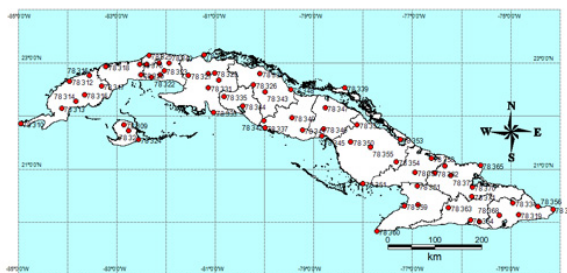


Figura 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

período, cálculo de estadígrafos de posición y dispersión, muestreos gráficos a subconjuntos de datos de los ficheros y análisis individual de valores dudosos.

Comportamiento temporal del comportamiento de los índices bioclimáticos

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

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

El cálculo de estos índices se realizó mediante la fórmula de Brooks (Bútieva *et al.*, 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

- Índice Térmico Universal del Clima (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 ta +50 °C
- -30 °C tmrt-ta +70 °C
- 0.5 m/s w 30.3 m/s
- 5 % Hr 100 %

Donde:

Ta: temperatura ambiente

Tmrt: temperatura media radiante (los datos utilizados fueron los obtenidos a través del modelo *RayMan* (Matzarakis, *et al.*, 2007) el cual estima la Tmrt a par-

Tabla 1. Umbrales de temperaturas (°C) de sensaciones térmicas (descripción de la alerta) usadas para la TEE y el UTCI.

		TEE ¹	UTCI	*
Helado (peligro extremo)	H		<-40	
Muy frío (Muy frío)	MF	<12	-40-(-13)	
Frío (Frío)	F	12-17	-13-(0)	
Fresco (Peligro Moderado)	LF	17-22	0-9	
Confortable (sin peligro)	CF	22-25	9-26	
Cálido (precaución)	LC		26-32	
Caluroso (precaución extrema)	C	25-28	32-38	
Muy caluroso (peligro)	MC	> 28	38-46	
Calor Sofocante (peligro extremo)	CS		>46	

¹Intervalos 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.

*Escala de colores para representar cada categoría y que se utilizará en lo adelante en la presente investigación.

tir de los datos de nubosidad, latitud, longitud, altitud y día del año

w: velocidad del viento

Hr: humedad relativa

A partir del cálculo de cada uno de los índices seleccionados (TEE y UTCI) se aplicaron las clasificaciones correspondientes para cada uno (Tabla 1) y se confeccionaron gráficos de la marcha mensual de las frecuencias para cada índice, en los horarios seleccionados (7:00 am y 1:00 pm, hora local) en el período climático 1981-2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento temporal de la TEE y el UTCI en estaciones seleccionadas

La Temperatura Efectiva Equivalente y el UTCI mostraron variaciones diarias y anuales provocadas por las propias variables que estos índices agrupan. Por lo que es evidente esperar que ocurran sensaciones térmicas más frecuentes que otras en dependencia de la zona geográfica, el horario y la época del año.

Zonas costeras

Las zonas costeras del país reciben el efecto termorregulador del mar lo que produce una disminución en la ocurrencia de las sensaciones *muy frías* en el horario de la mañana con respecto a las zonas del interior. Además, la influencia de las brisas es más marcada por lo que la frecuencia de las sensaciones *muy calurosas* disminuye en el horario del mediodía bajo el efecto del viento.

Describiendo el comportamiento de las sensaciones térmicas expresadas por la TEE en los dos horarios más contrastantes del día en las zonas costeras de Cuba se puede apreciar que de forma general a las 7:00 a.m. las sensaciones *frescas* y *frías* en conjunto se presentaron en casi la totalidad (>90%) de los días del plazo temporal comprendido entre diciembre y

abril (Figura 2 izq.). La ocurrencia de períodos *muy fríos* en estas zonas del país fue muy escasa y solo se presentaron en zonas del occidente y centro y sobre todo hacia la costa norte. Las condiciones atmosféricas en la estación de Casablanca favorecen la ocurrencia de valores de la TEE menores que en el resto de las estaciones costeras. Su ubicación en la costa norte de la región occidental propicia una mayor influencia de los sistemas frontales (Osorio et al., 1988).

El registro de las sensaciones *confortables* aumentó bruscamente de abril a junio para establecerse desde este mes hasta septiembre con una frecuencia de más del 50%. Por su parte, las sensaciones *calurosas* en este horario solo tuvieron una representación significativa en las zonas costeras del centro y oriente del país de junio a septiembre entre el 20 y 30% de frecuencia (Figura 2 izq.).

El UTCI mostró una menor variabilidad y solo fue posible observar para este horario 4 de las 9 categorías posibles (*ligeramente frío*, *confortable*, *ligeramente cálido* y *caluroso*) (Figura 2 der.). En las zonas costeras las sensaciones *frescas* o *ligeramente frías* fueron las de menor frecuencia y solo estuvieron presentes hacia el occidente del país de los meses de diciembre a marzo con frecuencias inferiores al 5 %. Por su parte, las sensaciones de confort presentaron las mayores frecuencias (>75%) de noviembre a abril en el horario de la mañana hacia las zonas costeras y de mayo a octubre fueron las *cálidas* las que predominaron.

A la 1:00 p.m., según la TEE, las condiciones de confort estuvieron presentes con una mayor frecuencia (40%) en el período poco lluvioso, mientras que la probabilidad restante de esta época se compartió entre la ocurrencia de sensaciones *frescas* y *calurosas* (Figura 3 izq.). Estas últimas, se hicieron más frecuentes en los meses estivales donde se da paso a las *muy calurosas* que llegaron a alcanzar un máximo en agosto entre el 40-50% en toda la zona costera del sur del país.

