

LAS CONDICIONES DE CALOR INTENSO (CCI) COMO INDICADOR DE EXTREMOS BIOClimATICOS EN LA HABANA, CUBA

A. V. Guevara

vladimir.guevara@insmet.cu

M. Santana

mayra.santana@insmet.cu

A. León

antonia.leon@insmet.cu

L. R Paz

luis.paz@insmet.cu

A. Campos (†)

Centro del Clima, Instituto de Meteorología - CITMA, Cuba

RESUMEN

En el trabajo se caracterizan las condiciones extremas por excesivo calor en La Habana (Cuba) y su variabilidad intraestacional, estacional e interanual. Para ello, se determinan las *condiciones de calor intenso (CCI)*, nuevo indicador bioclimático generado a partir de las sensaciones térmicas de las personas en horarios contrastantes (07:00 y 13:00 h - 75° W), según los valores de los índices de temperatura efectiva y temperatura efectiva equivalente. Los cálculos se efectuaron para el período 1975-2004, con datos de las estaciones meteorológicas de Casablanca y Santiago de las Vegas; y para diferentes puntos dentro de la ciudad con información climatológica proveniente de mediciones y observaciones microclimáticas. Los resultados indican que las CCI ilustran coherentemente tanto las condiciones medias como la variabilidad climática de los extremos por calor, al compararse con otros indicadores bioclimáticos. Se establece una diferenciación entre la zona costera, con mayor cantidad de días con CCI, y el interior del territorio, donde es menor. Se reportan tendencias crecientes de alta significación estadística en el número de días anuales con esta condición; puntos de cambio significativos en las series entre los años 1980 y 1994; y el alargamiento de la temporada donde ellas se manifiestan, a cuenta de un final más avanzado en el año, más notables en Santiago de las Vegas. En presencia de CCI en la estación de Casablanca, importantes variaciones pueden producirse dentro de la ciudad, donde influyen la distancia al mar, el efecto del viento y la compactación de las edificaciones. El enfoque y la metodología empleados pueden aplicarse a otras unidades naturales o político-administrativas, en condiciones climáticas similares.

Palabras clave: sensaciones térmicas, temperatura efectiva, calor intenso, variabilidad climática.

RESUMO

Neste trabalho, são caracterizadas as condições extremas por excesso de calor em Havana (Cuba), bem como a sua variabilidade intrasazonal, sazonal e interanual. Para isso determinaram-se as condições de calor intenso (CCI), um novo indicador bioclimático térmico gerado a partir das sensações de pessoas em horários contrastantes (07:00 e 13:00 h - 75° W), de acordo com os valores dos índices de temperatura efectiva e de temperatura equivalente (sensação térmica). Os cálculos foram feitos no período de 1975 a 2004, com dados de estações meteorológicas em Casablanca e Santiago de las Vegas., e para diferentes pontos da cidade com informações sobre o tempo a partir de medições e observações microclimáticas. Os resultados indicam que as CCI ilustram coherentemente tanto as condições médias como a variabilidade das condições extremas de calor, quando comparadas com outros indicadores bioclimáticos. Estabelece-se uma diferenciação entre a zona costeira, com o maior número de dias com CCI, e o interior do território, onde há menos dias de CCI. Apresentam-se as tendências do aumento da significância estatística no número de dias por ano com estas condições, contendo significativos pontos de mudança na série entre 1980 e 1994, bem como o prolongamento da época em que ocorrem, com destaque em Santiago de las Vegas. Na presença de CCI na estação de Casablanca, podem ocorrer significativas variações dentro da cidade, onde as principais influências são: a distância entre o ponto considerado e o mar, o efeito do vento e a compactação dos edifícios. A abordagem e a metodologia podem ser aplicadas a outras unidades naturais ou político-administrativas, em condições climáticas semelhantes.

Palavras chave: sensação térmica, temperatura efetiva, calor intenso, variabilidade climática.

RÉSUMÉ

Dans ce travail, les conditions extrêmes sont caractérisées par une chaleur intense à La Havane (Cuba) et de sa variabilité intra saisonnière et interannuelle. Pour cela, on fait la détermination des conditions de chaleur intense (CCI), un nouveau indicateur bioclimatique thermique produit à partir de la sensation des personnes dans des horaires contrastés (07:00 et 13:00 h - 75° W), selon les valeurs des indices de température effective équivalente. Les calculs ont été effectués pour la période 1975-2004, avec des données provenant des stations météorologiques à Casablanca et à Santiago de las Vegas, et pour les différents points dans la ville avec des informations météorologiques à partir de mesures et observations microclimatiques. Les résultats indiquent que les deux CCI illustrent avec cohérence les conditions moyennes et la variabilité des conditions de chaleur extrême, en comparaison avec d'autres indicateurs bioclimatiques. On établit une distinction entre la zone côtière, avec le plus grand nombre de jours avec les CCI, et le territoire où il est inférieur. Nous rapportons la tendance à augmenter de signification statistique dans le nombre de jours par an à cette condition: points de changement significatif de la série entre 1980 et 1994, et l'allongement de la saison où elles se produisent, finissant plus tard dans l'année, les plus notables, à Santiago de las Vegas. En présence du CCI à Casablanca, des variations importantes peuvent se produire à l'intérieur de la ville, où la distance de la mer, l'effet du vent et de compactage des bâtiments ont de l'influence. L'approche et la méthodologie peut être appliquée à d'autres unités physiques ou politique-administratives, dans des conditions climatiques similaires.

Mots-clé: sensation thermique, température effective, chaleur intense, variabilité du climat.

ABSTRACT

In this paper, the extreme conditions by excessive heat in Havana (Cuba) and their interannual, seasonal and intraseasonal variability are characterized. A new bioclimatic index (intense heat condition - *IHC*) is generated from the thermal sensations of people in contrasting hours (07:00 and 13:00 h - 75° W), according to effective temperature and equivalent effective temperature indexes. The calculations were made for the period 1975-2004, with climatic data from meteorological stations of Casablanca and Santiago de las Vegas and microclimate observations in different points inside the city. The results show that *IHC* illustrates cohesively so much the mean conditions as the climate variability of the extreme heat, when being compared with other bioclimatic indexes. A contrast in the behaviour of the number of days with *IHC* is established between the coastal area (higher values) and inland (lower values). Increasing trends of high statistical significance in the number of annual days with *IHC*; significant points of change in the series between 1980 and 1994; and the enlargement of the season where such conditions were present, more remarkable in Santiago de las Vegas station, are reported. Under *IHC* in Casablanca, important variations can take place inside the city, where the distance to the sea, the influence of the wind, the construction density, among other factors, seem to be decisive. This approach and methodology can be applied to other natural or political-administrative units, with similar climatic conditions.

