

Cambios y tendencias observados en la temperatura del aire sobre Cuba y su entorno geográfico más cercano



<https://cu-id.com/2377/v31n3e15>

Changes and trends observed in the air temperature over Cuba and its closest geographical surroundings

②Cecilia Fonseca Rivera*, ②Ramón Pérez Suárez, ②Pedro Roura Pérez

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: ceciliafonseca91@gmail.com, ramon.perez@insmet.cu, pedro.roura@insmet.cu

RESUMEN: En el contexto del cambio climático es necesario mantener un monitoreo sistemático de las variaciones y cambios que se están produciendo en el clima. En el caso particular de la temperatura, el seguimiento y análisis de su comportamiento, constituye una tarea de alto valor, dados los perjudiciales procesos que en consecuencia tienen lugar. Su examen, debe ser considerado, en el contexto de las características de fondo más generales, que por su naturaleza se le relaciona a través de procesos existentes en las distintas escalas espaciales y temporales que inciden sobre el clima y que conducen a las variaciones y tendencias que vienen ocurriendo sobre el área y en especial a su impacto sobre el país. Es por ello que el análisis de las temperaturas que se presenta a continuación incluye, además de los datos de temperaturas medias de superficie en Cuba, los procedentes de zonas terrestres y oceánicas próximas en el Gran Caribe, así como los obtenidos en la estructura troposférica vertical en el área. Los principales resultados indican que la temperatura media del aire en superficie tanto en Cuba como sus alrededores continúan su incremento, siendo el último periodo de 5 años analizado el que muestra el mayor ascenso, por lo que es posible afirmar que el clima de Cuba se hace cada vez más cálido.

Palabras clave: cambios, clima, temperatura, tendencias, variaciones.

ABSTRACT: In the context of climate change, it is necessary to maintain systematic monitoring of the variations and changes that are occurring in the climate. In the particular case of temperature, the monitoring and analysis of its behavior, in the context of the significant tendencies of the same to a progressive increase of a global character, constitutes a task of high value, given the harmful processes that consequently take place. Its examination must be considered in the context of the more general background characteristics, which by their nature are related to it through existing processes in the different spatial and temporal scales that affect the climate and that lead to the variations and tendencies that have been occurring in the area and especially to its impact on the country. The temperature analysis presented below includes, in addition to the data on average surface temperatures in the country, those from nearby land and ocean areas in the Greater Caribbean, as well as those obtained from the vertical tropospheric structure over the area. The main results indicate that the average surface air temperature in Cuba and its surroundings continues to increase, with the last 5-year period showing the greatest increase, which is why our climate is becoming warmer.

Keywords: changes, climate, temperature, trends, variations.

INTRODUCCIÓN

En el último informe de evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2023) se afirma que las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han causado el calentamiento global inequívocamente. De hecho, la temperatura superficial global en 2011-2020 alcanzó 1,1 °C por encima de la

del período 1850-1900. Reportes posteriores indicaron que en los años 2021-2023, la temperatura superficial global ha sido la más alta de toda la historia desde la revolución industrial. No cabe duda que asociado a la actividad antrópica o no, en los últimos años las temperaturas se han incrementado significativamente, por lo que el estudio de su comportamiento constituye una tarea de alto valor, dados los perjudiciales procesos que en consecuencia tienen lugar.

*Autor para la correspondencia: Cecilia Fonseca Rivera, e-mail: cecilia.fonseca@insmet.cu

Recibido: 21/01/2025

Aceptado: 06/08/2025

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Declaración de contribución: Conceptualización, investigación, análisis de datos, Metodología, redacción, revisión y

edición final: DrC. Cecilia Fonseca Rivera. Investigación, análisis de datos, revisión - borrador inicial: DrC. Ramón

Pérez Suárez. Investigación, análisis estadístico de datos: Msc. Pedro Roura Pérez.

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/)

En Cuba, la mayoría de las investigaciones orientadas a mejorar la comprensión de las variaciones ocurridas en los patrones temporales de la temperatura, se han llevado a cabo durante los últimos cuarenta años. Los primeros resultados, obtenidos a inicios de la década de los años 1980, indicaron la ocurrencia de cambios importantes en la temperatura superficial de aire en el país. Estos resultados fueron posteriormente confirmados por Fonseca, (1989), Centella *et al.* (1995) y Centella *et al.* (1997), entre otros. En términos generales, todos los estudios demostraron que desde mediados del siglo XX, las temperaturas media y mínima en Cuba se incrementaron significativamente; mientras que el rango diurno de la temperatura manifestó un decremento. Posteriormente, Planos *et al.* (2013) confirmaron lo expresado por los autores precedentes.

Los resultados antes referidos, entre otros, indican la necesidad de prestar atención sistemática a la evolución de las variaciones y tendencias de la temperatura en Cuba, así como a sus posibles impactos en el futuro inmediato y a más largo plazo. Dicho monitoreo en el contexto del clima de Cuba es fundamental y su realización es el problema a tratar en esta investigación. Sin embargo, no deben verse de forma aislada, sino que deben ser examinadas considerando las características de fondo más generales sobre las cuales se sustentan. Estas características por su naturaleza, se relacionan a través de procesos existentes en las distintas escalas espaciales y temporales que inciden sobre el clima y que conducen a las variaciones y tendencias que vienen ocurriendo sobre el área y en especial a su impacto sobre el país. Es por ello que el objetivo de esta investigación es mostrar los rasgos principales de las variaciones y cambios apreciados en la temperatura media del aire en Cuba y su entorno geográfico más cercano en el período 1948-2022.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis de las temperaturas que se presentan en este trabajo incluyeron los datos de temperaturas medias del aire en superficie, desde 1951-2022 de diez estaciones de series largas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología. Para el cálculo de la temperatura regional, por su amplia posibilidad de empleo, calidad de las series de datos y oportunidad de comparación, se utilizaron los datos de las temperaturas medias en superficie y del aire superior¹, provenientes de los Reanálisis del NCEP-NCAR de la NOAA en el período 1948-2022. Las anomalías de la temperatura media regional se determinaron con respecto al período de referencia más reciente 1991-2020.

En el informe se indican claramente las excepciones al uso de otros períodos de referencia para el cálculo de anomalías cuando fue necesario. En los niveles bajos, medios y altos de la troposfera se seleccionaron los niveles 850, 500 y 250 hPa respectivamente. El dominio de trabajo comprende entre las latitudes 5 - 30 °N y longitudes 250 - 310 °E.