El comportamiento del UTCI en este horario del día mostró que las sensaciones de confort disminuyeron

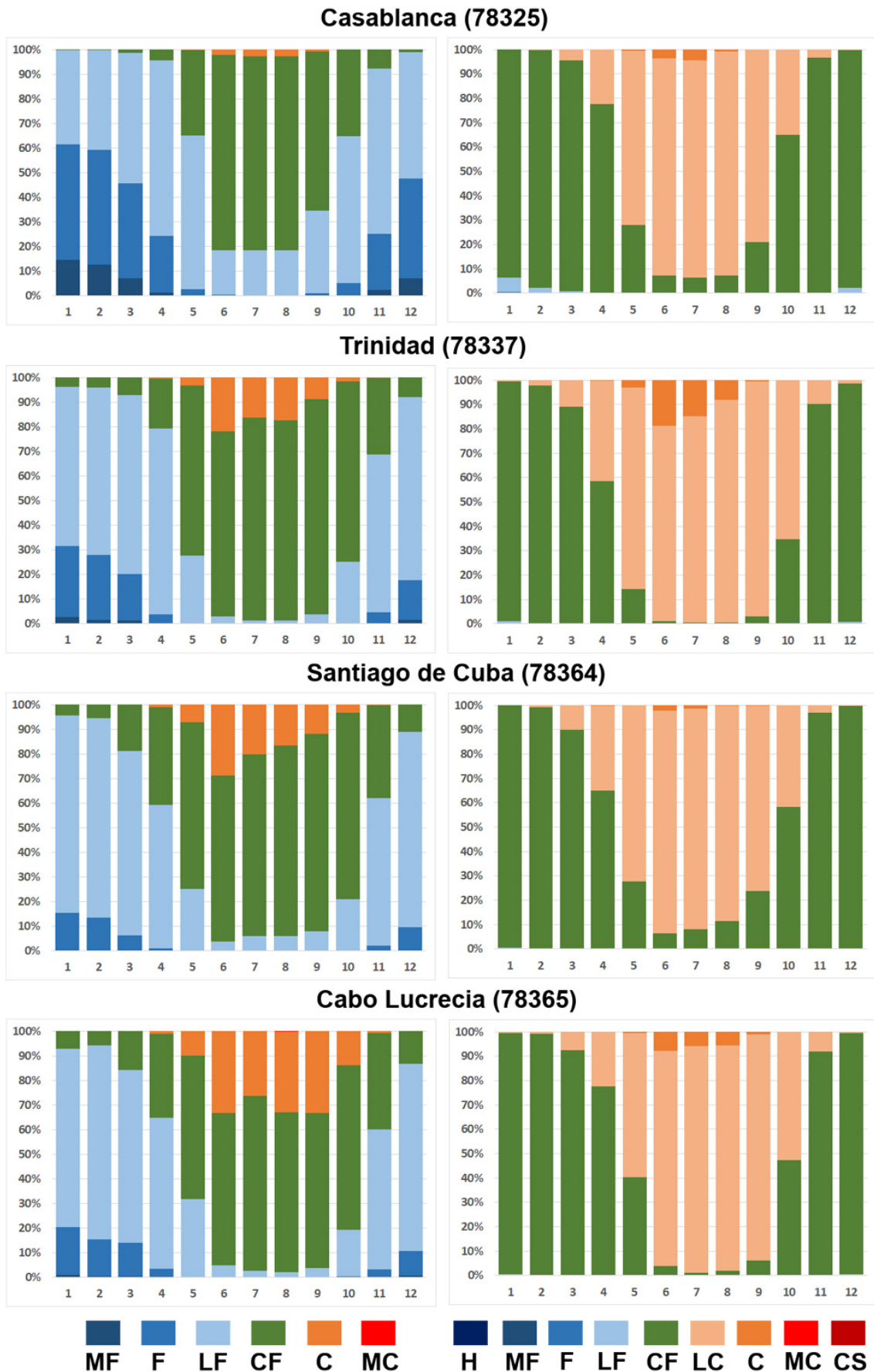


Figura 2. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 7:00 a.m., en estaciones que caracterizan las zonas costeras de Cuba. Período 1981-2010.

notablemente y solo se presentaron en el período poco lluvioso, teniendo las mayores frecuencias hacia zonas de la costa norte. En este período del año predominaron las sensaciones *ligeramente cálidas* y *calurosas* (Figura 3 der.). En el período lluvioso prevalecieron las sensaciones *calurosas* y *muy calurosas* en todas las zonas costeras del país.

Zonas interiores

Las zonas del interior del país manifestaron una disminución notable del comportamiento de la TEE con respecto a la zona costera y al igual que en esta, en el horario de la mañana se observó la mayor variabilidad sobre todo en los meses más frescos del año (Figura 4 izq.). En este horario las sensaciones *frescas*, *frías* y *muy frías* se presentaron en conjunto con una frecuencia superior al 95 % en los meses de noviembre a abril condicionado por las temperaturas relativamente bajas propias de la época del año. Hacia el occidente y centro, las sensaciones *frías* y *muy frías* alcanzaron las mayores frecuencias con valores entre 50 y 20 % respectivamente en los meses de diciembre a febrero. En el resto del territorio esta proporción fue del 50 y 8 % denotando la menor frecuencia de sensaciones *muy frías* hacia la zona oriental (Figuras 4 izq.).

