

Análisis de indicadores de extremos térmicos y su relación con algunos factores y elementos del clima en la región central de Cuba

Meyrelin Bocalandro¹, Idelmis González¹, Dunia Hernández¹

¹Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.

Autor para correspondencia: Meyrelin Bocalandro, meyrelin.bocalandro@insmet.cu

(Recibido: 15-02-2021. Publicado: 05-04-2021.)

Resumen

En Cuba estudios del comportamiento de los indicadores de extremos térmicos han revelado tendencias crecientes de eventos extremos cálidos y decrecientes a los fríos en la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas. Esta investigación se plantea como objetivo analizar los cambios en la tendencia de dichos indicadores y su relación con algunos factores y elementos del clima en la región central de Cuba durante el período 1980-2017. Para el cálculo de los indicadores se utilizó el programa RClimdex extra-QC. Los resultados muestran un aumento generalizado en las magnitudes por década de los días y noches cálidas y las noches tropicales; mientras los días y noches frías y el rango diurno de temperatura presentaron una disminución, con tendencias estadísticamente significativas en algunas estaciones. Además, se obtuvieron correlaciones significativas entre estos indicadores y algunos factores y elementos del clima.

Palabras clave: indicadores de extremos térmicos, tendencias, región central de Cuba.

Abstract

In Cuba, the studies related to the behavior of the climatic extreme index of temperature have revealed an increasing trends of extreme hot events and a decreasing in cold ones in most of the meteorological stations analyzed. The objective of this research is to analyze the changes in the trend of these index and their relationship with some factors and elements of the climate in the central region of Cuba during the period 1980-2017. The RClimdex extra-QC program was used to calculate the index. The results show a general increase in the magnitudes by decade of warm days and nights, and tropical nights; while cold days and nights and the diurnal temperature range showed a decrease, with statistically significant trends in some stations. In addition, significant correlations were obtained between these index and some factors and elements of the climate.

Keywords: climatic extreme index of temperature, trends, central region of Cuba.

1. Introducción

En el año 2003, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) anunció la posibilidad de un incremento en los extremos del tiempo y el clima asociado al calentamiento global. Luego en el Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se reportaron evidencias sustanciales de que el calentamiento del sistema climático era inequívoco (IPCC, 2007) y más recientemente se ratificó esta situación (IPCC, 2013; IPCC, 2018). Según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC, por sus siglas en inglés) se conoce que alrededor del 90 % de todos los desastres naturales mundiales están relacionados con el rápido aumento en la frecuencia, severidad, duración y extensión geográfica de estos eventos (IFRC, 2014) y sus riesgos pasan a convertirse de moderados a elevados (IPCC, 2014). Los impactos esperados son más desfavorables en los sistemas más sensibles de la sociedad (Robine et al., 2008; Gu et al., 2016; Huebler et al., 2008; Zhao et al., 2016).

Los principales cambios que se están manifestando en las temperaturas, analizadas a partir de los indicadores de extremos climáticos no ocurren de igual forma ni con la misma intensidad (Morak et al., 2011; Fischer & Knutti, 2014; Donat et al., 2013a; Aeronson et al., 2018). La magnitud de estos extremos puede estar condicionados por factores y elementos del clima tales como la nubosidad, la humedad, el relieve, la elevación, la latitud, otros (Przybylak, 1999; Dai et al., 1999; You et al., 2008; Revadekar et al., 2013; Zeng et al., 2017). Los estudios en Cuba se han centrado en el análisis de las tendencias de los indicadores de extremos climáticos, sin tener en cuenta la magnitud de los cambios y la influencia que sobre ellos tienen diferentes factores y elementos del clima. Además, las investigaciones han sido limitadas en cuanto a la cantidad de estaciones analizadas. Debido a que, en la región central se han encontrado diferencias en la tendencia de los indicadores de temperatura, y que esta zona cuenta con importantes polos turísticos, es crucial determinar los cambios observados en las tendencias de estos.

2. Metodología

Se seleccionó la región central de Cuba (Figura 1) como área de interés para esta investigación, por contar con el mayor número de estaciones con series largas de indicadores de temperaturas extremas de Cuba (18 de 33 estaciones).

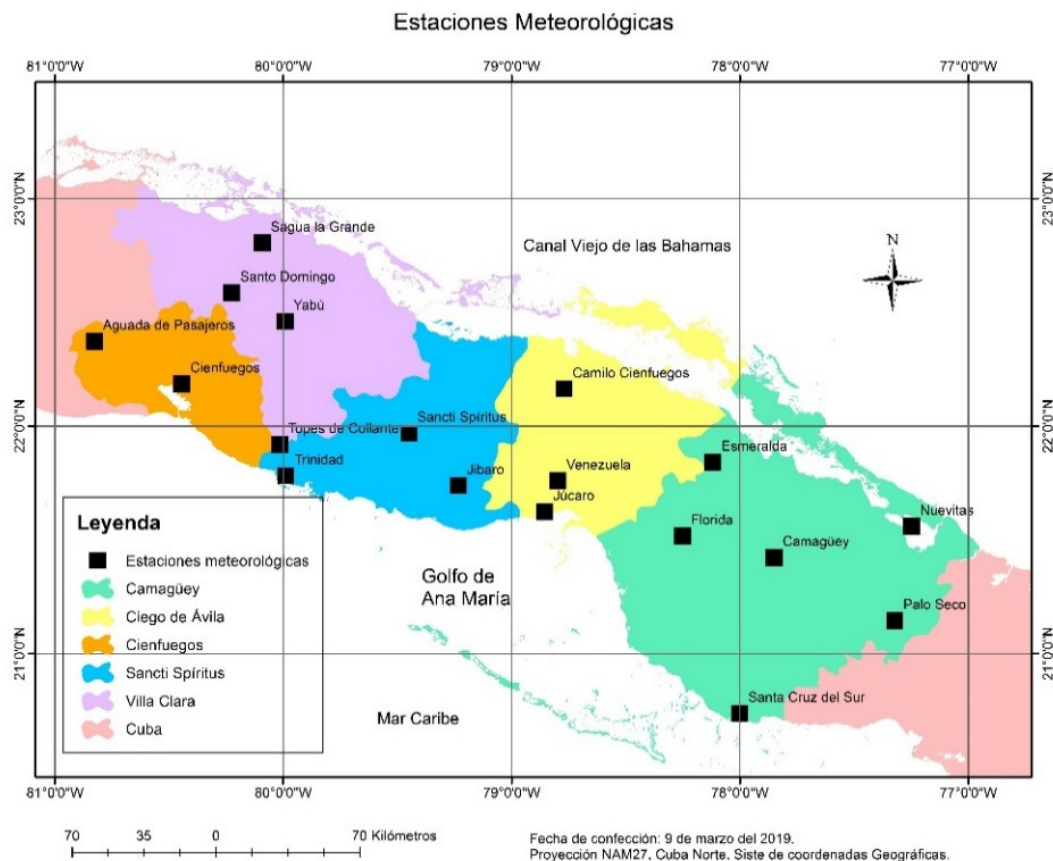


Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas en la región central de Cuba.