Control de calidad y homogenización de los datos

Para el análisis de las series de datos mensuales o anuales, el primer paso necesario consistió en estimar su calidad, su homogeneidad y su estabilidad. Es por ello que en este trabajo se utilizaron técnicas de control de calidad de las series de datos de las diez estaciones meteorológicas, el chequeo elemental, abstracto, relativo y el físico-estadístico. Se utilizaron técnicas estadísticas como la construcción de intervalos de confianza y los test de hipótesis de valores aberrantes. Como técnicas específicas de control de calidad espacial se emplearon los métodos de estaciones similares, de regiones pequeñas, matricial y la Regresión Múltiple. El primer paso en estas aplicaciones de control de calidad fue la representación gráfica de los datos, ya que es muy útil para detectar asimetrías, heterogeneidad y datos atípicos. La Prueba de valores atípicos evalúa si existen valores atípicos de una muestra utilizando la prueba de Grubbs o de Dixon, Dixon (1950, 1951 y 1953).

Para la confirmación de la hipótesis de homogeneidad de las series de temperatura se utilizaron las pruebas de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1970) y Helmert. La prueba de Mann-Kendall es un test estadístico que conduce a elegir alguna de las siguientes respuestas: Hipótesis nula: todos los valores de la serie son datos aleatorios de una sola población, es una serie homogénea, es decir que todos los datos de temperatura máxima corresponden a mediciones de un mismo sitio con los mismos equipos y bajo las mismas condiciones. Hipótesis alternativa: todos los valores de la serie son datos aleatorios de una sola población, es una serie no homogénea con tendencia monótona, es decir que existen valores que están fuera de lo normal por alguna razón que hacen que la serie completa sea no homogénea.

La prueba de Helmert, consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie con respecto a su valor medio. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo se crea una secuencia S, y si una desviación es seguida por otra de signo contrario se registrará un cambio C. Cada año, excepto el primero, recibirán una secuencia S o C. Si la serie es homogénea,

¹ Parte superior de la atmósfera.

la diferencia entre el número de secuencias y cambios en el registro deberá ser 0, dentro de los límites de un error probable, el cual depende de la longitud del registro n .

Para la estimación de la tendencia y su significación estadística, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945, Kendall, 1970), mientras que la magnitud de la misma (de los datos de temperatura en el entorno geográfico cercano a Cuba) se estimó con el estimador de la pendiente de Sen (PS), que es una prueba no paramétrica basada en el estadígrafo Tau de Kendall (Sen, 1968, 2014 y 2017). Para identificar las tendencias significativas se utilizó el nivel de significación $\alpha = 0.05$. La detección de puntos de cambio se realizó con el empleo de la Dócima de Pettitt. En este caso la hipótesis nula plantea que la serie sigue una o más distribuciones que tienen el mismo parámetro o sea que no existe cambio, contra la hipótesis alternativa que plantea la existencia de un punto de cambio.

El procesamiento de la información y los análisis estadísticos se realizaron empleando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2017) y el software estadístico Minitab 17. Con este software se obtuvieron estadísticos descriptivos, histograma (con curva normal), Prueba de valores atípicos, gráficas de residuos, gráfica de promedio móvil y gráfica de análisis de tendencia. Se obtuvieron, además, las ecuaciones de tendencia que caracterizaron a cada variable meteorológica, los gráficos de descomposición de series de tiempo, descomposición por componentes y descomposición estacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencias de la temperatura media del aire en superficie (°C) en la región cercana a Cuba en el período 1948-2022

Durante el extenso período de 1948 al 2022, las tendencias de la temperatura media del aire en superficie en la región más cercana a Cuba dentro del Gran Caribe, mostraron un progresivo y significativo incremento, el cual se expresa tanto en sus valores anuales como estacionales (Figura 1). La temperatura media anual se ha incrementado significativamente desde el inicio de la serie en 0.88 °C con una tasa de incremento a un ritmo que asciende a 0.12 °C c/10 años. El incremento se asocia fundamentalmente al mayor calentamiento en el último decenio que cierra en el 2022, (2013-2022).

El último período de 10 años, fue más cálido que las décadas anteriores y el aumento, respecto al decenio anterior 2003-2012, alcanzó + 0.64 °C, + 1.06 °C y + 0.28 °C en su valor anual y los períodos estacionales noviembre-abril y mayo-octubre, respectivamente. La mayor diferencia se produjo en el período poco lluvioso del año, confirmando la contribución de este período al incremento en los valores anuales. Como muestra de ese incremento en el decenio 2013-2022 el aumento, respecto al decenio anterior 2003-2012, alcanzó cifras por encima de +1.0°C, en los meses del período poco lluvioso fundamentalmente en enero, febrero, abril, noviembre y diciembre y con respecto al período de referencia 1991-2020, las cifras están por encima de + 0.5 °C (Figura 2).

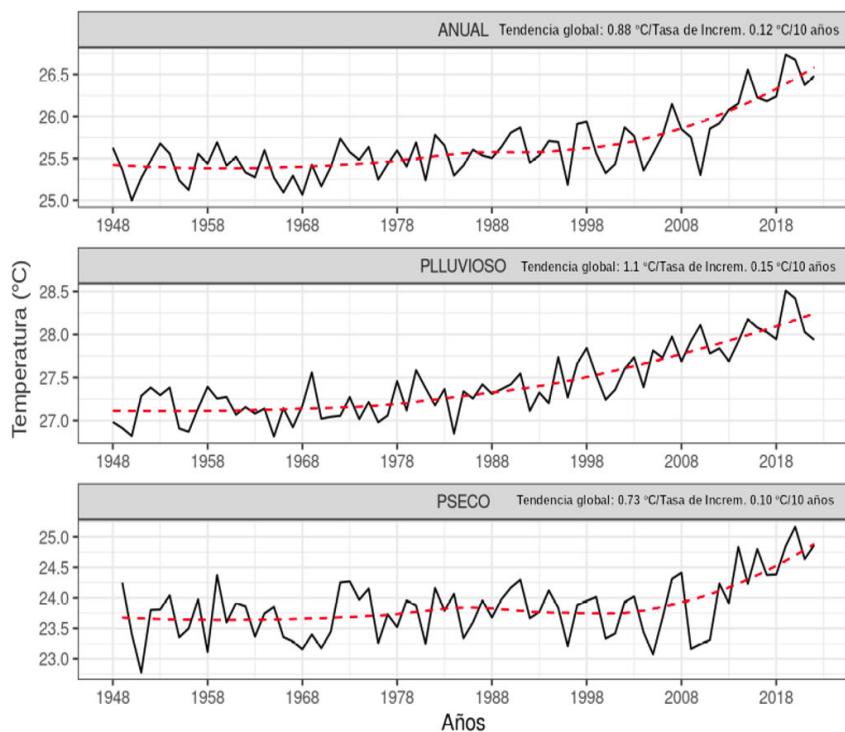


Figura 1. Variación multianual de la temperatura media en superficie. La línea roja representa la curva de LOESS o regresión polinómica ponderada