En el período de mayo a octubre predominaron las sensaciones *confortables* fundamentalmente de junio a septiembre. Las condiciones *calurosas* en estas zonas del país ocurren ocasionalmente en los meses más cálidos del año presentando una frecuencia muy baja en comparación con las zonas costeras.

El UTCI presentó muy poca variabilidad en este horario del día hacia las zonas del interior del país. Como se puede apreciar en la Figura 4 (der.) las condiciones de confort térmico son las que prevalecieron en el período comprendido entre octubre y abril. En el resto del año las sensaciones *cálidas* fueron preponderantes. Los extremos por frío o calor fueron muy poco frecuentes en estas zonas del país según este índice.

Al igual que en el caso de la TEE la distribución anual de las sensaciones térmicas fue bastante homogénea en todas las regiones del país analizadas.

En el otro horario contrastante del día las sensaciones térmicas presentaron una mayor variabilidad para los dos índices bioclimáticos analizados y su comportamiento mostró una mayor coincidencia en cuanto a categorías (Figura 5). Tanto para la TEE como para el UTCI las condiciones *calurosas* estuvieron presentes en esta zona del país durante todo el año siendo más frecuentes de abril a octubre cuando sobrepasaron el 50% en el caso de la TEE. Desde mayo a octubre las *muy calurosas* comenzaron a tener una mayor presencia con una probabilidad de ocurrencia que superó el 50 % en los meses de julio y agosto, según el UTCI, en algunas estaciones meteorológicas.

Las sensaciones *confortables* ocurrieron fundamentalmente en la estación poco lluviosa, mientras las *frías* solo aparecen en el trimestre diciembre-febrero con una frecuencia que predominó por debajo del 40% y solo bajo la TEE.

Zonas montañosas

Las zonas montañosas del país mostraron un escenario totalmente diferente de lo descrito hasta el momento. La disminución de las temperaturas, el aumento de la humedad relativa y el efecto del viento en estas zonas tuvieron una gran influencia en el aumento de las sensaciones estresantes por frío en el horario de la mañana. Como se aprecia en la Figura 6 (izq.), la frecuencia de las sensaciones *muy frías* se disparó hasta sobrepasar el 40 y 50 % en Topes de Collantes y Gran Piedra respectivamente, fundamentalmente en el trimestre diciembre-febrero.

Los resultados del UTCI para esta zona físico geográfica del país mostraron las mayores diferencias con la TEE. Como se puede apreciar en la Figura 6 (der.) las sensaciones de *confort* fueron las que prevalecieron durante todo el año en el horario de la mañana y la frecuencia de condiciones *frescas* y *frías* fue muy baja de diciembre a marzo. También a diferencia de la TEE, según este índice, en las zonas montañosas se registraron sensaciones *cálidas* de mayo a septiembre.

En el horario de la 1:00 p.m., la TEE manifestó que las sensaciones *frescas* ocuparon más del 50% de los días de la temporada invernal mientras que las *confortables* sobrepasaron el 50% en los meses de abril a octubre (Figura 7, izq.). La mayor probabilidad de ocurrencia de las condiciones *calurosas* quedó concentrada desde junio a septiembre llegando a más del 40% en el mes de agosto en Topes de Collantes y Pinares de Mayarí.

El UTCI en las zonas montañosas en el horario de mayor calentamiento igualmente presentó grandes diferencias con respecto a la TEE y de forma general predominaron las sensaciones térmicas *confortables*, *ligeramente cálidas* y *calurosas* en todo el año (Figura 7 der.).

Barcia *et al.*, 2020 determinan que en el comportamiento de la TEE la humedad relativa alta (>70 %) tiene una mayor influencia bajo condiciones de altas (>25 °C) y bajas (<10 °C) temperaturas. Es decir, que la influencia de valores de humedad altos se representa por una disminución de la TEE y por la presencia de sensaciones térmicas más frías, comportamiento que no ocurre con el UTCI. Es por esto que la TEE explica mejor que el UTCI las condiciones climáticas de las zonas montañosas cubanas caracterizadas por altos valores de humedad y bajas temperaturas.

El UTCI apenas reflejó sensaciones *muy frías* en el país y las *frías* solo se reportaron hacia las zonas montañosas (Figura 6 y Tabla 4). La comparación realizada entre los dos índices mostró que hay una mayor coincidencia hacia las categorías que expresan estrés por calor (*calurosa* y *muy calurosa*) (Tablas 2, 3 y 4).