El Equipo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Indicadores (ETCCDI, por sus siglas en inglés) formuló un conjunto de 27 indicadores para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima, los cuales tienen como propósito la estimación de los cambios en los extremos a partir de una metodología común, con el fin de proveer una base comparativa global (OMM, 2009). Para una mejor interpretación de dichos indicadores visitar la página (http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml). Para el cálculo de los indicadores se emplearon los datos diarios de temperaturas máximas (T_x) y temperaturas mínimas (T_n). El período de análisis fue 1980-2017 y la norma climatológica empleada fue 1981-2010 (OMM, 2011). En la Tabla 1 se muestran los indicadores que se analizaron y se relacionan con las temperaturas extremas.

Tabla 1: Indicadores de extremos climáticos empleados.

Indicador	Nombre	Descripción	Unidades
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
TX90	Días cálidos	% de días con temperaturas máximas mayor al percentil 90	%
TX10	Días fríos	% de días con temperatura máxima menor al percentil 10	%
TN90	Noches cálidas	% de días con temperaturas mínimas mayor al percentil 90	%
TN10	Noches frías	% de días con temperatura mínima menor al percentil 10	%
TR20	Noches tropicales	Días al año cuando la temperatura mínima diaria es mayor a 20°C	Días

Las series fueron sometidas a un control de calidad y se analizó la homogeneidad de las mismas. A partir de esto se efectuó un análisis de la tendencia a través de las pruebas no paramétricas Mann-Kendall y el estimador de pendiente Sen (Salmi et al, 2002; Wilks, 2011). Para este estudio se calcularon los valores de la pendiente de cada indicador a partir de los datos mensuales y anuales, utilizando la plantilla de Excel de MAKESENS 1.0 (Salmi et al., 2002). El nivel de significación que se tuvo en cuenta fue del 0.05 (95%). Las estaciones fueron agrupadas según los resultados del análisis de clúster realizado y para ello se utilizó el software STATISTICA 10.0. Además, se empleó el programa Surfer 10.0 para representar las estaciones de los grupos resultantes del análisis. Se emplearon diagramas de cajas y bigotes con la finalidad de explicar el comportamiento de los indicadores. Para realizar un análisis del cambio observado en las tendencias de los indicadores se dividió en dos períodos de análisis: 1980-2017 y 1991-2017. Se realizó un análisis de correlación de los elementos del clima tales como la temperatura máxima (Tx), temperatura mínima (Tn), temperatura media (Tm), humedad relativa (Hr), precipitación media (RR) y los factores como la latitud, longitud, altura y distancia al mar, con los cambios observados en indicadores de extremos climáticos, a través del coeficiente de correlación de Pearson (Wilks, 2011).

Debido a que se cuenta con una estación de montaña (Topes de Collante) que presenta un comportamiento diferenciado al resto de las estaciones, pues se localiza a más de 700 m sobre el nivel medio del mar, se decidió realizar un primer análisis de la relación de los indicadores con la altura teniendo en cuenta dicha estación y un segundo análisis excluyendo a esta. Para lograr una mejor interpretación se presentaron las tendencias medias por década categorizadas por rangos de latitud, longitud, altura y distancia al mar para la región central de Cuba. Las tendencias promedio se calcularon para un rango de elevación, que se dividió en tres categorías diferentes: (1) < 50m, (2) 50-100m y (3) \geq 100m. Para la distancia al mar también se calcularon las tendencias promedio de las estaciones según su proximidad a la costa (Tabla 4), obteniéndose 5 rangos de categorías: (1) < 10 000m, (2) 10 000-20 000m, (3) 20 000-30 000m, (4) 30 000-40 000m, (5) 40 000-50 000m. Para el procesamiento de toda la información se empleó el software STATISTICA 10.0

3. Resultados

3.1. Rango diurno de temperatura (DTR) y Noches Tropicales (TR20)

En la variación anual del DTR, en la región central de Cuba (Figura 2a), predominaron las oscilaciones entre los 8,0°C y los 13,0°C, excepto en la estación de Nuevitas (78353) donde los valores tendieron a ser inferiores a los 8,0°C. La estación Topes de Collante (78342) ubicada en una zona de montaña, a pesar de no tener las oscilaciones anuales más bajas en la región (solo superada por la estación de Nuevitas), presentó una gran homogeneidad en su comportamiento con oscilaciones que no superaron los 0,8°C. El DTR más bajo se reportó en el año 2012 en la estación de Nuevitas (78353) con 6,1°C y el mayor ocurrió en 1986 en Camilo Cienfuegos (78347) con 13,3°C, que en conjunto con la estación de Júcaro (78345), ambas cercanas a las costas de la provincia de Sancti Spíritus, presentaron las mayores oscilaciones multianuales de la serie, alcanzando los 2,0°C.