Key words: thermal sensation, effective temperature, intense heat, climate variability.

Introducción

Los eventos climáticos extremos despiertan la atención de los climatólogos dada la vulnerabilidad de las sociedades frente a sus manifestaciones. Su estudio hoy adquiere mayor relevancia, pues la especie humana necesita adaptarse a una variabilidad no habitual del clima y asumirlo bajo el prisma del cambio global. Menos frecuentes resultan las investigaciones sobre extremos bioclimáticos, específicamente aquellos vinculados con la sensación térmica de las personas. Ellos pueden conllevar al

estrés térmico del individuo, sea por frío o por calor excesivo. Como regla, se han abordado a partir de las temperaturas extremas y sólo por excepción se han tomado en cuenta los valores de sensación o tensión térmicas asociados a ellas, no obstante reconocerse que, además de la temperatura, otras variables influyen sobre el bienestar de los seres humanos (humedad relativa, rapidez del viento, radiación solar).

Los países de latitudes medias y altas se ven afectados periódicamente por *olas de calor*. Las alarmantes cifras de fallecidos a cuenta del fenómeno,

sobre todo de ancianos y enfermos, demuestran que la sociedad actual aún no se encuentra suficientemente preparada para enfrentar el impacto de los extremos bioclimáticos. Según IPCC (2007), en un clima futuro más cálido se producirá un incremento del riesgo por *olas de calor*, las que serán más frecuentes, intensas y de mayor duración, lo cual incidirá negativamente sobre la salud y el bienestar de las personas. O.M.M. (1999) refiere que sensaciones de desagrado térmico, desgaste fisiológico, trastornos de salud y agotamiento por calor son algunos de los desórdenes que aparecen en ese mismo orden al sobrepasarse los márgenes de tolerancia del organismo, con peligro para la vida si se rebasa el límite de 40.6° C en la temperatura basal del cuerpo.

En cambio, en la zona tropical se ha minimizado la importancia de los extremos por calor, alegándose que sus poblaciones se encuentran fisiológicamente adaptadas a las altas temperaturas y al elevado contenido de humedad del aire reinantes. Sin embargo, la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) ya ha alertado de que situaciones críticas pudieran producirse también en bajas latitudes. La Comisión de Climatología de la O.M.M. recalca que debía brindarse más apoyo a los estudios referentes a los efectos de la variabilidad climática sobre el comportamiento de fenómenos tales como las *olas de calor* en las regiones tropicales (O.M.M., 2001). Para ello se basa en las proyecciones del incremento de la temperatura con el cambio climático, en el número cada vez mayor de personas que viven en entornos urbanos en el trópico y en el fortalecimiento de ciertos efectos (ej.: *isla de calor*), provocados por el crecimiento desmesurado de las grandes urbes y la aparición de megaciudades (megalópolis) o conurbaciones. Todo esto incidirá negativamente en el confort térmico de las poblaciones. Un elemento adicional es que los habitantes de climas tropicales, si bien no están expuestos a valores récord de las variables asociadas al estado térmico del individuo, soportan condiciones estresantes durante lapsos prolongados, anual y diariamente.

En Cuba, resultados recientes obtenidos por GONZÁLES (2005) arrojaron que en Casablanca, La Habana, la cantidad de días cálidos (días con temperatura máxima por encima del percentil 90 - TX90p) presenta una tendencia creciente significativa durante el período 1961-2003, constatada en la mayor parte del verano, al igual que en noviembre y diciembre. También crecen significativamente los valores del índice de duración de episodios cálidos (WSDI: índice ilustrativo del total de días consecutivos, en intervalos de por lo menos 6 días, donde la temperatura máxima es mayor que el percentil 90 - % de días) reportados en esa estación

en el mismo intervalo, encontrándose períodos entre 6 y 11 días, con un valor máximo en 2003. Un comportamiento similar hallaron AGUILAR *et al.* (2005) para América Central y la parte septentrional de América del Sur, donde se manifiestan importantes incrementos de la temperatura máxima diaria, con una gran coherencia espacial, sobre todo en TX90p.

En general, en los últimos años se ha experimentado un calentamiento notable en nuestra área, con mayor frecuencia de días muy cálidos agrupados consecutivamente, como señala Centro Nacional del Clima (1998; 1999a; 1999b; 2004).

Desde los años 80 del pasado siglo, una gran cantidad de autores caracterizaron a Cuba desde el punto de vista bioclimático y, en específico, de las sensaciones térmicas de los seres humanos (SANTANA, 2004). No ha ocurrido así con el comportamiento extremo de las mismas, en especial de las condiciones más calurosas. Tal hecho quizás se sustente en que éstas no son tan marcadas como en países de clima continental, o porque los sistemas de salud y de defensa civil cubanos están potencialmente preparados para dar una respuesta efectiva ante cualquier contingencia meteorológica, o por no existir percepción de un peligro hasta ahora mínimo, pero que puede crecer en un futuro no lejano. En consecuencia, los objetivos del trabajo consisten en definir y clasificar las condiciones bioclimáticas extremas (por calor) en la provincia de Ciudad de La Habana, mediante el uso de un nuevo indicador: la *Condición de Calor Intenso (CCI)*, con énfasis en la descripción de su comportamiento espacio-temporal en la capital cubana.

Materiales y métodos

La información climatológica básica provino de los registros correspondientes a las estaciones meteorológicas de Casablanca y Santiago de las Vegas, adscritas a la red climatológica del Instituto de Meteorología (CUADRO I). Son las más antiguas de Cuba y nunca han sufrido reubicaciones, asumiéndose la buena calidad de sus series.

Los valores horarios de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, medidos a las 07:00 y 13:00 horas del meridiano 75° W en el período 1975-2004, constituyeron los datos iniciales. Los mismos fueron extraídos de los archivos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología. Se consideró a priori que ambos horarios son representativos de los períodos más frío y más cálido del día, respectivamente.