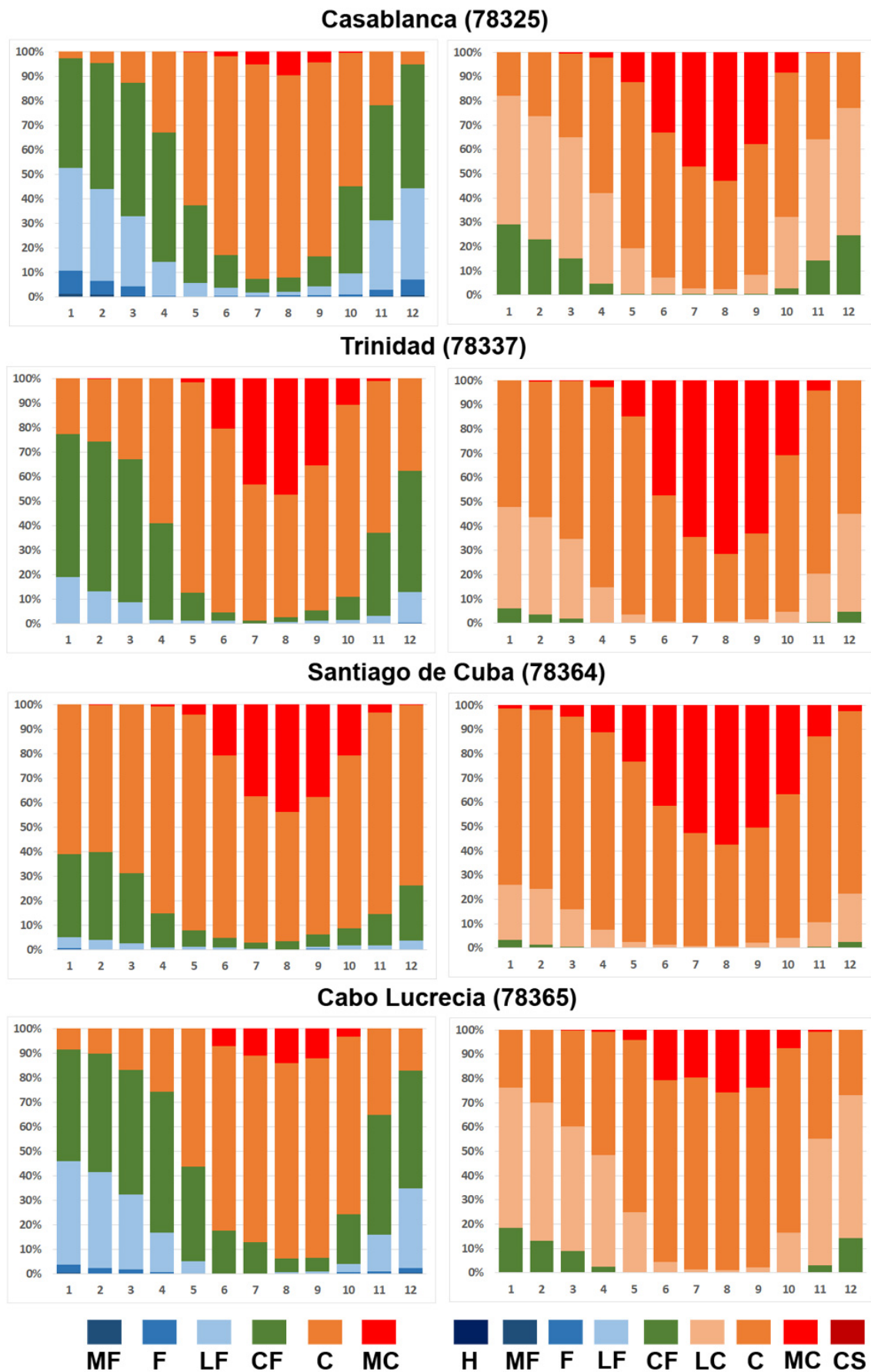


Figura 3. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 1:00 p.m., en estaciones que caracterizan las zonas costeras de Cuba. Período 1981-2010.



Figura 4. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 7:00 a.m., en estaciones que caracterizan las zonas del interior de Cuba. Período 1981-2010.