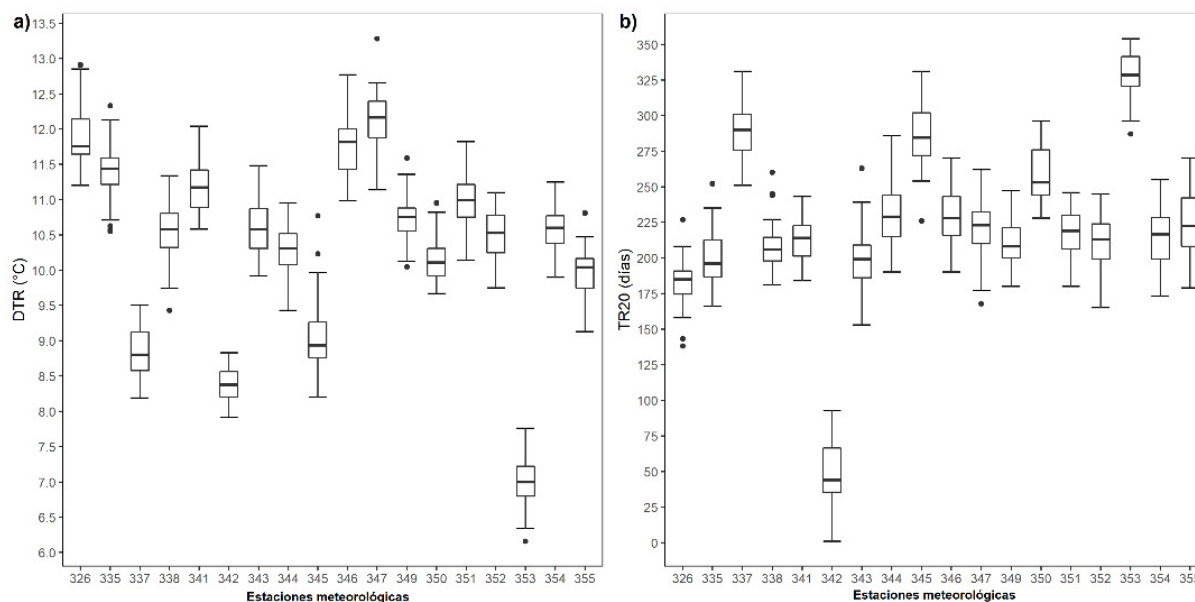


Figura 2: Variación anual del DTR (a) y de TR20 (b) para cada una de las estaciones.

Las noches tropicales se caracterizaron por presentarse en más de 150 días, en las estaciones que conforman la región de estudio (Figura 2b). Se destacó la estación de Nuevitas (78353) por presentar valores por encima de los 300 días, mientras que la estación de Topes de Collante (78342) presentó valores inferiores a 100 días. El análisis de clúster realizado para estos indicadores muestra la existencia de dos grupos principales los cuales presentan características diferentes. Los grupos determinados para cada indicador se muestran en la figura 3.

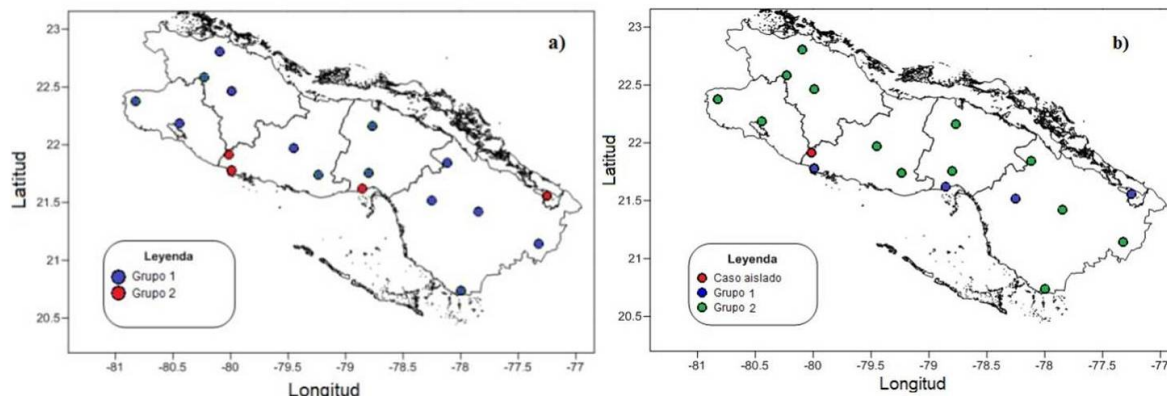


Figura 3: Resultados del análisis de clúster realizado a las estaciones meteorológicas para el comportamiento del DTR (a) y TR20 (b).

Para el caso del DTR, el primer grupo, quedó constituido por aquellas estaciones con las mayores oscilaciones, mientras el segundo grupo (Topes de Collante, Trinidad, Júcaro y Nuevitas), por las estaciones ubicadas cercanas a la costa y una estación de montaña. Para el indicador TR20 se destacó el primer grupo, compuesto por tres estaciones cercanas a la costa (Trinidad, Júcaro, Nuevitas) y Florida que presentaron los mayores valores de noches tropicales en comparación con el segundo grupo. La estación de Topes de Collante constituyó un caso aislado, presentando la menor cantidad de días con esta condición.

3.2. Días cálidos (TX90) y Días fríos (TX10)

El porcentaje de días cálidos en la región central osciló entre el 1,3 % y el 29,8 %, lo que representaron 5 y 109 días respectivamente en el año (Figura 4a). La mayor variabilidad en TX90 en los años de estudio se reportó en las estaciones de Trinidad (78337), Florida (78350) y Santa Cruz del Sur (78351) con valores entre 5,4 % y 17,2 %, mientras el Yabú (78343) y Esmeralda (78352) presentaron gran homogeneidad en sus valores y por debajo del 15 %. En la figura 4b se observó que el porcentaje de días fríos osciló entre el 1,8 % y el 20,6 %, lo que representó 7 y 75 días del año. La menor fluctuación ocurrió en la estación del Yabú (78343) con valores entre el 5,2 % y el 13,8 %, mientras las estaciones de Trinidad (78337) y las ubicadas hacia la zona más oriental de la región de estudio presentaron las mayores fluctuaciones, destacándose Camilo Cienfuegos (78347) y Palo Seco (78354) con los valores máximos de 20,6 % y 20,2 % respectivamente.