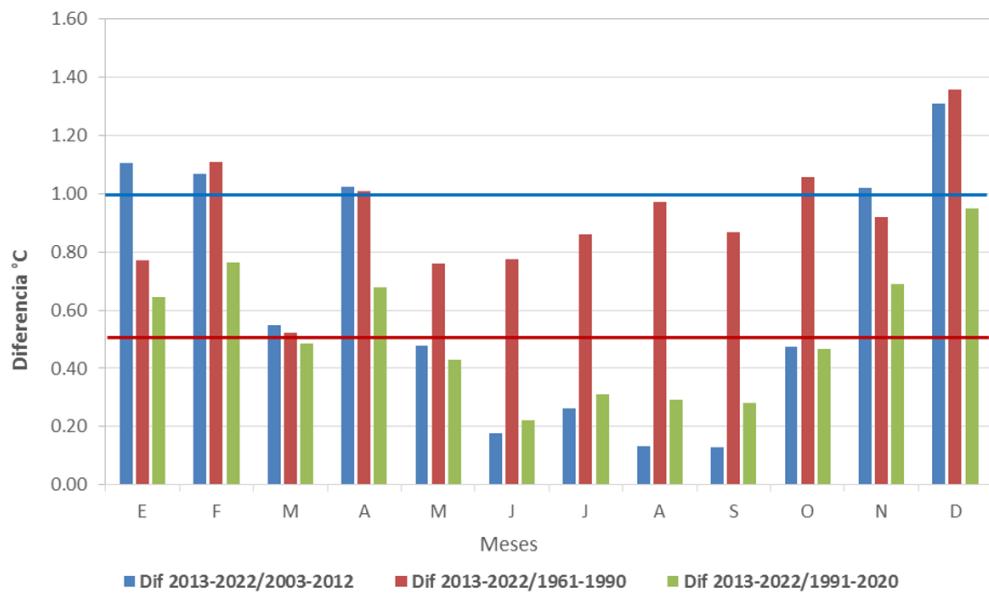


Figura 2. Diferencia entre la temperatura media de los últimos 10 años (2013-2022) respecto al decenio anterior (barra azul) y a los períodos de referencia 1961-1990 (barra roja) y 1991-2020 (barra verde).

Asimismo, el aumento del último decenio, respecto al período de referencia más reciente, 1991-2020, alcanzó + 0.52 °C para los valores anuales, + 0.78 °C para los del período seco y + 0.33 °C para el lluvioso. Estas diferencias se aprecian claramente en los mapas de las anomalías² de la temperatura en la región (Figura 3), en la que se pueden advertir dichas variaciones en los dos últimos períodos de 10 años. Es evidente el predominio de las anomalías positivas en toda la región las cuales desde el punto de vista estadístico son significativas para un 95 % de confianza. Sin embargo, respecto al período 1961-1990, las cifras se incrementan sustancialmente en 0.92 °C, 1.02 °C, y 0.88 °C, con la particularidad que el incremento es significativo en todos los meses del año, por encima de medio grado (Figura 2). Así mismo, si se compara con el decenio 1951-1960, el incremento es muy similar (0.93°C, 1.11°C, 0.86°C).

En general, las desproporciones en el último decenio, se aprecian clara y muy notoriamente al analizar la distribución de la temperatura media por intervalos percentílicos. De los 120 meses comprendidos entre enero del 2013 a diciembre del 2022, el 67 % de los meses rebasaron el 70 percentil, mientras que solamente un 3 % permanecieron por debajo del 30 percentil. Se destacan los últimos 5 años, en el que el 75 % de los meses permanecen por encima del 70 percentil, el 25 % entre el 25-70 percentil y no se presentaron meses por debajo del 30 percentil, valores que sin dudas resultan elevados y ponen de manifiesto el aporte al comportamiento de las temperaturas, las características del último quinquenio 2018-2022.

La comprobada y progresiva elevación de la temperatura media (°C) del aire en superficie en los alrededores de Cuba, se visualizó también como un rasgo predominante en las gráficas etiquetadas de valores medios anuales, estacionales y mensuales, por treintenios normales. Cada uno de los períodos de 30 años que componen la serie 1948-2022, ha sido ligeramente más cálido que el que lo antecede (Figura 4). En el último treintenio el incremento es de 0.43 °C para los valores anuales y de 0.30 °C y 0.57 °C para los períodos poco lluvioso y lluvioso, respectivamente, con respecto al período 51-80. Este comportamiento, no es más que un reflejo de la tendencia estadísticamente significativa en los valores hiperanuales de la temperatura media, en los que se ha producido un incremento notable desde inicios de la década del 90.

Variaciones y tendencias en la temperatura superficial del aire en las estaciones de serie larga

Coherenteamente con el incremento sostenido de la temperatura del aire en los alrededores de Cuba, referidos en el acápite anterior, el análisis del comportamiento de la temperatura media del aire, a partir de las series compiladas de las diez estaciones de series largas, actualizadas hasta el año 2022, confirma que el clima de Cuba se hace más cálido. De tal forma, es posible expresar que desde mediados del pasado siglo la temperatura media anual en Cuba se incrementó cerca de 1.1°C (Figura 5). Este cálculo está basado en la tendencia lineal de dicha serie, significativa estadísticamente.

2 Diferencia entre el valor actual y el promedio de muchos años (30 años preferiblemente) dividido por la desviación estándar. Procedimiento que permite visualizar el grado o medida de la diferencia d el período analizado y su norma.