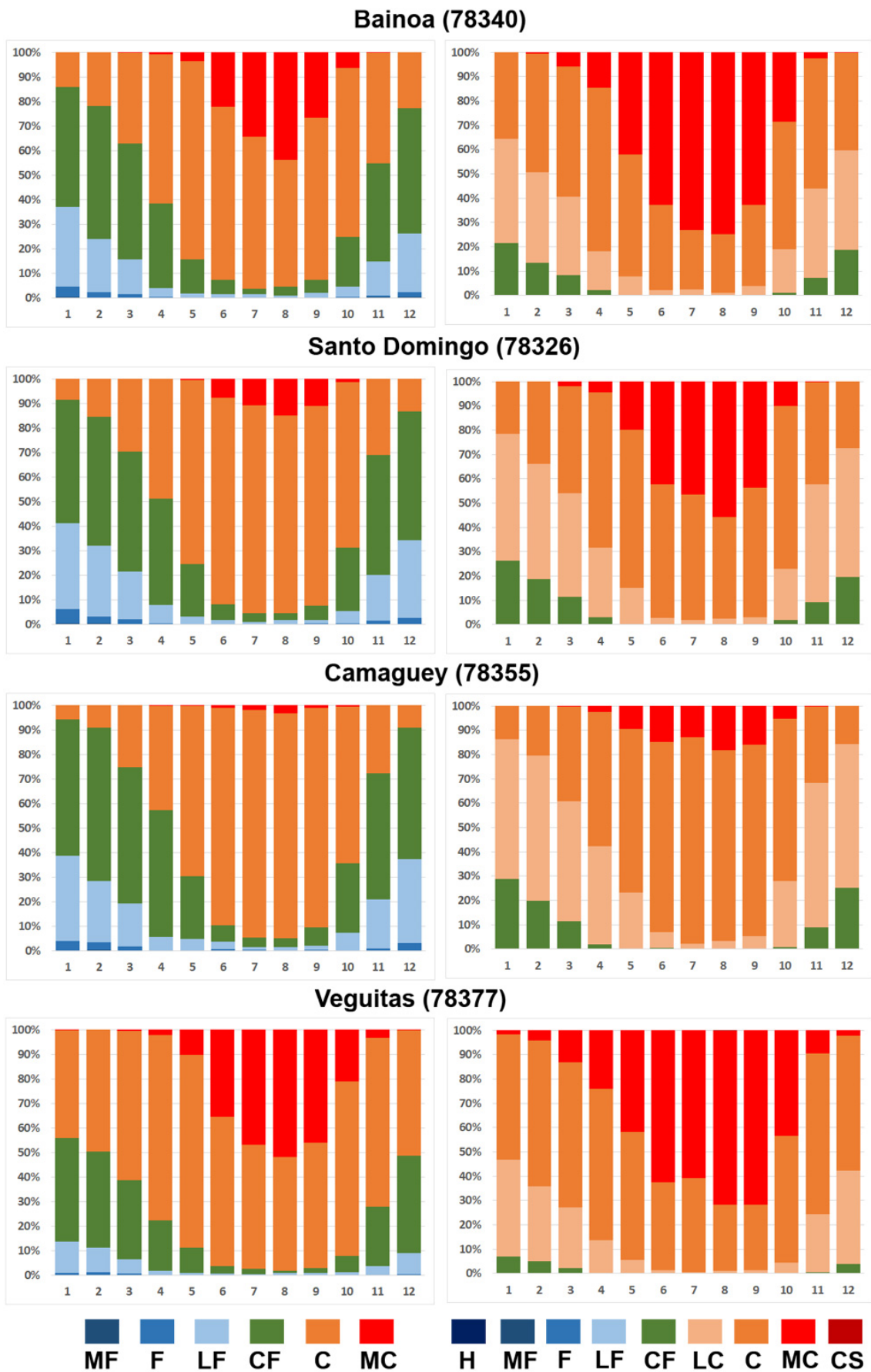
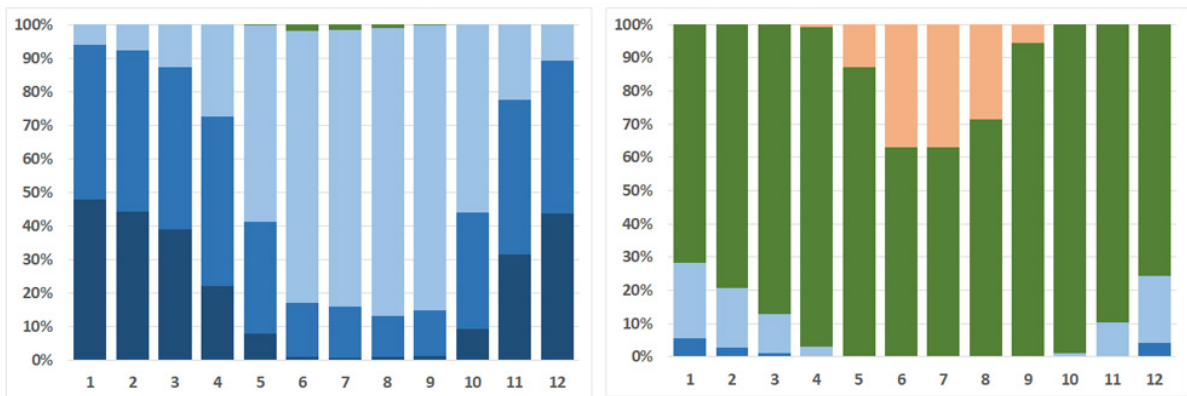
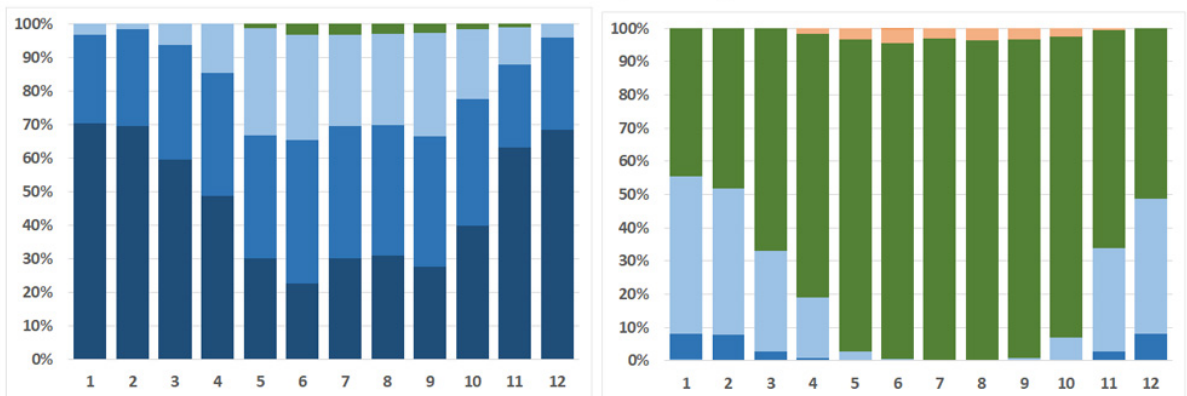


Figura 5. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 1:00 p.m., en estaciones que caracterizan las zonas del interior de Cuba. Período 1981-2010.