Como fuente informativa adicional, se utilizaron datos de las mismas variables meteorológicas identificadas anteriormente, pero ahora obtenidos de observaciones a escala microclimática, dentro del

área más densamente urbanizada de la capital (parques, plazas, calles, etc.). Las mediciones se efectuaron entre los años 1986-1994 (NIEVES *et al.*, 1988; NIEVES y ORTIZ, 1994) y se basaron en una metodología desarrollada en la extinta URSS, adaptada a las condiciones de Cuba por NIEVES y PRILIPKO (1988). Se partió de 12 puntos de observación y medición (CUADRO II y fig. 1), con el empleo del método sincrónico para la captación de la información necesaria.

En total se captaron 65 748 datos primarios en cada estación meteorológica, que fueron validados por distintas vías: comparación inicial con los valores extremos absolutos de las variables en el período, cálculo de estadígrafos de posición y dispersión a las series conformadas por ellas, muestreos gráficos a subconjuntos de datos, análisis individual de valores dudosos, etc.

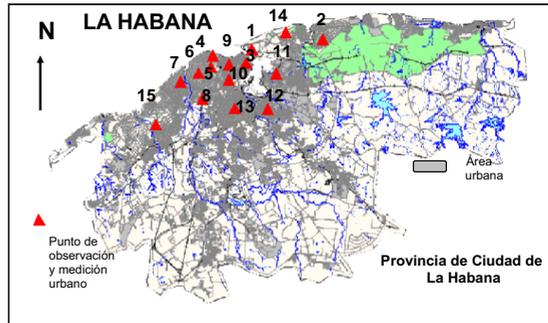


Fig. 1 - Ubicación de los puntos de observación y medición de las variables meteorológicas en el área urbana de Ciudad de La Habana.

durante la mayor parte del año en Cuba. A continuación, se conformaron series en distintos plazos temporales (diario, mensual, anual) con los valores calculados de TE y TEE para cada estación.

CUADRO I - Características de las estaciones meteorológicas seleccionadas. Ciudad de La Habana.

Estación meteorológica	Año de fundación	Entorno	Coordenadas geográficas		
			Latitud	Longitud	Altitud
Casablanca	1909	Urbano - costero	23° 08' 35" N	82° 20' 30" W	50,80 m
Santiago de las Vegas	1906	Urbano - interior	22° 58' 40" N	82° 23' 18" W	77,50 m

Con la información acopiada se calcularon los valores de temperatura efectiva (TE) y temperatura efectiva equivalente (TEE) a las mismas horas, para cada día del período seleccionado, mediante la expresión de Brooks (BÚTIEVA, 1984):

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

Y

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

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, proveniente 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

Como intervalos para evaluar la sensación de calor de los seres humanos (CUADRO III) se tomaron los propuestos por LEÓN (1988). En una primera aproximación, LEÓN *et al.* (2003) los consideran adecuados para la población cubana, aclimatada a las condiciones cálidas y húmedas que imperan

CUADRO II - Puntos de observación y medición de las variables meteorológicas dentro de la ciudad.

Puntos
1. Casablanca
2. Alamar (Habana del Este)
3. Habana Vieja
4. Malecón y Humboldt (Plaza Rev.)
5. 23 y G (Plaza de la Revolución)
6. 23 y 12 (Plaza de la Revolución)
7. 19 y 44 (Playa)
8. 26 y 51 (Plaza de la Revolución)
9. Infanta y Carlos III (Centro Habana)
10. Infanta y Cádiz (Cerro)
11. Regla
12. San Miguel del Padrón
13. Víbora (10 de Octubre)
14. Estadio Panamericano (H. del Este)
15. 152 y 49 (Marianao)

La evaluación de los extremos bioclimáticos asociados al calor se produjo a través de la identificación de los días en que se presentan *CCI*, *sin viento* (CCI_{sv}) y *con viento* (CCI_{cv}), junto con las fechas de inicio y fin de la temporada donde se manifiesta el fenómeno, y la duración de la misma.

Para la caracterización de las *CCI* como extremo bioclimático y su variabilidad en las estaciones meteorológicas seleccionadas se siguió el siguiente procedimiento:

- l Determinación de los estadígrafos de posición y de dispersión más conocidos (media, mediana, cuartiles, desviación estándar, coeficiente de variación, asimetría y curtosis). Construcción de gráficos de “cajas y bigotes” de las series anuales de la cantidad de días mensuales con *CCI*, en Casablanca y Santiago de las Vegas.
- l Comparación del comportamiento de las *CCI* con el de otros indicadores de condiciones bioclimáticas extremas: intervalos de interconexión de la categoría de días muy cálidos - tipificación del régimen térmico cubano (LECHA y FLORIDO, 1989); tipos de estado del tiempo diario local - ETDL (LECHA, 1992); índice de calor sofocante - ICS (GOGUISHVILI, 1969); índice de temperatura aparente, sensación térmica o índice de calor de STEADMAN (1979). Tablas de contingencia. Estación de Casablanca. Año 1993.
- l Análisis de las marchas anuales y multianuales de la cantidad de días con *CCI*, para determinar la existencia de agrupaciones de meses/años con características similares. Comprendió la inspección visual de los gráficos; análisis cluster a los mismos datos, con el uso de la distancia euclidiana y enlace simple para la determinación de los grupos; la caracterización de las fechas de inicio y fin de las temporadas donde se presentan días con *CCI*, así como su duración media, máxima y mínima para cada estación. Software: STATISTICA para Windows (1995).

- l Determinación de la existencia de correlación serial entre los datos, tendencias y de zonas con cambios en las series de *CCI* (Casablanca y Santiago de las Vegas): aplicación de la dócima no paramétrica de Wald - Wolfowitz; cálculo de los estadígrafos de Spearman y Mann - Kendall (en sentido directo e inverso, según SNEYERS, 1975) y de Pettitt (VANNITSEM y DEMARÉE, 1991), bajo un nivel de significación del 5 y del 10%. Software: Winstat (MELLADO y BORRAJERO, 1997).