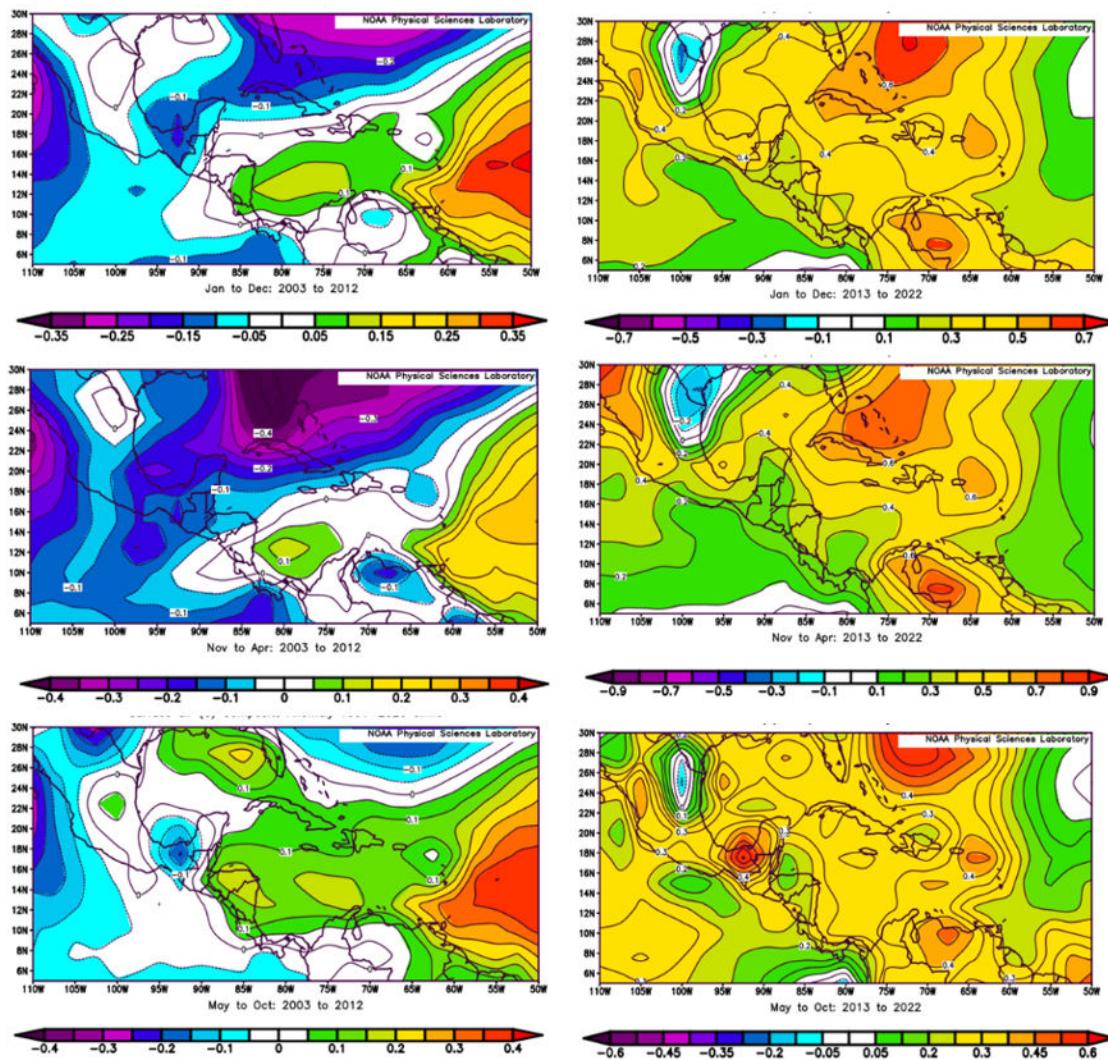


Figura 3. Anomalías de la temperatura media en superficie en los dos últimos decenios, respecto al periodo de referencia 1991-2020, para los valores anuales (arriba), del periodo seco (medio) y lluvioso (abajo)

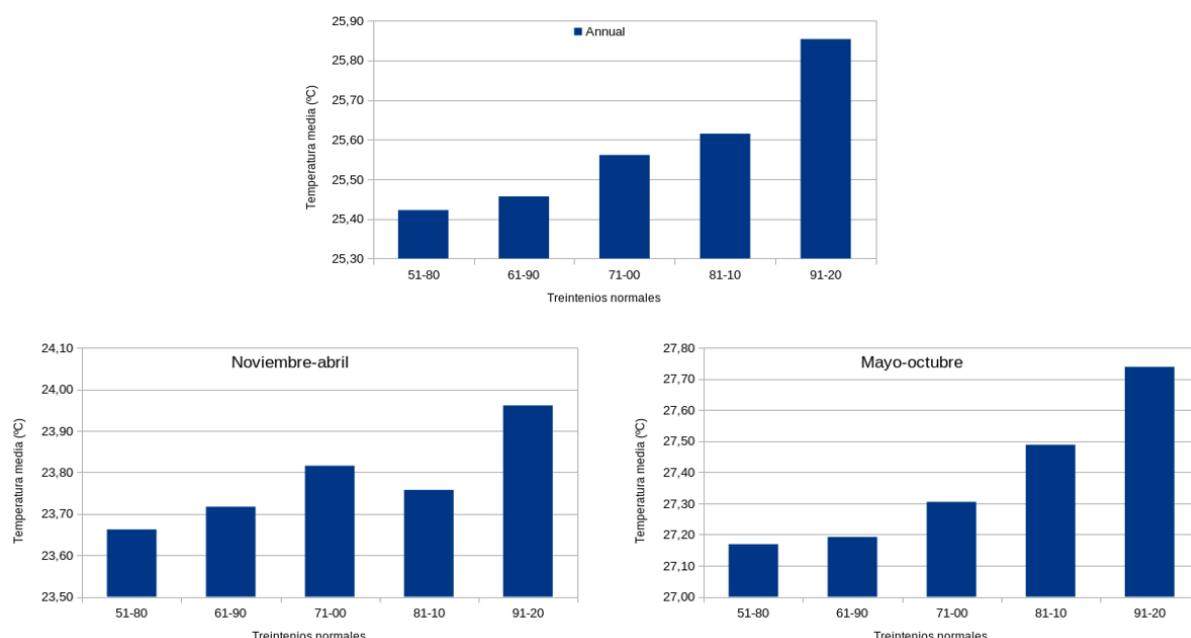


Figura 4. Valores medios anuales, estacionales y mensuales, por treintenios normales 1951-1980, 1961-1970, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020