Topes de Collantes (78342)



Gran Piedra (78366)



Pinares de Mayarí (78371)

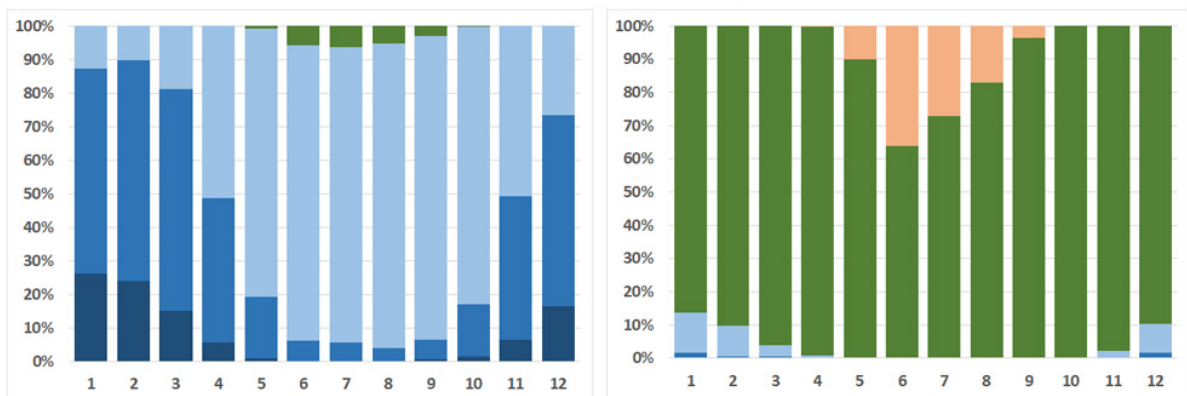


Figura 6. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 7:00 a.m., en estaciones que caracterizan las zonas montañosas de Cuba. Período 1981-2010.

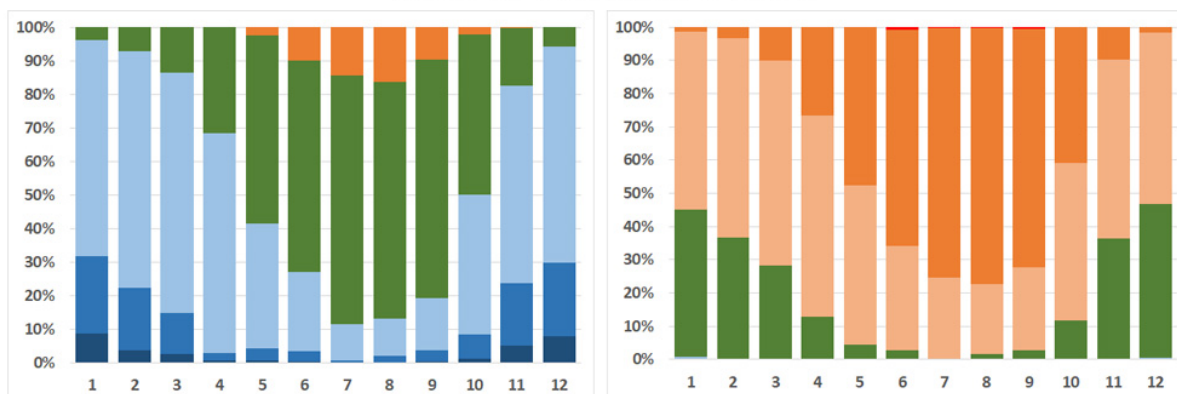
Sin embargo, el confort térmico según el UTCI se alcanzó en un amplio rango de valores que incluye las sensaciones *frescas*, *frías* y *muy frías* expresadas a través de la TEE.

Este resultado muestra la necesidad de calibrar este índice para las condiciones cálidas de Cuba tal y como se hizo para la TE/TEE por León (1988) y para el UT-CI en otras zonas climáticas (Krüger et al., 2012; Silva et al., 2017; Assis et al., 2018; Silva, 2019; Krüger et al., 2020). Dentro de estos resalta el realizado en

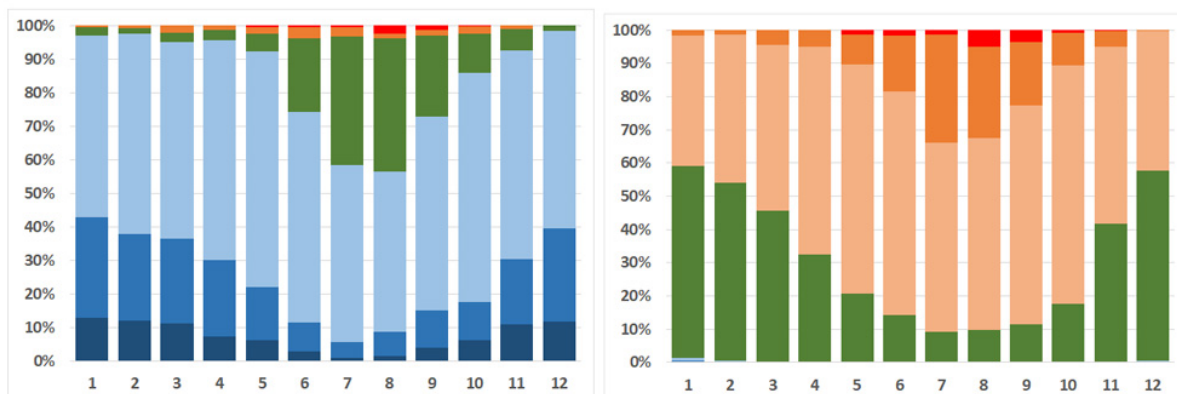
Brasil en la ciudad de Belo Horizonte con un clima semejante al de Cuba (Aw) en el cual se determinó que el confort térmico se encontraba entre 16.9 °C y 26.4 °C del índice UT-CI (Silva, 2019; Krüger et al., 2020).