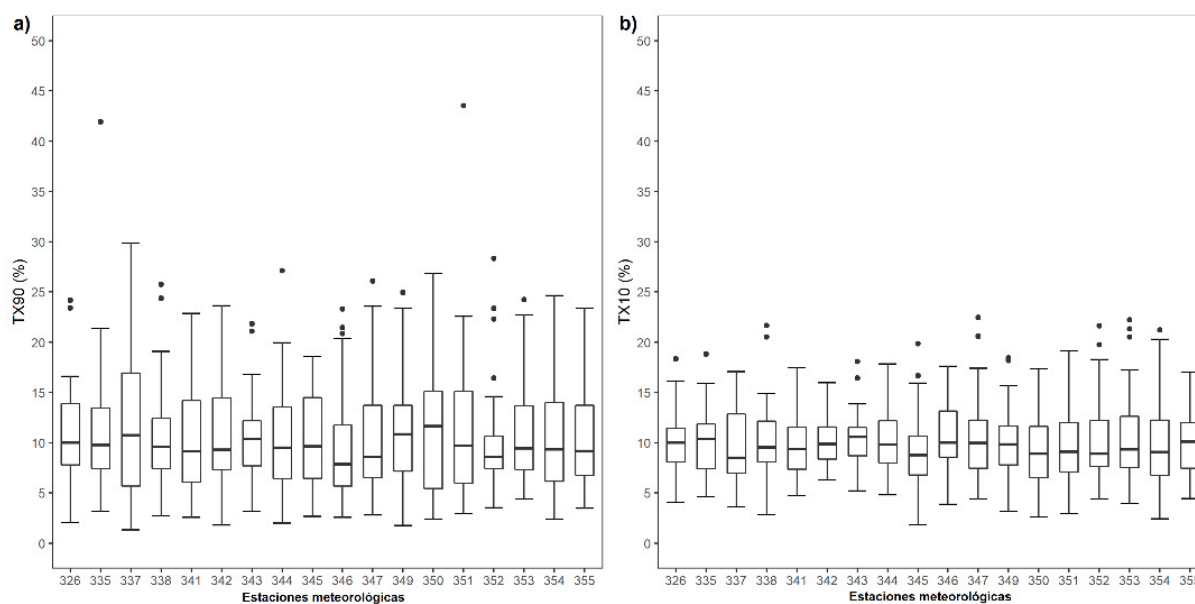


Figura 4: Variación anual de TX90 (a) y TX10 (b) para cada una de las estaciones.

3.3. Noches cálidas (TN90) y Noches frías (TN10)

Las noches cálidas oscilaron entre el 5% y el 18%, equivalente a 18 y 66 días respectivamente con esta condición (Figura 5a). Los valores más altos se obtuvieron para las estaciones Topes de Collante (78342) y Camagüey (78355) con 28,4% y 33,1%, respectivamente; mientras que el mínimo se reportó en Trinidad (78337) con un valor de 0,2%. Las estaciones de Sancti Spíritus (78349) y Esmeralda (78352) presentaron la mayor homogeneidad en sus datos. Las noches frías oscilaron entre los 1,6% y los 25,3%, lo que representa 6 y 92 días con esta condición (Figura 5b), aunque el 50% de los datos se concentró entre el 5% y el 15%; con el mínimo en la estación de Santa Cruz del Sur (78351). La estación de Venezuela (78346) presentó la mayor homogeneidad, mientras las mayores fluctuaciones se encontraron en la estación del Yabú (78343), lo que indica que hay una mayor variabilidad interanual en la misma, presentando además los mayores valores que alcanzan un 25,3%. Todo esto puede estar dado por un cambio en el entorno de esta estación en el período analizado o puede responder a la influencia de algún factor climático.

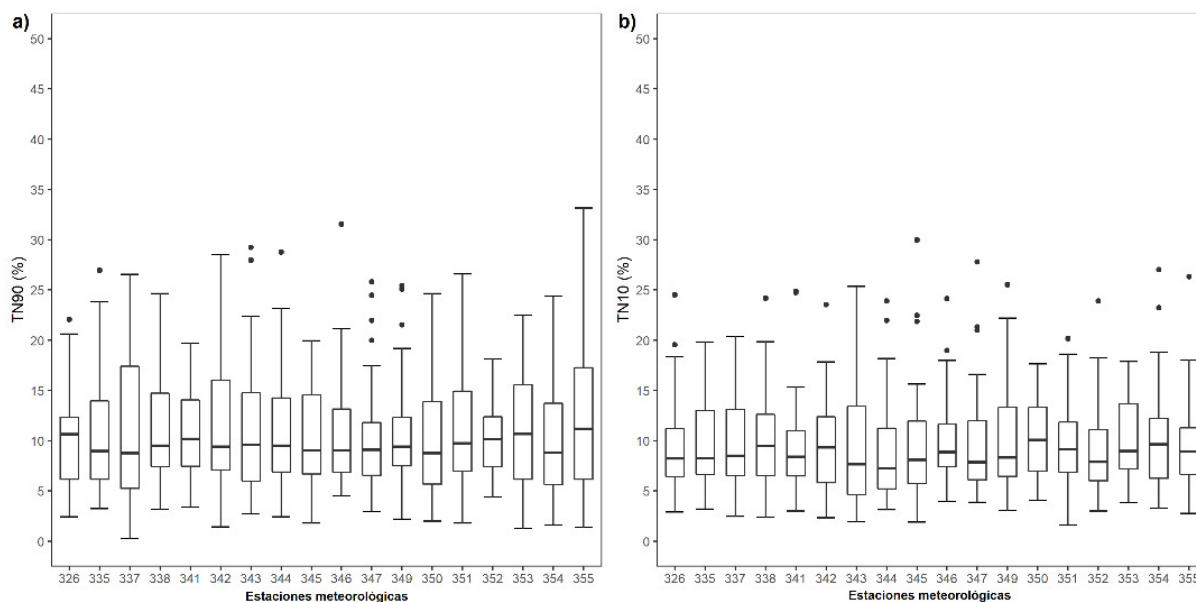


Figura 5: Variación anual de TN90 (a) y TN10 (b) para cada una de las estaciones.

3.4. Cambios observados en las tendencias de los indicadores

En los dos períodos se observó una disminución generalizada del DTR con una magnitud en los cambios que osciló entre $-0,1$ y $0,3$ $^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Para el período de 1980-2017 se observó tendencias decrecientes estadísticamente significativas en Cienfuegos, Santo Domingo y Camilo Cienfuegos, mientras en el período de 1991-2017, solo la estación del Yabú y Trinidad mostraron tendencias estadísticamente significativas, con un decrecimiento y crecimiento respectivamente (Figura 6). Las noches tropicales evidenciaron un incremento en el período 1980-2017, aunque solo es estadísticamente significativa en Aguada de Pasajeros, Jíbaro y Palo Seco. La magnitud es mayor (8-18 días/ década) en las estaciones ubicadas hacia el occidente de la región como Santo Domingo, Aguada de Pasajeros, Yabú y Topes de Collante y en la estación de Camagüey. En el período 1991-2017 la magnitud observada fue menor y se produjo un decrecimiento en Cienfuegos, Venezuela, Camilo Cienfuegos y Santa Cruz del Sur, con magnitudes que oscilaron entre -8 y 0 días/década. No se observaron tendencias significativas en ninguna estación, aunque Topes de Collante continuó presentando magnitudes superiores al resto de las estaciones (Figura 6).