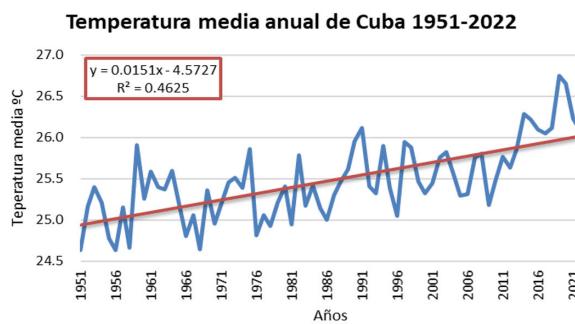


Figura 5. Valores de la temperatura media anual en Cuba y su tendencia

La diferencia entre el valor medio de la década 1951-1960 y el correspondiente a los últimos 10 años (2013 - 2022) asciende también a 1.1 °C, valor que solo supera en 0.2 décimas de grados a la diferencia en el área. Cada una de las tres últimas décadas ha sido más cálida que todas las anteriores. A su vez, la diferencia entre el treintenio 1951 - 1980 y los últimos treinta años 1993 - 2022 asciende a 0.74°C, cifra que igualmente es superior en solo 0.3 °C al contexto regional. El incremento de la temperatura es más marcado durante el trimestre diciembre-febrero (1.7 °C) que en el trimestre junio-agosto (0.4 °C).

Se pudo también confirmar que la existencia de una tendencia hacia un clima más cálido está fuertemente condicionada por el incremento de los valores de la temperatura mínima, el que asciende a 2.0 °C, significativo estadísticamente, al tener en cuenta la tendencia lineal de dicha serie (Figura 6). La diferencia entre el valor medio de la década 1951-1960 y el correspondiente a los últimos 10 años (2013 - 2022) asciende a 1.6 °C. El aporte del trimestre diciembre-febrero es muy alto con un incremento de 2.6°C. Importante es también el incremento del periodo junio-agosto con un valor de 1.8°C, ambos estadísticamente significativos.

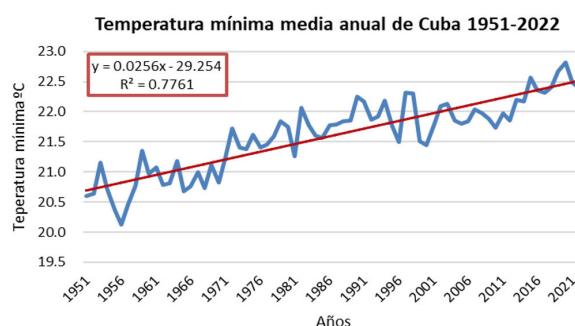


Figura 6. Valores de la temperatura mínima media anual en Cuba y su tendencia

No se ha apreciado tendencia estadísticamente significativa de la temperatura máxima media anual entre 1951 - 2022, con un incremento de solo 0.3 °C (Figura 7). Sin embargo, se registra un incremento durante el período 2013 - 2022 de consideración.

Existen dudas sobre los altos valores de la temperatura máxima registrados en la primera década de la serie utilizada, principalmente en el año 1959, lo cual requiere de un análisis posterior.

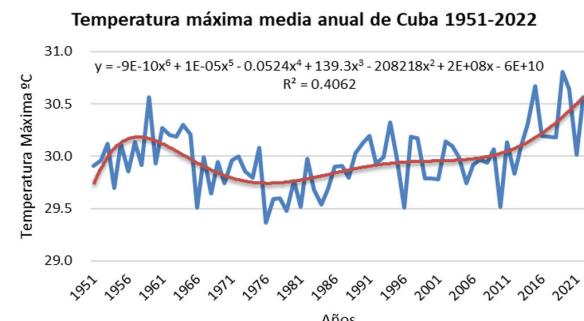


Figura 7. Valores de la temperatura máxima media anual en Cuba y su tendencia

Como consecuencia del alto incremento de la temperatura en el trimestre diciembre - febrero, el más frío del año, las condiciones invernales se han hecho menos frías. Por otra parte, las condiciones del trimestre junio - agosto, el más cálido del año, se han hecho más calurosas. Es de notar que en el primer caso las tendencias actuales alejan a dicho trimestre de los extremos fríos, mientras que en el segundo caso lo acercan gradualmente a extremos más cálidos.

Se observó una disminución de la oscilación térmica media diaria de aproximadamente 2.0 °C, estadísticamente significativa (figura 8). No obstante, se ha producido una estabilización del comportamiento de esta variable al no presentar tendencia significativa entre los años 1978 y 2022, con solo un decrecimiento de 0.2°C. Esta estabilización está ocasionada por el incremento observado de la temperatura máxima desde 1976 hasta el presente.

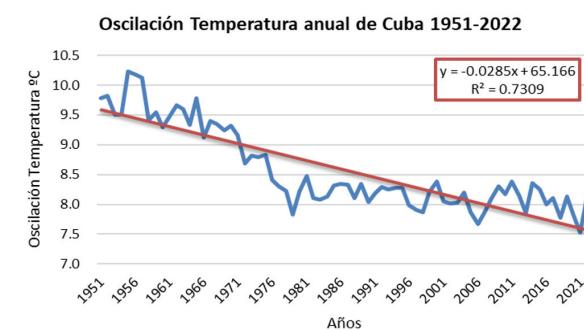


Figura 8. Valores medios anuales de la oscilación diaria de la temperatura en Cuba y su tendencia

Temperatura media anual de la estación Casablanca

La estación meteorológica de Casablanca posee la serie de temperatura de mayor extensión disponible del país. Fue inaugurada en 1908 y posee un valor inestimable. El análisis de esta serie permitió expresar que, desde el inicio del pasado siglo XX,

hasta el presente (1909 - 2022), la temperatura media anual de Casablanca ha aumentado cerca de 1.2°C (Figura 9), de forma estadísticamente significativa. La diferencia entre el treintenio 1993 - 2022 y el 1911 - 1940 asciende a 0.8°C . Es de destacar la existencia de un período de relativa estabilidad entre 1920 y 1965, que da paso a una nueva etapa de calentamiento que perdura hasta la actualidad, pero con una tasa de crecimiento superior entre el 2013 y el 2022.