También llama la atención el gran porcentaje de casos en que el UT-CI no está definido y que a su vez coincide con la categoría de *muy frío* según la TEE (Tablas 2 y 3). Este comportamiento puede estar relacionado con que este índice no está definido para velo-

Topes de Collantes (78342)



Gran Piedra (78366)



Pinares de Mayarí (78371)

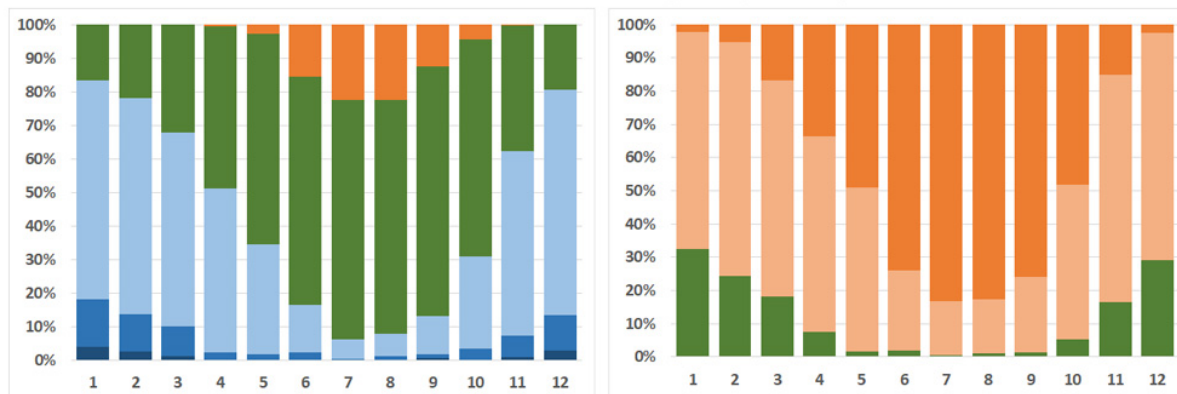


Figura 7. Distribución de frecuencias de la TEE (izquierda) y UTCI (derecha) a las 1:00 p.m., en estaciones que caracterizan las zonas montañosas de Cuba. Período 1981-2010.

ciudades del viento igual a 0 m/s, es decir con calmas y en el caso de Cuba las condiciones de estrés por frío en muchas ocasiones están relacionadas con situaciones de escasa nubosidad y calma lo que produce una gran irradiación y consecuentemente la disminución notable de las temperaturas. Por solo citar algunos ejemplos, en la estación meteorológica de Casablanca en el período 1981-2010 el 35% de las veces en que se reportaron sensaciones *frías* y *muy frías* según la TEE fue bajo condiciones de calma; en Bainoa fue del 40

% y en Santo Domingo fue del 51.3 %. A criterio de los autores esta puede ser una limitante para el uso de este índice en el caso de Cuba.

Debe recordarse también que los valores del UTCI contienen un cierto nivel de incertidumbre ya que la T_{mrt} fue estimada por el modelo *Rayman* lo cual recalca la necesidad de retomar las mediciones de la radiación solar en la red de estaciones meteorológicas del país toda una vez que el factor que condiciona mayormente el clima de Cuba es el elevado régimen

Tabla 2. Coincidencias entre las categorías de la TEE y el UTCI expresadas en porcentaje en estaciones meteorológicas (78325, 78337, 78364 y 78365) de las zonas costeras de Cuba. (ND-no definido)

UTCI/ TEE	01-H	02-MF	03-F	04-LF	05-CF	06-LC	07-C	08-MC	09-CS	ND
01-MF	0.0	0.0	1.3	18.0	38.2	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5
02-F	0.0	0.0	0.0	2.9	81.1	0.3	0.0	0.0	0.0	15.7
03-LF	0.0	0.0	0.0	0.0	75.4	12.6	0.2	0.0	0.0	11.8
04-CF	0.0	0.0	0.0	0.0	25.6	39.8	10.7	0.0	0.0	23.9
05-C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	52.1	9.4	0.0	22.3
06-MC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	21.0	62.5	0.0	16.4

Tabla 3. Coincidencias entre las categorías de la TEE y el UTCI expresadas en porcentaje en estaciones meteorológicas (78340, 78343, 78355, 78377) de las zonas interiores de Cuba. (ND-no definido)

UTCI/ TEE	01-H	02-MF	03-F	04-LF	05-CF	06-LC	07-C	08-MC	09-CS	ND
01-MF	0.0	0.0	0.2	20.0	42.2	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5
02-F	0.0	0.0	0.0	0.7	73.7	0.2	0.0	0.0	0.0	25.4
03-LF	0.0	0.0	0.0	0.0	66.2	11.2	0.1	0.0	0.0	22.5
04-CF	0.0	0.0	0.0	0.0	24.5	37.4	9.5	0.0	0.0	28.6
05-C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	16.5	59.9	14.1	0.0	9.4
06-MC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	67.9	0.0	9.6

Tabla 4. Coincidencias entre las categorías de la TEE y el UTCI expresadas en porcentaje en estaciones meteorológicas (78342, 78366, 78371) de las zonas montañosas de Cuba. (ND-no definido)

UTCI/ TEE	01-H	02-MF	03-F	04-LF	05-CF	06-LC	07-C	08-MC	09-CS	ND
01-MF	0.0	0.1	5.3	43.8	49.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
02-F	0.0	0.0	0.0	0.9	86.0	1.4	0.0	0.0	0.0	11.8
03-LF	0.0	0.0	0.0	0.0	40.2	27.8	1.0	0.0	0.0	31.0
04-CF	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	35.6	40.4	0.0	0.0	20.8
05-C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	83.3	3.2	0.0	8.0
06-MC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	69.9	0.0	0.0

de radiación solar incidente (Lecha, 1992). Se plantea que la Tmrt tiene tanta influencia como la temperatura del aire en la pérdida de energía.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se confirma que en Cuba el rango diurno de las sensaciones térmicas según la TEE varía en dependencia de la época del año y el horario del día. Las mañanas del período poco lluvioso se caracterizan por ser generalmente *frescas* y en menor medida resultan *frías* o *muy frías* sobre todo hacia la mitad occidental del país. En cambio, las tardes de mayo a octubre son mayormente calurosas llegando a ser muy calurosas en los meses de julio y agosto.