Los datos provenientes de los puntos de observación situados en el interior de la ciudad fueron validados previamente en el proyecto “Caracterización del clima urbano de algunas de las principales ciudades de Cuba” (NIEVES y ORTIZ, 1994). Con ellos se calcularon la TE y TEE bajo esas condiciones, en los horarios de las 07:00 y 13:00 h. Siguiendo los mismos criterios asumidos para las estaciones meteorológicas, se determinaron los casos donde aparecían CCI_{sv} - CCI_{cv} , junto con la condición de que se manifestaran simultáneamente en al menos 4 ó 5 puntos dentro del territorio de la capital. Una selección de ellos fue escogida para ilustrar la respuesta diferenciada del indicador ante la influencia urbana, en asociación con la situación meteorológica reinante, que se tomó de los reportes sobre el estado general del tiempo en los días correspondientes, recopilados en el Archivo de Datos del INSMET. Los resultados se presentan en tablas y gráficos.

Análisis de los resultados:

Como resultados más importantes del trabajo se tienen:

1. Se ha formulado un indicador bioclimático para el estudio de los extremos de sensación térmica (*CCI*), sobre la base de los valores de TE y TEE en horarios contrastantes del día.

La *CCI* es un nuevo indicador bioclimático, concebido para enfrentar el estudio de los extremos de sensación térmica asociados al calor en climas tropicales húmedos. Se puede definir como “aquella condición donde, subjetivamente, las sensaciones térmicas por excesivo calor prevalecen durante todo el día o en parte considerable de él, ya sea por su intensidad, duración o por una combinación de ambas características”. Se manifiesta en dos variantes: *sin viento* (CCI_{sv}) - partiendo de los valores de TE - y *con viento* (CCI_{cv}) - sobre la base de las magnitudes de TEE. Se expresan en tres categorías, comunes para sus dos variantes, denotadas ascendientemente según su intensidad (CUADRO IV).

CUADRO III - Intervalos de sensación térmica para Cuba sobre la base de TE y TEE. Fuente: LEÓN (1988)

Intervalo de TE / TEE	Sensación
$TE - TEE \leq 12^\circ\text{C}$	Muy fría
$12.0 < TE - TEE \leq 17.0$	Fría
$17.0 < TE - TEE \leq 22.0$	Ligeramente fría o fresca
$22.0 < TE - TEE \leq 25.0$	Confortable
$25.0 < TE - TEE \leq 28.0$	Calurosa
$TE - TEE > 28.0^\circ\text{C}$	Muy calurosa

CUADRO IV: Clasificación de las CCI (sin viento y con viento) por categorías.

Categoría CCI	Sensaciones a las 0700 horas	Sensaciones a las 1300 horas
1	Confortables	Muy calurosas
2	Calurosas	Calurosas
3	Calurosas	Muy calurosas

Al incorporar horarios contrastantes en un solo indicador, la CCI extiende al campo de las sensaciones térmicas la consideración del plazo temporal diario, reconocido como fundamental en el clima de Cuba por LECHA y FLORIDO (1989). Sobre la base de los rasgos señalados por Smoyer - TOMIC y RAINHAM (2001) y SANTANA (2004), el indicador se basa en índices bioclimáticos sencillos para su formulación, sin excluir el empleo posterior de otros más complejos; brinda la posibilidad de una valoración bastante completa de las sensaciones térmicas con un mínimo de variables climáticas; asegura la facilidad en su interpretación, pues la salida es en unidades conocidas ($^{\circ}\text{C}$); permite una evaluación cómoda y comprensiva de las sensaciones térmicas, según el intervalo donde se sitúen; y una aplicación e introducción en la práctica inmediatas.

- Como indicador de condiciones bioclimáticas extremas, la CCI_{sv} muestra una alta correspondencia con las categorías de mayor tensión térmica de otros índices como el de calor sofocante, la temperatura aparente o la tipificación del régimen térmico cubano.

Sin embargo, la concordancia es mucho menor en el caso de la CCI_{sv} con los tipos de ETDL reconocidos como los más estresantes desde el punto de vista bioclimático, así como entre la CCI_{cv} y todos los indicadores seleccionados (CUADROS V y VI).

- En general, la CCI es una condición relativamente poco frecuente en La Habana, al ocurrir en menos del 20% del total de días del año. Durante todo el período en estudio (30 años) se han presentado 1 842 días con CCI_{sv} en Casablanca, en las tres categorías, para un 16.8% de la cantidad analizada y una media de 61 días anuales. En Santiago de las Vegas los valores disminuyen hasta 1817 días (16.6% - 60 días al año), evidenciando una diferencia prácticamente nula en su ocurrencia respecto a la estación costera. De los totales anteriores, permanecen como CCI_{cv} menos de la mitad, con 846 días en

Santiago de las Vegas (7.7% - 28 días en el año), que descienden a 460 en Casablanca (4.2% - 15 días como promedio anual), en relación evidente con un mayor efecto del viento sobre la sensación térmica de las personas. En las figuras 2 y 3 se muestra el comportamiento de importantes estadígrafos relativos a las CCI en las estaciones seleccionadas.

Las principales diferencias observadas entre las series de ambas estaciones radican en los promedios relativamente altos de la cantidad de días con categoría 1, tanto de CCI_{sv} como de CCI_{cv} , en Santiago de las Vegas, a cuenta de valores mensuales más bajos, pero mejor distribuidos entre todas las categorías, en Casablanca. Este rasgo implica una primera diferenciación entre condiciones litorales e interiores en la provincia, respecto al tema.

- La CCI_{sv} es propia de todo el verano, presentándose en su mayor parte entre los meses de mayo y octubre. En cambio, la cantidad de días con CCI_{cv} es mucho menor, restringiéndose al período junio - septiembre. En ambos casos, los valores máximos se presentan en julio y agosto (figs. 4, 5, 6 y 7).
- Según el comportamiento de la frecuencia de las categorías de CCI, es posible discriminar las zonas costeras o interiores del territorio, o los años más o menos cálidos dentro de un período determinado, según plantea GUEVARA (2006). Se establece una diferenciación bioclimática entre Casablanca (estación costera) y Santiago de las Vegas (interior), donde la primera se caracteriza por mayor cantidad de días con CCI_{sv} , relativamente menos casos en la categoría 1, menor frecuencia de días con CCI_{cv} , junto con una importante presencia de la categoría 2 (figs. 4 y 5). En Santiago de las Vegas (figs. 6 y 7) la cantidad de días con CCI_{sv} es más pequeña, con mayor frecuencia de días con CCI - categoría 1, los que disminuyen en menor proporción que en la costa al tener en cuenta

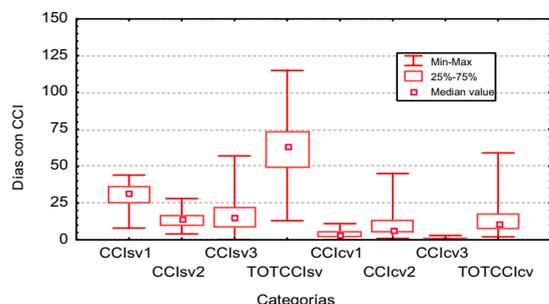


Fig. 2 - Estadígrafos representativos de CCI. Casablanca. 1975-2004.

el efecto del viento. Aún bajo esas condiciones, la categoría 1 mantiene allí el predominio dentro de la CCI_{cv} .