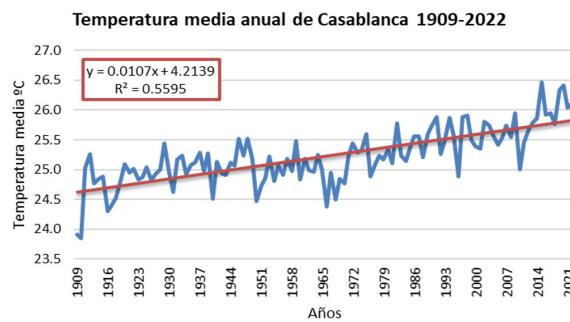


Figura 9. Valores de la temperatura media anual de la estación de Casablanca y su tendencia

Temperatura media anual de la estación Cabo de San Antonio

La estación meteorológica de Cabo de San Antonio posee una de las series de temperatura de mayor extensión disponible del país. Fue inaugurada en 1949 y posee también un valor inestimable debido a su posición geográfica, en el extremo occidental de Cuba. El análisis de esta serie permite expresar que desde el año 1951 hasta el 2022, la temperatura media anual de esta estación ha aumentado cerca de 0.9°C (Figura 10). La diferencia entre el treintenio 1993 - 2022 y el 1951 - 1980 asciende a 0.6°C . La temperatura media de los últimos 10 años es superior a todas las décadas que le han precedido.

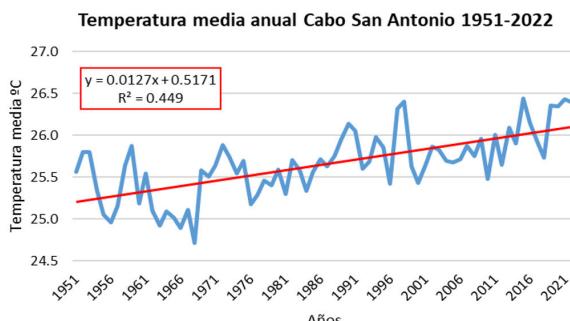


Figura 10. Valores de la temperatura media anual en la estación de Cabo de San Antonio y su tendencia

En esta serie se puede observar la existencia de variaciones multianuales sobre la tendencia a largo plazo. Es de destacar la existencia de un período de descenso de la temperatura entre 1953 y 1968, que da paso a una etapa de gradual calentamiento, que se incrementa a partir del año 2010.

Temperatura media anual de la estación Yabú

La estación meteorológica Yabú es otra de las estaciones meteorológicas que posee una de las series de temperatura de mayor extensión disponible del país. Tiene también un valor inestimable debido a su posición geográfica, en el centro del país. El análisis de esta serie permitió expresar que desde el año 1951 hasta el 2022, la temperatura media anual de esta estación ha aumentado cerca de 1.4°C (Figura 11). La diferencia entre el treintenio 1993 - 2022 y el 1951 - 1980 asciende a 1.0°C . La temperatura media de los últimos 10 años es superior a todas las décadas que le han precedido. El incremento de la temperatura ha sido gradual, con una cierta estabilidad a partir de 1991 hasta el año 2013, a partir del cual los valores han crecido de forma notable.

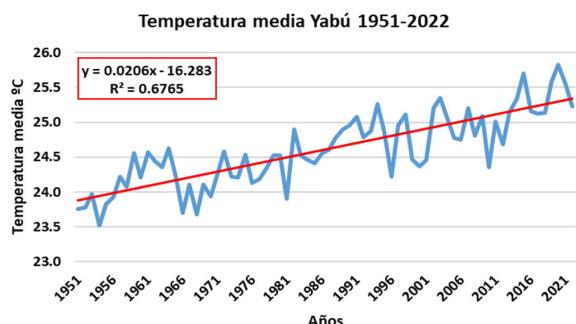


Figura 11. Valores de la temperatura media anual en la estación Camagüey

Temperatura media anual en la estación de Camagüey

La estación meteorológica de Camagüey fue inaugurada en 1949 y posee también un valor inestimable debido a su posición geográfica, la región central de Cuba. El análisis de esta serie permitió expresar que desde el año 1951 hasta el 2022, la temperatura media anual de esta estación aumentó cerca de 1.0°C , estadísticamente significativo (Figura 12). La diferencia entre el treintenio 1993 - 2022 y el 1951 - 1980 asciende a 0.7°C . La temperatura media de los últimos 10 años es superior a todas las décadas que le han precedido. En esta estación la temperatura media anual se incrementó gradualmente hasta el año 2002, cuando se inició un descenso hasta el 2010. A partir de ese año la temperatura se ha elevado hasta alcanzar los valores más altos de la serie, en los años 2019, 2020, 2021 y 2022.

Temperatura media anual en la estación de Punta de Maisí

La estación meteorológica de Punta de Maisí fue inaugurada en 1949 y posee también un valor inestimable debido a su posición geográfica,

en el extremo oriental de Cuba. El análisis de esta serie permitió expresar que desde el año 1951 hasta el 2022, la temperatura media anual de esta estación ha aumentado cerca de 1.1°C , estadísticamente significativo (Figura 13). La diferencia entre el treintenio 1993 - 2022 y el 1951 - 1980 asciende a 0.8°C . La temperatura media de los últimos 10 años es superior a todas las décadas que le han precedido. En esta estación la temperatura media anual se incrementó gradualmente hasta el año 1985, cuando se estabilizó con poco cambio hasta el año 2013, a partir del cual se produjo un aumento de los valores medios anuales.

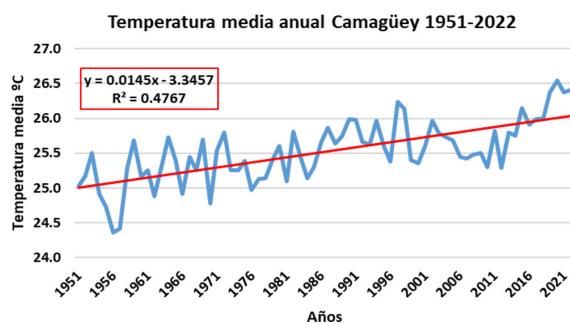


Figura 12. Valores de la temperatura media anual en la estación Camagüey

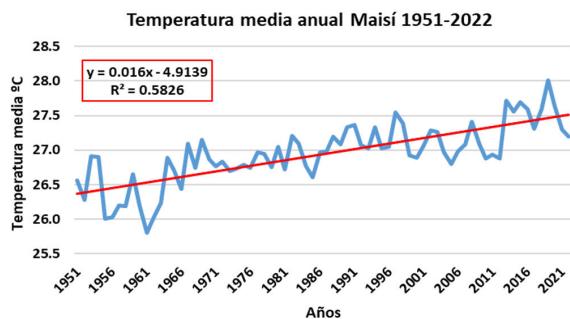


Figura 13. Valores de la temperatura media anual en la estación de Punta de Maisí

Variaciones de la temperatura media del aire en la troposfera baja, media y alta en el período 1948-2022 en los alrededores de Cuba

De manera consistente con el proceso de calentamiento en superficie, la temperatura media anual en la troposfera experimentó también una progresiva y significativa tendencia al incremento en la región (Figura 14) coherente con el referido en el último informe de evaluación del IPCC, 2023. El incremento supera los 0.7°C . Esta tendencia ha estado condicionada por el progresivo incremento también en ambos períodos estacionales en toda la troposfera, en la que el valor de la tendencia por lo general supera 1.0°C . Sin embargo, la temperatura media anual en la troposfera baja, en el período 1948-2022, se ha incrementado significativamente en 1.31°C , cifra que

es superior al incremento observado en superficie de 0.88°C . La tasa de incremento en la troposfera baja ha sido a un ritmo mayor, que asciende a 0.17°C c/10 años, mientras en superficie es de 0.12°C para igual período de tiempo.