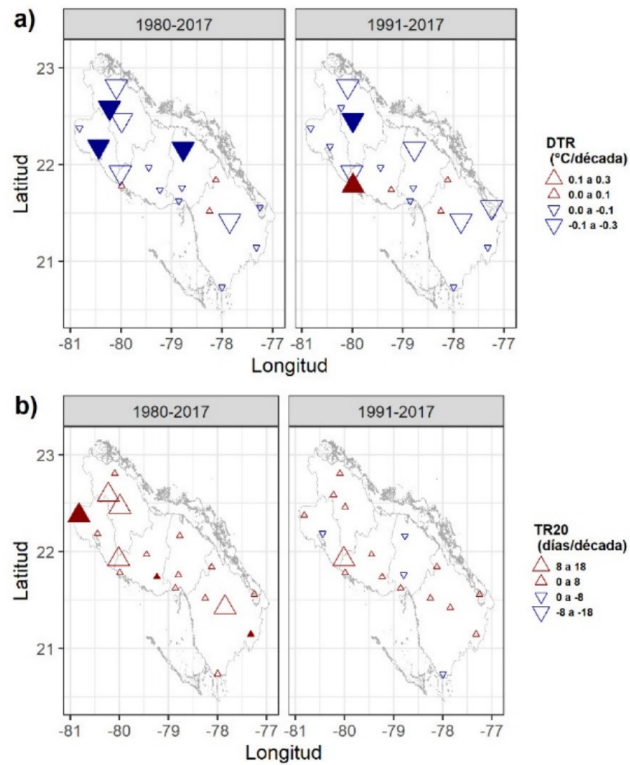


Figura 6: Tendencias de los indicadores anuales de extremos climáticos DTR (arriba) y TR20 (abajo), en el período de 1980-2017 (izquierda) y 1991-2017 (derecha). Los triángulos hacia arriba y hacia abajo indican tendencias positivas y negativas respectivamente. Los triángulos sólidos corresponden a tendencias estadísticamente significativas al 5% y el tamaño de los triángulos es proporcional a la magnitud de la tendencia.

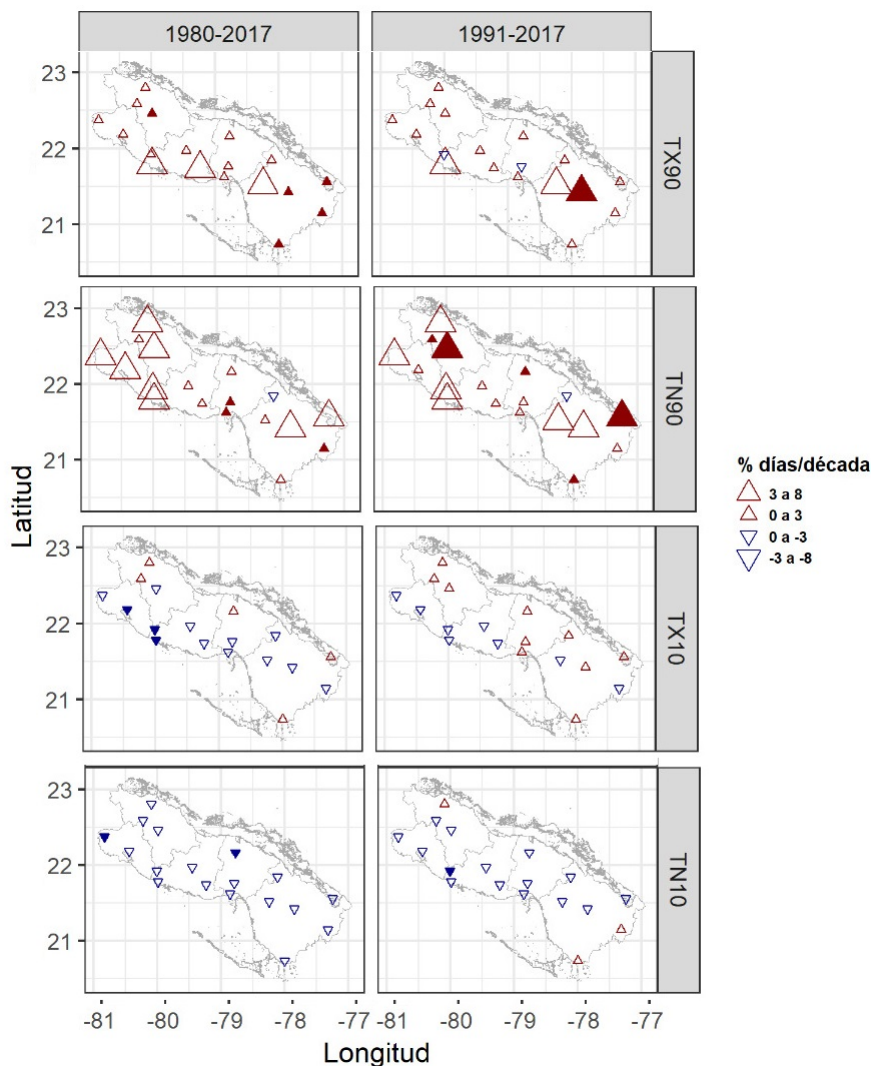


Figura 7: Tendencias de los indicadores anuales de extremos climáticos TX90 (a), TN90 (b), TX10 (c) y TN10 (d) en el período de 1980-2017 (izquierda) y 1991-2017 (derecha). Los triángulos hacia arriba y hacia abajo indican tendencias positivas y negativas respectivamente. Los triángulos sólidos corresponden a tendencias estadísticamente significativas al 5 % y el tamaño de los triángulos es proporcional a la magnitud de la tendencia.