En regiones interiores predomina la categoría que se caracteriza por altos contrastes diarios, por lo cual su impacto como extremo bioclimático es menor, al posibilitar la recuperación del estrés térmico del día. En regiones costeras es más homogénea la distribución de casos por categorías, lo cual implica una tensión térmica continua, suavizada en presencia del viento.

6. Se ha demostrado la existencia generalizada de tendencias crecientes, altamente

significativas, en el número de días anuales en que se manifiesta la CCI en los últimos 30 años, tanto sin viento como con viento, en las estaciones meteorológicas de la ciudad (CUADROS VII y VIII). Este rasgo es más notable en Santiago de las Vegas. Se observan puntos de cambio significativos entre los años 1980 y 1994 (CUADRO VIII - figs. 8a y 8b).

7. En el período estudiado, la temporada en que se presentan días con CCI en Ciudad de La Habana se ha alargado, sobre todo a cuenta de un final más avanzado en el año. La significación de este hallazgo es mayor en Santiago de las Vegas (Cuadro IX - figs. 9a y

CUADRO V - Correspondencia entre CCI y los tipos de ETDL más cálidos. Casablanca. Año 1993.

Tipo de ETDL	Días con CCI_{sv}	Días sin CCI_{sv}	Total	% CCI_{sv} del tipo de ETDL	Días con CCI_{cv}	Días sin CCI_{cv}	Total	% CCI_{cv} del tipo de ETDL
I	22	50	72	31	5	67	72	7
II	0	0	0	0	0	0	0	0
III	0	9	9	0	0	9	9	0
IV	0	17	17	0	0	17	17	0
V	13	47	60	22	5	55	60	9
VI	9	70	79	11	3	76	79	4
VII	13	38	51	25	3	48	51	6
Subtotal	57	231	288	20	16	262	288	5
Otros	0	77	77	0	0	77	77	0
Total	57	308	365	16	16	349	365	4

CUADRO VI - Correspondencia entre las CCI y categorías de ICS. Casablanca. Año 1993.

Categoría de ICS	Días con CCI_{sv}	Días sin CCI_{sv}	Total	% CCI_{sv} de categ. de ICS	Días con CCI_{cv}	Días sin CCI_{cv}	Total	% CCI_{cv} de categ. de ICS
No existe	0	88	88	0	0	88	88	0
Débil	0	88	88	0	0	88	88	0
Moderado	27	121	148	18	6	142	148	4
Fuerte	30	11	41	73	10	31	41	24
Extremo	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	57	308	365	16	16	349	365	4

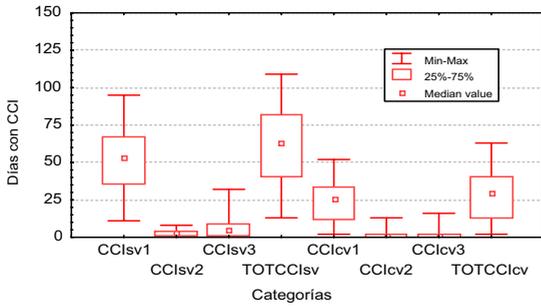


Fig. 3 - Estadígrafos representativos de CCI. Stgo. de las Vegas. 1975-2004.

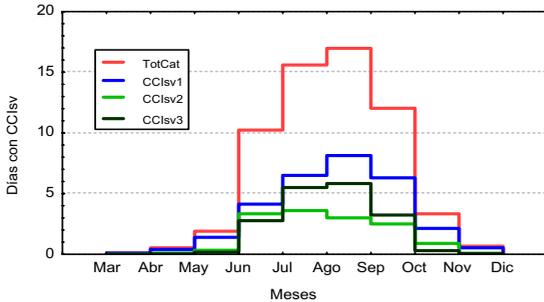


Fig. 4 - Marcha anual de la cantidad promedio de días con CClsv. Casablanca. 1975-2004.

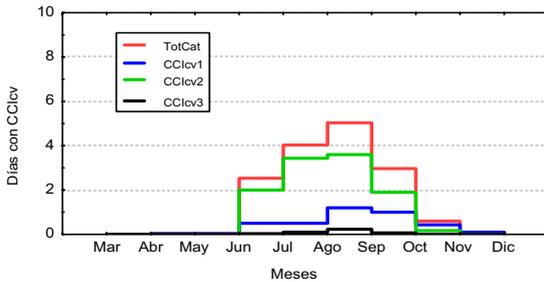


Fig. 5 - Marcha anual de la cantidad promedio de días con CClcv. Casablanca. 1975-2004.

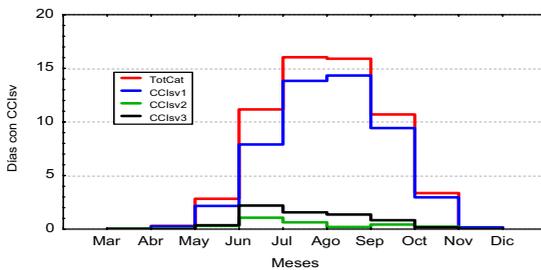


Fig. 6 - Marcha anual de la cantidad promedio de días con CClsv. Santiago de las Vegas. 1975-2004.

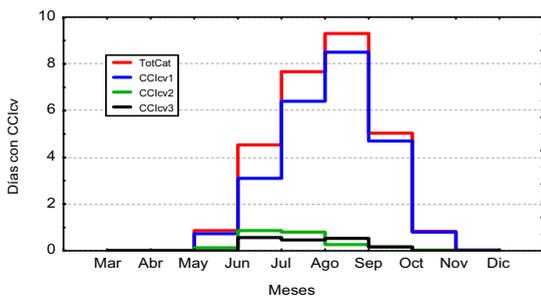


Fig. 7 - Marcha anual de la cantidad promedio de días con CClcv. Santiago de las Vegas. 1975-2004.