El calentamiento en la región también es posible observarlo a través de los mapas que reflejan las desviaciones de la temperatura en el último decenio respecto al período de referencia más reciente, en los diferentes niveles troposféricos seleccionados de la troposfera baja, media y alta (Figura 15). Aunque en ambos períodos estacionales predominan las anomalías positivas, reflejando claramente las tendencias referidas, las mayores desviaciones se producen en el período poco lluvioso del año. En correspondencia, las diferencias entre un período estacional y otro son ligeramente superiores en el período seco. De esta manera, se confirma una vez más el incremento de la temperatura en Cuba y sus alrededores tanto en superficie como en la troposfera y el aporte del último decenio al calentamiento general en el área.

Consideraciones generales

Después del relativo enfriamiento en los años previos a la década de los 70, se produjo un brusco e intenso incremento que condujo a que se alcanzaran valores medios anuales muy altos a partir de 1990. No obstante, desde entonces se han producido variaciones interanuales de interés asociadas a diferentes factores. La relativa disminución de la temperatura media superficial del aire en los años 1992 y 1993 pudo estar asociada con los efectos de la erupción del volcán Pinatubo ocurrida a mediados de 1991. De hecho, esta señal, observada a escala global, se vinculó con los efectos de ese fenómeno (Nicholls et al., 1995). Las bajas temperaturas registradas en diciembre del año 2010 se asociaron a anomalías de la circulación atmosférica en el hemisferio norte. Los altos valores alcanzados en los años 1997, 1998 y 2015 se vincularon al desarrollo de muy intensos eventos ENOS (1997-1998 y 2015-2016).

Kawamura et al. (1995) indicaron que los cambios decadales en la temperatura superficial sobre las zonas terrestres del Hemisferio Norte, tal como han sido observados en las décadas recientes, son causados por el forzamiento de los océanos tropicales. Importantes variaciones multianuales se han producido en la temperatura del mar de los océanos Pacífico y Atlántico desde 1971 hasta el presente, caracterizados de forma general por un ligero calentamiento de las aguas ecuatoriales del Pacífico y un enfriamiento de las aguas tropicales del Atlántico entre 1971 y 1994, aproximadamente, con un proceso inverso entre 1995 y 2022, dentro del cual se destacan las altas temperaturas anuales alcanzadas por el Mar Caribe y en la región tropical del océano Atlántico desde 1998.

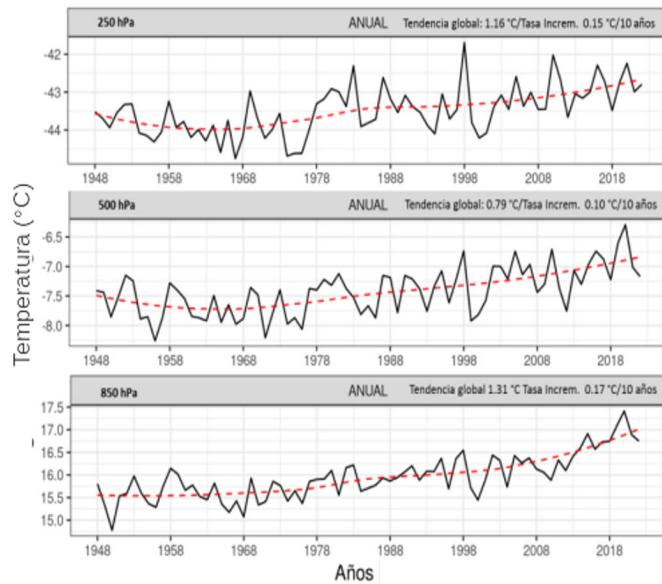


Figura 14. Variación multianual de la temperatura media anual en niveles representativos de la troposfera baja, media y alta. La línea roja representa la curva de LOESS o regresión polinómica ponderada