En ambos períodos se evidenció un aumento en el porcentaje de días y noches cálidas (Figura 7a y 7b). Para TX90 se observaron tendencias estadísticamente significativas en el primer período, en el Yabú y las estaciones ubicadas más hacia el oriente de la región como Camagüey, Nuevitas, Palo Seco y Santa Cruz del Sur. La magnitud de los cambios osciló entre los 0-3 %/ década. Mientras TN90 presentó tendencias estadísticamente significativas en las estaciones de Júcaro, Venezuela y Palo Seco y cuyas magnitudes se encontraron entre 0-3 %/ década. Sin embargo, en algunas estaciones, las magnitudes resultaron mayores (3-6 %/ década), aunque no fueron significativas. Sin embargo, en el período 1991-2017, solo se observó un aumento significativo en la tendencia (0-3 %/ década) de TX90 en la estación de Camagüey. Mientras, TN90 continuó el aumento del indicador, siendo estadísticamente significativo en Santo Domingo, Yabú y Nuevitas. El porcentaje de días fríos evidenció una disminución en el primer período de estudio, con tendencias estadísticamente significativas en Cienfuegos, Topes de Collante y Trinidad, estaciones que se encuentran ubicadas en la zona sur y más occidental de la región de análisis. La magnitud de la tendencia se encontró entre -3 y 3 %/ década, en ambos períodos (Figura 7c).

Para el caso del porcentaje de noches frías se observó una disminución generalizada en ambos períodos (Figura 7d). El período de 1980-2017 mostró tendencias estadísticamente significativas en las estaciones de Aguada de Pasajeros y Camilo Cienfuegos y en el período 1991-2017 solo se observó una tendencia estadísticamente significativa en Topes de Collante. Las magnitudes en ambos períodos se encontraron entre -3 y 6 %/ década.

3.5. Influencia de los factores y elementos del clima sobre los indicadores de extremos climáticos de temperatura

3.5.1. Temperatura máxima (Tx), Temperatura mínima (Tn), Temperatura media (Tm), Humedad relativa media (Hr) y Precipitación media (RR).

Las correlaciones obtenidas para la temperatura máxima, mínima y media resultaron positivas para la mayoría de los indicadores, por tanto, al producirse un aumento en las razones de cambio de estos elementos también aumentaron las razones de cambio de los indicadores. Las mejores correlaciones con Tx se obtuvieron con TX90 y TX10, con coeficientes de correlación del 65 % y 56 % respectivamente. Para el caso de Tn, las correlaciones más fuertes fueron con TX10, TN10 y TR20, cuyos coeficientes presentaron valores del 53 % para TX10 y del 63 % para TN10 y TR20. Los resultados obtenidos para Tm arrojaron correlaciones significativas con TX90, con un coeficiente de correlación de aproximadamente el 65 %. Ambos indicadores, DTR y TR20 presentaron correlaciones negativas con Tx y Tm. No se encontró significado estadístico de los indicadores con la humedad relativa ni con la precipitación media y sus porcentajes de correlación resultaron débiles. Tales correlaciones fueron positivas, excepto para el DTR cuya correlación fue negativa (Tabla 2).

Tabla 2: Valores del coeficiente de correlación de Pearson y p-valor de los cambios observados en los indicadores extremos relacionados con la Tx, Tn, Tm, Hr y RR.

		DTR	TX90	TX10	TN90	TN10	TR20
Tx	r(X,Y)	-0.265	0.6452	0.5571	0.3803	0.1094	-0.1165
	r ²	0.0702	0.4163	0.3103	0.1447	0.012	0.0136
	p	0.288	0.0038	0.0163	0.1195	0.6655	0.6451
Tn	r(X,Y)	0.0374	0.2882	0.5259	0.4076	0.6261	0.634
	r ²	0.0014	0.083	0.2765	0.1661	0.392	0.402
	p	0.8827	0.2462	0.025	0.0932	0.0054	0.0047
Tm	r(X,Y)	-0.2818	0.6541	0.4335	0.119	0.225	-0.0684
	r ²	0.0794	0.4278	0.1879	0.0142	0.0506	0.0047
	p	0.2573	0.0032	0.0723	0.6382	0.3695	0.7873
Hr	r(X,Y)	-0.159	0.3456	0.37	0.0482	0.3456	0.101
	r ²	0.0253	0.1194	0.1369	0.0023	0.1195	0.0102
	p	0.5287	0.1601	0.1307	0.8493	0.1601	0.69
RR	r(X,Y)	-0.1284	0.1661	0.0888	0.0358	0.3596	0.175
	r ²	0.0165	0.0276	0.0079	0.0013	0.1293	0.0306
	p	0.6117	0.51	0.7261	0.8877	0.1428	0.4873

3.5.2. Latitud, longitud, altura y distancia al mar

Las mejores correlaciones con la latitud y la longitud se obtuvieron con el indicador TN10, resultando positiva y significativa, con un coeficiente de correlación de aproximadamente el 52 %

y 58 %, respectivamente. Por tanto, a mayor latitud y longitud, la razón de cambio por década de las noches frías aumenta. Para el DTR, TN90 y TR20, las correlaciones con la latitud fueron positivas, pero no significativas, mientras que TX90 y TX10 exhibieron correlaciones negativas. Todos los indicadores mostraron correlaciones positivas con la longitud, aunque no fueron significativas. De manera general las correlaciones resultaron débiles y poco significativas. Realizando un análisis a partir de la estación de montaña de Topes de Collante se evidenciaron correlaciones estadísticamente significativas y positivas de TR20 con la altura, con un coeficiente de correlación del 75 % aproximadamente. De igual forma ocurrió descartando dicha estación donde las correlaciones con la altura fueron más fuertes para TR20 y TN10, con coeficientes del 71 % y 55 %, respectivamente. Esto demuestra que a mayor altura las razones de cambio por década de estos indicadores aumentan. Los demás indicadores, teniendo en cuenta la estación de montaña, también presentaron correlaciones positivas; sin embargo, al agregar la estación en el análisis TX90 mostró una correlación negativa, en ambos casos sin significado estadístico. La distancia al mar mostró correlaciones débiles y no resultaron significativas con ningún indicador. Para el caso de la latitud, se observó que el DTR disminuyó en todas las latitudes al igual que las magnitudes de las tendencias hasta 21,5 grados y en los 22 grados aumentó de forma más rápida, mientras TR20 indicó tendencias mixtas en todos los rangos de latitudes. TX90 mostró un crecimiento-decrecimiento en el rango de los 21,5 grados, a partir del cual dicho decrecimiento es más pronunciado. Para el caso de TN90 ocurrió lo contrario, se produjo un decrecimiento-crecimiento en el rango de 22 grados, y en los 21,5 grados disminuyó más rápidamente la magnitud de la tendencia. TX10 mostró un decrecimiento-crecimiento en el rango de 22,5 grados y en los 21 grados se evidenció un aumento más rápido de la magnitud. TN10 exhibió un decrecimiento en todos los rangos, el cual fue mucho más pronunciado en la latitud de 21 grados. En los rangos de longitud se observó que el DTR disminuyó en todos y presentó el mismo valor de magnitud en su tendencia media (-0,10 °C/ década), excepto para el rango de 78.1 grados (-0,04 °C/ década). De igual manera, TX10 decreció en todos los rangos y su magnitud aumentó hasta 80.1 grados donde disminuyó, dicho aumento fue más rápido en los 79.1 grados. TX90 y TN90 presentaron tendencias mixtas en todas las longitudes, mientras TR20 exhibió un decrecimiento-crecimiento en los 78.1 grados y la magnitud de su tendencia aumentó más de tres veces a partir del rango de 79.1 grados (Tabla 3).