9b) que en Casablanca, según las tendencias de las series de las fechas de inicio, fin y de la duración anual de dicha temporada.

8. Bajo situaciones donde imperan CCI en la estación meteorológica de Casablanca, se pueden producir importantes variaciones en el núcleo más urbanizado de la ciudad. Al parecer, la distancia al mar, la influencia del viento, la compactación de las edificaciones, entre otros factores, son determinantes en la explicación de estas diferencias dentro de la capital.

› 11 de junio de 1993:

Influencia de altas presiones oceánicas sobre Cuba, con centro en la zona de las Islas Azores. Débil centro anticlónico en la porción nordeste del Golfo de México con buena estructura vertical, que domina el régimen de verano en nuestro territorio. Poca nubosidad sobre la ciudad. Se manifiesta la presencia general de CCI_{sv} de la máxima categoría en todos los puntos de observación seleccionados (fig. 10). La respuesta es diferente al tener en cuenta el efecto del viento: las CCI desaparecen completamente en Casablanca; disminuyen en una categoría en Habana Vieja, Plaza Roja y 19 y 41 (municipio de Playa), con influencia moderada del viento; pero se mantienen extremas en zonas compactas arquitectónicamente, como Infanta y Cádiz, en el Cerro, y 49 y 152, en Marianao. Ejemplo de fuerte diferenciación por presumible influencia de la superficie urbana en las manifestaciones particulares del indicador, a cuenta de las modificaciones en el régimen del viento.

› 4 de agosto de 1987:

Influencia sobre el país de altas presiones oceánicas centradas en el Océano Atlántico, cerca de las Azores, que se han debilitado en las últimas 24 horas. Tendencia a la aparición de nuevo anticiclón sobre el Golfo de México. Sistema constituido por una masa de aire húmeda e inestable, con flujo del SE al S sobre la mitad occidental de Cuba y el NW del Mar Caribe. En la fig. 11 se observa la presencia de CCI_{sv} de categorías 2 y 3 en todos los puntos de observación, que desaparecen en los inmediatos al litoral (Casablanca y Habana Vieja) al tomar en consideración el efecto refrescante del viento. En el resto, más retirados, las CCI_{cv} mantienen la misma categoría de inicio.

CUADRO VII - Estadígrafos representativos de la tendencia y puntos de cambio de las series del número de días anuales con CCI_{sv} , Casablanca.

CCI_{sv}	Pruebas estadísticas sobre tendencias y puntos de cambio en las series					
	Nivel de significación $\alpha_0 = 0.05$					
	Wald – Wolf.	Spearman	Mann - Kendall	Tend. (Sign.)	Pettitt	Signif.
Categ. 1	0.292133 $\alpha_1=0.3851$	2.587155 $\alpha_1=0.0097$	2.783201 $\alpha_1=0.0054$	↑ a.s	-122 $\alpha_1=0.0407$	1980 a.s
Categ. 2	1.588646 $\alpha_1=0.0561$	2.718340 $\alpha_1=0.0066$	2.783201 $\alpha_1=0.0054$	↑ a.s	-129.0 $\alpha_1=0.0279$	1994 a.s
Categ. 3	1.049542 $\alpha_1=0.1470$	2.990294 $\alpha_1=0.0028$	3.086498 $\alpha_1=0.0020$	↑ a.s	-141.0 $\alpha_1=0.0139$	1994 a.s
Todas las categorías	1.307518 $\alpha_1=0.0955$	3.263446 $\alpha_1=0.0011$	3.496842 $\alpha_1=0.0005$	↑ a.s	-148.0 $\alpha_1=0.0090$	1986 a.s

K - M

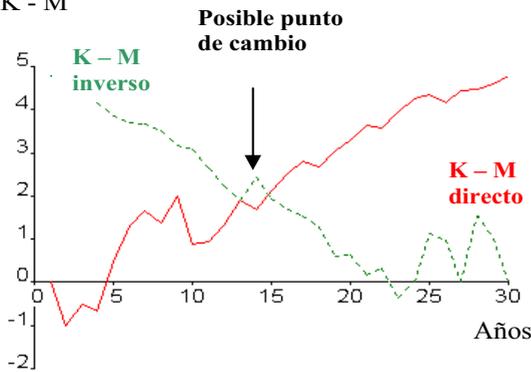


Fig. 8 A - Comportamiento del estadígrafo de Mann - Kendall (directo e inverso). Número de días con CCI_{sv} - Todas las categorías. Santiago de las Vegas. 1975 - 2004.

Estadíg. Pettitt

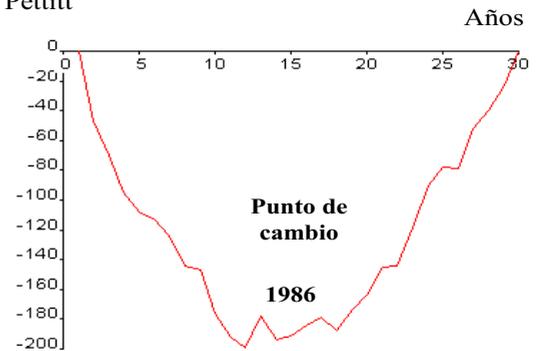


Fig. 8 B - Comportamiento del estadígrafo de Pettitt para la misma serie. Santiago de las Vegas. 1975-2004.

CUADRO VIII - Tabla de estadígrafos representativos de la tendencia y puntos de cambio de las series del número de días anuales con CCI_{sv} , Santiago de las Vegas.