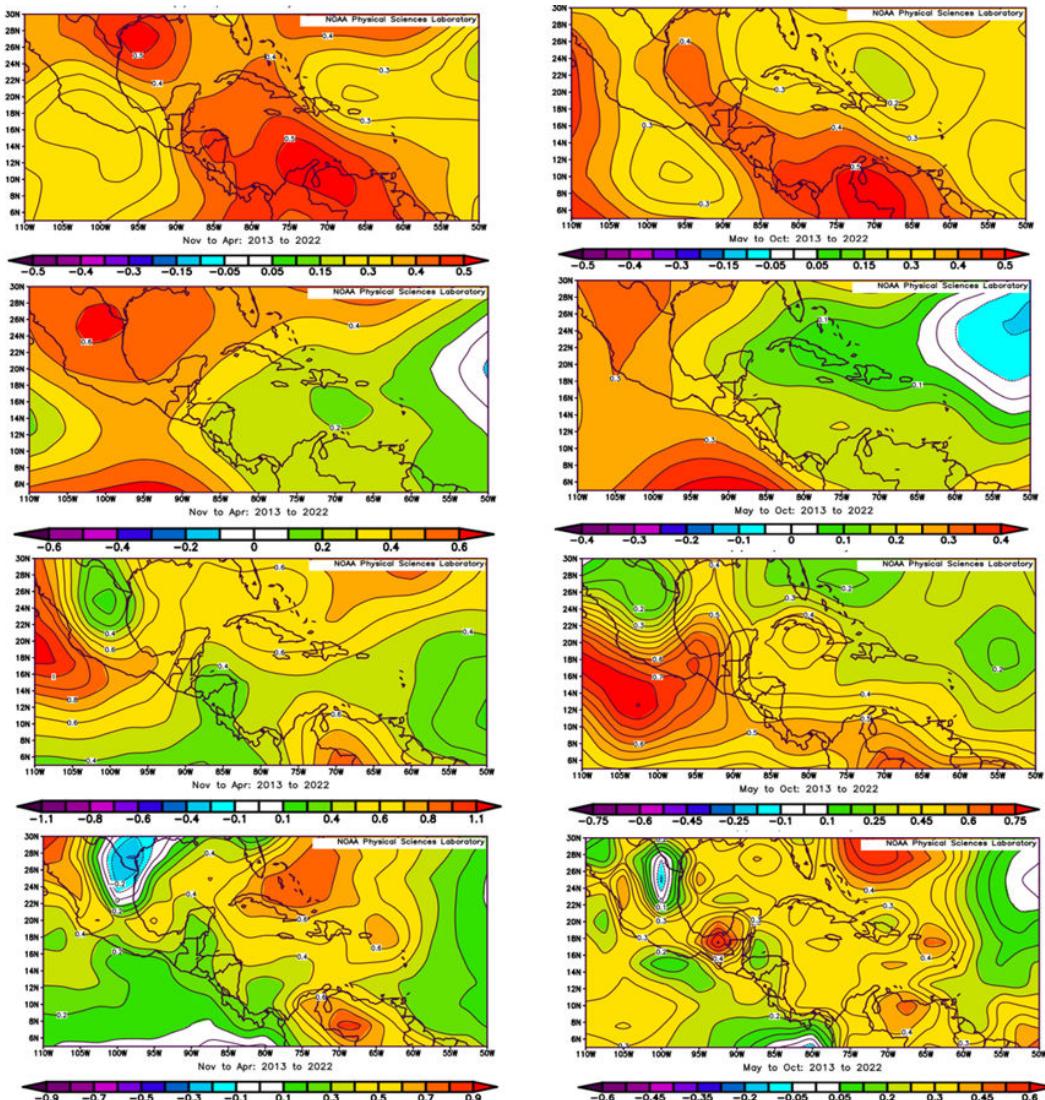


Figura 15. Anomalías de la temperatura media estacional en superficie (a), 850 hPa (b), 500 hPa (c), 250 hPa (d) respecto al periodo de referencia 1991-2020

CONCLUSIONES

Las tendencias de la Tm (°C) del aire en superficie en los alrededores de Cuba durante el periodo 1948-2022, mostraron un progresivo y significativo incremento, tanto en sus valores estacionales como en el anual.

Las evidencias observacionales muestran que desde mediados del siglo XX la temperatura superficial del aire en Cuba se ha incrementado en 1.1°C. Tal incremento está ante todo condicionado por el ascenso de la temperatura mínima (2.0°C). En la estación de Casablanca, con registros disponibles desde 1909 de la temperatura media anual, el incremento es de 1.2°C.

La significativa característica del decenio 2013-2022 fue superada claramente en el último periodo 2018-2022, cuando sus temperaturas comparadas con el periodo de referencia 1991-2020, revelaron que las diferencias alcanzaron + 0.65 °C en sus valores anuales, + 0.80 °C en noviembre-abril y + 0.49 °C en mayo-octubre.

La tendencia se acentúa al confrontar el quinquenio 2018-2022 con el periodo normal de referencia operacional 1991-2020, cuando sus diferencias no solo rebasan los + 0.50 °C, sino que también se presentan meses con valores por encima de + 0.60°C, y + 1.0 °C.

La existencia de variaciones multianuales soporta la idea de que las series temporales de temperatura superficial del aire en Cuba están muy lejos de seguir un patrón totalmente estable y que más bien reflejan una sucesión de estados con relativa estabilidad. Este aspecto debe ser profundamente considerado, fundamentalmente, en aquellas aplicaciones en que los aspectos de la variabilidad climática sean fundamentales.

En general, las variaciones observadas en la temperatura de Cuba, son consistentes con el incremento de la temperatura media superficial global que ha sido reportado en las últimas evaluaciones del IPCC (2021, 2023). La serie de la temperatura media anual de Casablanca indica que el calentamiento observado en las estaciones de serie larga se inició desde antes y se ha mantenido durante los últimos cien años, sólo interrumpido por variaciones de carácter multianual, durante períodos limitados.

Los cambios que se están produciendo como consecuencia de la acción del hombre y la necesidad de aumentar la capacidad de respuesta ante la ocurrencia de anomalías y eventos extremos del clima, son las dos razones de mayor fuerza para justificar la importancia del fortalecimiento del servicio meteorológico y de las investigaciones relacionadas con la meteorología y la climatología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centella A., L. Naranjo y P. Cárdenas (1995). Variations of the air surface temperatures in Cuba during the period 1951-90. Reporte Científico, Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
- Centella A., L. Naranjo, L. Paz, P. Cárdenas, A. Alfonso, M. Ballester, B. Lapinel, C. González, R. Pérez, M. Limia y M. Sosa (1997). Variaciones y cambios del clima en Cuba. Informe del Centro Nacional del Clima. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 55 pp.
- Dixon W.J. (1950). Analysis of extreme values. *Annals of Math. Stat.*, 21, 488-506.
- Dixon W.J. (1951). Ratios involving of extreme values. *Annals of Math. Stat.*, 22, 68-78.
- Dixon W.J. (1953). Processing data for outliers. *J. Biometrics*, 9, 74-89.
- Fonseca, C. (1989). Análisis de la tendencia de la temperatura media del aire. Tesis de Diploma. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- IPCC, (2021). Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- IPCC, (2023). AR6 Synthesis Report, Climate Change 2023, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kawamura, R., Sugi, M., & Sato, N. (1995). Interdecadal and interannual variability in the Northern Extratropical Circulation simulated with the JMA Global Model. Part II: Summertime Leading Mode. *Jour. of Climate*.
- Kendall, M.G. (1970). Rank Correlation Methods, fourth ed. Griffin, London
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259
- Nicholls N., G. V. Gruza, J. Jouzel, T. R. Karl, L. A. Ogall and D. E. Parker (1995). Observed climate variability and change. In Climate Change 1995. The Science of Climate Change. edit by J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, Cambridge University Press, Cambridge.
- Planos, E; Vega, R y A. Guevara, Editores, (2013). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología. La Habana, Cuba, 430 pp.
- R Core Team (2017). R A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Sen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *J Hydrol Eng* 19(3):635-642
- Sen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theor Appl Climatol* 127(3):939-947.