Tabla 3: Valores del coeficiente de correlación de Pearson y p-valor de los cambios observados en los indicadores extremos relacionados con la latitud, longitud, distancia al mar y altura (m), teniendo en cuenta y descartando la estación de Topes de Collante.

		DTR	TX90	TX10	TN90	TN10	TR20
Latitud	r(X,Y)	0.4444	-0.2267	-0.0109	0.1193	0.5190	0.3084
	r ²	0.1975	0.0514	0.0001	0.0142	0.2694	0.0951
	p	0.0647	0.3658	0.9657	0.6372	0.0273	0.2131
Longitud	r(X,Y)	0.1809	0.0673	0.3319	0.3293	0.5816	0.4612
	r ²	0.0327	0.0045	0.1102	0.1084	0.3382	0.2127
	p	0.4725	0.7908	0.1784	0.1821	0.0114	0.0540
Altura con Topes de Collante	r(X,Y)	0.1520	-0.2007	0.1769	0.3440	0.4538	0.7464
	r ²	0.0231	0.0403	0.0313	0.1183	0.2059	0.5572
	p	0.5470	0.4245	0.4826	0.1622	0.0585	0.0004
Altura sin Topes de Collante	r(X,Y)	0.3077	0.2134	0.0417	0.3346	0.5436	0.7132
	r ²	0.0947	0.0455	0.0017	0.1119	0.2955	0.5087
	p	0.2296	0.4109	0.8738	0.1893	0.0241	0.0013
Distancia al mar	r(X,Y)	0.2131	0.0795	-0.0638	-0.0209	0.2614	0.4285
	r ²	0.0454	0.0063	0.0041	0.0004	0.0683	0.1836
	p	0.396	0.7539	0.8014	0.9343	0.2947	0.076

Tabla 4: Tendencia media por década de los extremos de temperatura categorizadas por rangos de latitud, longitud, altura y distancia al mar en la región central de Cuba en el período de 1980-2017.

		N. de es- taciones	DTR	TX90	TX10	TN90	TN10	TR20
Latitud	20.5-21	1	-0.08	-0.07	-0.04	-0.13	-0.19	-0.08
	21-21.5	3	2.01	2.87	2	1.9	1.19	2.01
	21.5-22	8	0.44	-0.74	-0.57	-0.47	0.46	0.44
	22-22.5	4	2.96	2.93	2.42	3	3.07	2.96
	22.5-23	2	-0.21	-1.45	-1.48	-2.06	-1.92	-0.21
	20.5-21	1	2.27	6.61	5.26	7.27	6.82	2.27
Longitud	77 a 78	4	-0.1	1.87	-0.07	3.18	-1.22	5.44
	78.1 a 79	5	-0.04	1.76	-0.29	1.46	-0.93	2.44
	79.1 a 80	6	-0.1	2.29	-0.63	3.32	-2.06	8.01
Altura	80.1 a 81	3	-0.1	2.18	-0.59	3.12	-2.18	8.27
	<50m	11	-0.08	1.66	-0.14	2.39	-1.35	4.5
	50-100m	4	-0.02	3.61	-1.13	2.85	-1.64	5.42
	≥ 100m	3	-0.18	1.31	-0.39	3.87	-2.35	11.89
Distancia al mar	< 10000m	5	-0.07	2.37	-0.39	3.2	-1.45	3.81
	10000- 20000m	5	-0.09	0.99	-0.07	2.07	-1.31	5.63
	20000- 30000m	1	-0.02	3.03	-0.97	2.25	-1.68	6
	30000- 40000m	3	-0.01	3.33	-0.99	2.7	-1.56	5.79
	40000- 50000m	4	-0.16	1.68	-0.26	3.13	-2.07	9.08

La mayoría de las estaciones analizadas se ubican por debajo de los 50 m de altura, por lo tanto, pudiese no existir una dependencia entre la magnitud de la tendencia de los indicadores y la altura. Se observó que el DTR disminuyó en todos los rangos de altura, mientras TN90 exhibió un crecimiento, y sus magnitudes aumentaron de forma más rápida a partir de los 100m. Por otro lado, TX90 mostró un crecimiento-decrecimiento en el rango de 100m y TX10 y TN10 exhibieron un decrecimiento en todos los rangos. Sin embargo, las magnitudes de las tendencias para TX10 aumentaron en el rango de 50 a 100m y disminuyeron en las estaciones por encima de 100m, mientras las magnitudes medias de TN10 aumentaron en todos los rangos de altura, resultando más rápida en las superiores a 100m. TR20 evidenció un crecimiento en todos los rangos y su magnitud aumentó más del doble en aquellas estaciones por encima de 100m. Los indicadores extremos de temperatura evidenciaron diferencias en su comportamiento. DTR y TR20 presentaron un crecimiento-decrecimiento-crecimiento, aunque esto no está dado en la misma distancia. TX90 y TX10 exhibieron un decrecimiento-crecimiento-decrecimiento en los 10 mil, 20 mil y 40 mil metros, mientras TN90 y TN10 presentaron el mismo comportamiento de decrecimiento-crecimiento hasta los 20 mil metros, donde TN10 comenzó a decrecer-crecer en los 30 y 40 mil metros respectivamente. (Tabla 4)