CCI_{sv}	Pruebas estadísticas sobre tendencias y puntos de cambio en las series					
	Nivel de significación $\alpha = 0.05$					
	Wald – Wolf.	Spearman	Mann - Kendall	Tenden. (Sign.)	Pettitt	Signif.
Categ. 1	2.859810 $\alpha_1=0.0021$	4.359048 $\alpha_1=0.0000$	4.745714 $\alpha_1=0.0000$	↑ a.s	-198.0 $\alpha_1=0.0002$	1986 a.s
Categ. 2	1.098824 $\alpha_1=0.1359$	2.450579 $\alpha_1=0.0143$	2.265811 $\alpha_1=0.0235$	↑ a.s	-143.0 $\alpha_1=0.0123$	1994 a.s
Categ. 3	2.903291 $\alpha_1=0.0018$	3.906790 $\alpha_1=0.0001$	4.139119 $\alpha_1=0.0000$	↑ a.s	-198.0 $\alpha_1=0.0002$	1993 a.s
Todas las categorías	3.334310 $\alpha_1=0.0004$	4.616626 $\alpha_1=0.0000$	5.209581 $\alpha_1=0.0000$	↑ a.s	-204.0 $\alpha_1=0.0001$	1986 a.s

CUADRO IX - Estadígrafos representativos de la tendencia y puntos de cambio de las series de las fechas de inicio, fin y de la duración anual de la temporada de días con CCI_{sv} , Santiago de las Vegas. 1975 - 2004.

CCI_{sv}	Pruebas estadísticas sobre tendencias y puntos de cambio en las series					
	Nivel de significación $\alpha_0 = 0.05$					
	Wald – Wolf.	Spearman	Mann -Kendall	Tend. (Sign.)	Pettitt	Signif.
Inicio	0.844989	-2.965135	-3.175704	↓	153.0	1988
Categ. 1	$\alpha_1=0.1991$	$\alpha_1=0.0030$	$\alpha_1=0.0015$	a.s	$\alpha_1=0.0065$	a.s
Fin	1.772130	3.053191	3.032975	↑	-163.0	1992
Categ. 1	$\alpha_1=0.0382$	$\alpha_1=0.0023$	$\alpha_1=0.0024$	a.s	$\alpha_1=0.0033$	a.s
Duración	2.188045	3.532405	3.782299	↑	-178.0	1988
Categ. 1	$\alpha_1=0.0143$	$\alpha_1=0.0004$	$\alpha_1=0.0002$	a.s	$\alpha_1=0.0011$	a.s
Inicio	0.397309	1.399903	1.391600	↑	-76.0	n.s
Categ. 2	$\alpha_1=0.3456$	$\alpha_1=0.1615$	$\alpha_1=0.1640$	n.s	$\alpha_1=0.2888$	
Fin	0.224500	2.694978	2.640473	↑	-137.0	1994
Categ. 2	$\alpha_1=0.4112$	$\alpha_1=0.0070$	$\alpha_1=0.0083$	a.s	$\alpha_1=0.0177$	a.s
Duración	0.866763	2.921407	2.836724	↑	-151.0	1993
Categ. 2	$\alpha_1=0.1930$	$\alpha_1=0.0035$	$\alpha_1=0.0046$	a.s	$\alpha_1=0.0074$	a.s
Inicio	0.432000	1.462201	1.516488	↑	-88.0	n.s
Categ. 3	$\alpha_1=0.3329$	$\alpha_1=0.1437$	$\alpha_1=0.1294$	n.s	$\alpha_1=0.1891$	
Fin	3.060803	3.893612	3.710934	↑	-217.0	1991
Categ. 3	$\alpha_1=0.0011$	$\alpha_1=0.0001$	$\alpha_1=0.0002$	a.s	$\alpha_1=0.0000$	a.s
Duración	3.210787	4.128427	4.246165	↑	-216.0	1991
Categ. 3	$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_1=0.0000$	$\alpha_1=0.0000$	a.s	$\alpha_1=0.0000$	a.s
Inicio	0.889246	-2.580566	-2.693996	↓	124.0	1988
Tot Categ.	$\alpha_1=0.1869$	$\alpha_1=0.0099$	$\alpha_1=0.0071$	a.s	$\alpha_1=0.0366$	a.s
Fin	2.176651	3.231698	3.140021	↑	-178.0	1992
Tot Categ.	$\alpha_1=0.0148$	$\alpha_1=0.0012$	$\alpha_1=0.0017$	a.s	$\alpha_1=0.0011$	a.s
Duración	2.514464	3.559360	3.889345	↑	-177.0	1988
Tot Categ.	$\alpha_1=0.0060$	$\alpha_1=0.0004$	$\alpha_1=0.0004$	a.s	$\alpha_1=0.0012$	a.s

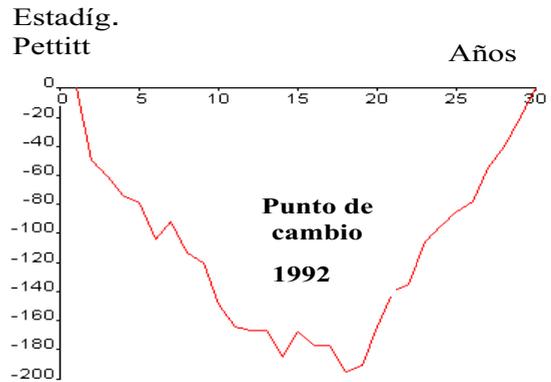
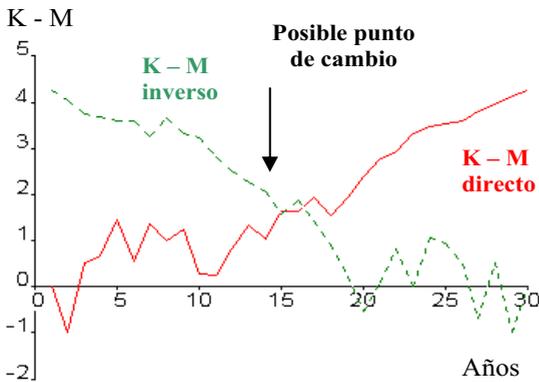


Fig. 9 A - Comportamiento del estadígrafo de Mann - Kendall (directo e inverso). Duración de la temporada de días con CCI_{sv} - todas las categorías. Santiago de las Vegas. 1975- 2004.

Fig. 9 B - Comportamiento del estadígrafo de Pettitt para la misma serie. Santiago de las Vegas. 1975-2004.

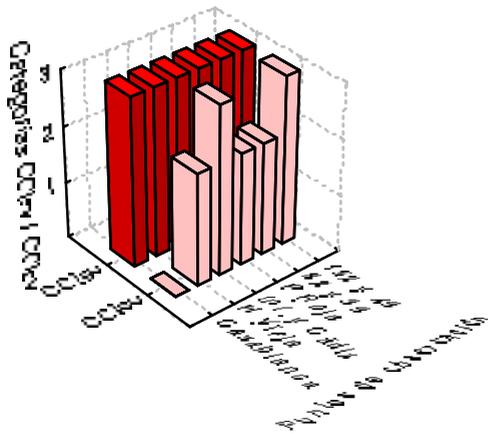


Fig. 10 - Distribución de CCLsv y CCLcv en la ciudad.
11 de junio de 1993.