El comportamiento del UTCI es similar, sin embargo las sensaciones *frescas* y *frías* presentan muy baja frecuencia hacia las zonas llanas del país en el horario de la mañana cuando predominan durante todo el año las sensaciones de *confort* y *ligeramente cálidas* .

Se corrobora a través de ambos índices que las zonas montañosas presentan las condiciones térmicas

más confortables del país, aunque según el UTCI en el horario de la tarde estas pueden degradarse y llegar a ser muy *ligeramente cálidas* y *calurosas* con altas frecuencias en los meses centrales del verano.

El presente trabajo realiza una primera aproximación a la aplicación del UTCI en Cuba para caracterizar las sensaciones térmicas. Los resultados reafirman que las sensaciones térmicas varían según la zona geográfica sugiriendo la influencia de la aclimatación regional por lo que resulta necesario calibrar el UTCI para las condiciones cálidas de Cuba. De esta forma, puede incorporarse el uso del mismo en el pronóstico de las sensaciones térmicas, aplicaciones para el turismo o en la planeación y diseño de zonas urbanas.

REFERENCIAS

- Assis, J. P.; Galvani, E.; Wollmann, C. A. y Teixeira, F. L. 2018. Calibração das Faixas de Conforto Térmico Humano para Espaços Abertos em Clima Subtropical. *Revista do Departamento de Geografia* , Universidade de São Paulo, Volume

- Especial do II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, 129-139, ISSN 2236-2878, DOI: [10.11606/rdg.v0ispe.140606](https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.140606).
- Barcia, S.; Otero, M.; Hernández, D.; Gómez, D. y Gómez, L. 2020. Comparación de diferentes índices bioclimáticos en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(3), 1-19, ISSN: 2664-0880.
- 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](https://doi.org/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). Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- 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.
- 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 Tecnología y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- 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 Vidaillet, J. 1990. *Frecuencias de las sensaciones térmicas en Cuba sobre la base de la temperatura efectiva equivalente (TEE)*. VIII Jornada Científica del Instituto de Meteorología, La Habana. (Inédito).
- Jendritzky, G., Maarouf, A. & Staiger, H. 2001. *Looking for a Universal Thermal Climate Index - UTCI for Outdoor Applications*. Presented at the Windsor - Conference on Thermal Standards, Windsor, UK.
- Krüger, E.; Bröde, P. Emmanuel, R. y Fiala, D. 2012. Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, <http://nceub.org.uk>
- Krüger, E.; Silva, T. J.; Queiroz da Silveira, S.; Grala, E. y Alcántara, L. 2020. Calibrating UTCI'S comfort assessment scale for three Brazilian cities with different climatic conditions. *International Journal of Biometeorology*, Special Issue: UTCI - 10 years of applications, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01897-x>.
- Lecha, L. B. y Florido, A. 1989. *Principales características del régimen térmico del archipiélago cubano*. Editorial Academia. La Habana. 56 pp.
- Lecha, L. B. 1989. El complejo temperatura del aire-rapidez del viento. *Arquitectura y Urbanismo*, X(1).
- Lecha, L. B. 1992. Características climatológicas de las sensaciones confortables en el archipiélago cubano. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 20, 81-98.
- 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.
- Lin, T.P. & Matzarakis, A. 2008. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology*, 52(4), 281-290.
- Matzarakis A. & Rutz, F. 2007. Rayman: a tool for tourism and applied climatology". *Developments in Tourism Climatology*, pp. 129-138
- Osorio, M., Vidaillet, D. y León A. 1988. La temperatura efectiva equivalente en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 1(1), 72-78, ISSN: 0864-151X.
- Osorio, M. 1989. Bienestar Térmico sobre la base de la Temperatura Efectiva Equivalente. Nuevo Atlas de Cuba.
- 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.
- Silva, L. F.; Ferreira, J. V. y Reis, M. 2017. Avaliação dos índices PET e UTCI em espaços públicos centrais, Palmas, Tocantins. *Revista Sitio Novo*, 1, 168-189, ISSN 2594-7036.
- Silva, L. F. 2019. Calibração do Universal Thermal Climate Index (UTCI) para Espaços Abertos do Município de Belo Horizonte, Minas Gerais. (Tesis de Maestría). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil.
- 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.

Sinaí Barcia Sardiñas · Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba. E-mail: sinaibs@gmail.com

Dunia Hernández González · Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba. E-mail: dunyhernandez92@gmail.com

Lomberto Gómez Camacho · Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Villa Clara, Cuba

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autoría: Concepción de la idea: **Sinaí Barcia Sardiñas**. Manejo de los datos: **Dunia Hernández y Lomberto Gómez Camacho**. Análisis de los datos: **Sinaí Barcia Sardiñas y Dunia Hernández**. Investigación: **Sinaí Barcia Sardiñas**. Metodología: **Sinaí Barcia Sardiñas**. Software: **Lomberto Gómez Camacho y Dunia Hernández**. Supervisión: **Sinaí Barcia Sardiñas**. Validación de los resultados: **Sinaí Barcia Sardiñas**.

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/)