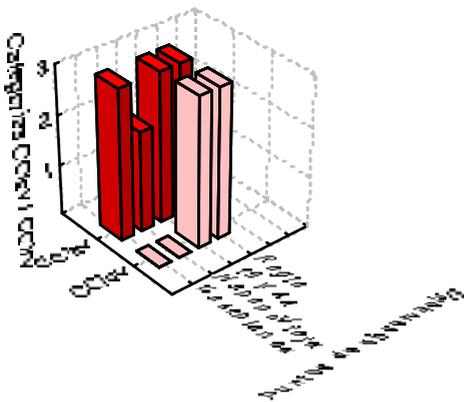


Fig. 11 - Distribución de CCLsv y CCLcv en la ciudad.
4 de agosto de 1987.

Conclusiones

1. Como indicador bioclimático, la *CCI* ilustra coherentemente tanto el comportamiento medio como la variabilidad de los extremos bioclimáticos por calor excesivo en Ciudad de La Habana.
2. Las *CCI* han variado y continúan variando, en correspondencia con las variaciones observadas en las condiciones climáticas de la capital, tendiendo a un incremento general de su presencia en el territorio estudiado.
3. El enfoque y la metodología empleados en este trabajo permiten la caracterización de los extremos bioclimáticos por calor en la provincia de Ciudad de La Habana, por lo que es potencialmente aplicable a otras unidades naturales o político-administrativas, bajo condiciones de clima tropical estacionalmente húmedo.

Referencias

- AGUILAR, E. et. al. (2005) - "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003". *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.
- 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". *Materiales de Investigaciones Meteorológicas*, 8: Moscú, p. 74-81.
- CENTRO NACIONAL del CLIMA (1998) - *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. 9/Nº 6, Junio de 1998, ISSN - 1029 - 2047.
- (1999a) - Vol. 10/Nº 7, Julio de 1999.
- (1999b) - Vol. 10/Nº 8, Agosto de 1999.
- (2004) - Vol. 16/Nº 6, Junio de 2004.
- GOGUISHVILI, K. S. (1969) - "Las zonas de calor sofocante en el planeta" (en ruso). En: *Fundamentos de la Geografía Física de Georgia*. Tbilisi, Edit. AC - RSFG, 257 p.
- GONZÁLEZ, I. (2005) - *Evaluación de índices climáticos extremos derivados de datos diarios*. Tesis presentada en opción al Título de Máster en Ciencias Meteorológicas. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas - InSTEC y Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Instituto de Meteorología.
- GUEVARA, A. V. (2006) - *Las condiciones de calor intenso como indicador de extremos bioclimáticos en Ciudad de La Habana*. Tesis presentada en opción al Título de Máster en Ciencias Meteorológicas. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas - InSTEC y Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Instituto de Meteorología.
- IPCC (2007) - *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- LECHA, L. y FLORIDO, A. (1989) - *Principales características climáticas del régimen térmico del archipiélago cubano*. La Habana, Editorial Academia. 1989. 56 p.
- LECHA, L. (1992) - "Caracterización compleja del clima de Cuba". *Rev. Cub. Met.*, Vol. 5, Nº 1, p. 94-105.
- LEÓN, A. (1988) - *Las sensaciones de calor en el occidente de Cuba*. Trabajo de Diploma. Facultad

- de Geografía. Universidad de la Habana. 28 p. (Inédito).
- LEÓN, A. *et al.* (2003) - "Estacionalidad y tendencias actuales de las sensaciones térmicas de los individuos en las provincias habaneras". *Cuba. X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Abril del 2003, La Habana.
- MELLADO, E. y BORRAJERO, I. (1997) - *Software Winstat* (Programa para el Cálculo de Índices de Tendencias en Series Temporales, Versión 2.0 - Beta). Instituto de Meteorología, La Habana. (Comunicación Personal).
- NIEVES, M. E.; PRILIPKO, G. I. y VIDAILLET, J. (1988) - *La temperatura efectiva, la temperatura efectiva equivalente y el calor sofocante en Ciudad de La Habana*. La Habana, Instituto de Meteorología.
- NIEVES, M. E. y PRILIPKO, G. (1988) - "Particularidades de la influencia urbana sobre el régimen térmico durante el día en condiciones de clima tropical". *Revista Arquitectura y Urbanismo*. Vol. IX, Nº 3, p. 8-12.
- NIEVES, M. E. y ORTIZ, P. (1994) - *Nuevos aspectos del clima urbano de la ciudad de La Habana*. Informe Final del Tema Nº 408509 "Caracterización del clima urbano de algunas de las principales ciudades de Cuba". Instituto de Meteorología, CITMA (inédito).
- O.M.M. (1999) - *El tiempo, el clima y la salud humana*. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, O.M.M. - Nº 892.
- O.M.M. (2001) - *Comisión de Climatología. Decimotercera Reunión. Informe Final Abreviado con Resoluciones y Recomendaciones*. Ginebra, OMM - Nº 938.
- SANTANA, M. (2004) - *Estudio de las sensaciones térmicas en la provincia Ciego de Ávila*. Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias Meteorológicas, Ciudad de la Habana, 71 p.
- SMOYER - TOMIC, K. E. y RAINHAM, D. G. C. (2001) - "Beating the Heat: Development and Evaluation of a Canadian Hot Weather Health. Response Plan". *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, Nº 12, Dec. 2001, p. 1241-1248.
- SNEYERS, R. (1975) - *Sur l'analyse statistique des series d'observations*. Note Technique No. 143. OMM - No. 15, p. 1-15.
- STATSOFT, Inc. (1995) - *STATISTICA for Windows* [Computer Program Manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK.
- STEADMAN, R.G. (1979) - "The assessment of sultriness. Part I: A temperature - humidity index based on human physiology and clothing". *Science Journal of Applied Meteorology*. Vol. 18, p. 861-873.
- VANNITSEM, S. y DEMARÉE, G. (1991) - "Détection et modélisation des sécheresses au Sahel". *Hidrologie Continentale*, Vol. 6, No. 2, p. 155-171.