4. Discusión

En Cuba las tendencias de los extremos de temperatura siguen un comportamiento similar a las observadas a nivel global (Pérez et al., 2009; Burgos, 2010; Burgos y González, 2012; Gil, 2018)

y están en correspondencia con los resultados encontrados en el área del Caribe (Stephenson et al., 2014). Según la caracterización de los indicadores en la región se demostró, el DTR presenta valores de oscilaciones más bajos hacia las costas y zonas montañosas. Se observó un aumento en el TX90 y TN90, así como para TR20 en los períodos analizados, resultando más notable en la estación de montaña de Topes de Collante. Por otro lado, TX10 y TN10 presentaron una disminución generalizada. Por tanto, se ratifica las tendencias que se vienen observando hacia un clima más cálido, las cuales están fuertemente condicionadas por el incremento de los valores de temperatura mínima. Se encontró que determinados factores como la latitud, la longitud y la altura ejercen gran influencia en el comportamiento de los indicadores a nivel global (Revadekar et al., 2013; Rahimi y Hejabi, 2018). En correspondencia, en Cuba, se identifica como la latitud a pesar de no caracterizarse por una gran variación, debe considerarse como un factor modulador de los cambios observados en estos indicadores. De manera general no se indicaron resultados relevantes, lo que refleja que la influencia de la latitud, en estos es muy débil y despreciable. Los resultados para la longitud fueron similares, solo se observaron correlaciones significativas con TN10. Por su parte, la altura, muestra un comportamiento contrastante a nivel mundial y depende también de factores locales (Revadekar et al., 2013). En Cuba, los extremos climáticos DTR, TN10 y TR20 mostraron un incremento más rápido a partir de los 100m de altura y los demás indicadores evidenciaron otros cambios también a esta altura. Se obtuvieron buenas correlaciones de TR20 y TN10 con la altura. Sin embargo, por otro lado, tanto la humedad media, la precipitación media como la distancia al mar, evidenciaron correlaciones débiles y sin importancia estadística.

5. Conclusiones

Se realizó una caracterización de seis indicadores de extremos climáticos de temperatura en la región central de Cuba. La marcha anual del rango diurno de temperatura (DTR) y noches tropicales presentaron un comportamiento similar en la mayoría de las estaciones, exceptuando las ubicadas próxima a la costa y en los sistemas montañosos de la región. Se observó una tendencia generalizada al calentamiento, dado por el incremento de noches tropicales, días y noches cálidas y la disminución de días y noches frías y el rango diurno de temperatura. Las magnitudes de los cambios observados por década de los días y noches cálidas, las noches frías y noches tropicales evidenciaron correlaciones significativas y positivas con Tx, Tn, Tm, latitud, longitud y altura, siendo estas superiores al 50 %.

Referencias bibliográficas

Aerenson TW, Tebaldi C, Sanderson B, Lamarque JF (2018): Changes in a suite of indicators of extreme temperature and precipitation under 1.5 and 2 degrees warming. *Environmental Research Letters*, 13. <https://doi:10.1088/1748-9326/aaafd6>.

Burgos Y, González I (2012): Análisis de indicadores de extremos climáticos en la isla de Cuba. *Revista de Climatología*, 12:81-91.

Dai A, Trenberth, KE, Karl TR (1999): Effects of Clouds, Soil Moisture, Precipitation, and Water Vapor on Diurnal. *Journal of Climate*, 12:2451-2473. doi:10.1175/1520-0442(1999)012<2451:EOCSMP>2.0.CO;2.

Donat MG, Alexander LV, Yang H, Durre I, Vose R, Dunn RJH, et al (2013): Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118:2098-2118. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50150>.

Fischer EM, Knutti R (2014): Detection of spatially aggregated changes. *Geophysical Research Letters*, 41(2):547-554. <https://doi.org/10.1002/2013GL058499>.

Gil L, González I, Hernández D (2019): Las temperaturas extremas de la temporada invernal en la región occidental de Cuba en el período 1981-2016. *Revista de Climatología*, 19:17-26.

Gu S, Huang C, Bai L, Chu C, Liu Q (2016): Heat-related illness in China, summer of 2013. *International Journal of Biometeorology*, 60(1):131-137. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1011-0>.

Huebler M, Klepper G, Peterson S (2008): Costs of climate change the effects of rising temperatures on health and productivity in Germany. *Ecological Economy*, 68(1-2):381-393. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.04.010>.

IFRC (2014). World Disasters Report 2014: focus on Culture and Risk. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. <https://www.ifrc.org/world-disasters-report-2014>

IPCC (2007): Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>

IPCC (2013): Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

IPCC. (2014): Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf

IPCC (2018): Resumen para responsables de políticas: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Morak S, Hegerl G, Kenyon J (2011): Detectable regional changes in the number of warm nights. *Geophysical Research Letter*, 38(17):1-5. <https://doi.org/10.1029/2011GL048531>.

OMM (2011): Guía de prácticas climatológicas(3aed.). Ginebra, Suiza.

Pérez R, Fonseca C, Lapinel B, Gonzalez C, Planos E, Cutie V, Vega R (2009): Actualización del conocimiento sobre variaciones, cambios y tendencias del clima en Cuba. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

Przybylak R (1999): Influence of cloudiness on extreme air temperatures and diurnal temperature range in the Arctic in 1951-1990. *Polish Polar Research*. 20(2):149-173. <https://www.researchgate.net/publication/286894466>.

Rahimi M, Hejabi S (2018). Spatial and temporal analysis of trends in extreme. *International Journal of Climatology*, 38(1):272-282. <https://doi:10.1002/joc.5175>.

Revadekar JV, Hameed S, Collins D, Manton M, Sheikh M, Shreshta ML (2013): Impact of altitude and latitude on changes in temperature extremes over South Asia during 1971-2000. *International Journal of Climatology*, 33(1):199-209. <https://doi:10.1002/joc.3418>

Robine JM, Cheung SL, Le RS, Van OH, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2):171-178. <https://doi:10.1016/j.crv.2007.12.001>.

Salmi T, Määttä A, Anttila P, Ruoho-Airola T, Amnell T (2002): Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the excel template application Makesens. Finish Meteorological Institute, Helsinki. Publications on Air Quality No. 31

Stephenson TS, Vincent LA, Allen T, Van Meerbeek CJ, McLean N, Peterson TC, Trotman AR (2014): Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961-2010. *International Journal of Climatology*, 34:2957-2971. <https://doi:10.1002/joc.3889>.

Wilks DS (2011): *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 3a ed. Amsterdam: Elsevier/Acad.Press.

You Q, Kang S, Pepin N, Yan Y (2008): Relationship between trends in temperature extremes and elevation in the eastern and central Tibetan Plateau, 1961-2005. *Geophysical Research Letters*, 35:L04704. <https://doi:10.1029/2007GL032669>.

Zeng W, Yu Z, Li X (2017): The influence of elevation, latitude and Arctic Oscillation on trends in temperature extremes over northeastern China,1961–2011. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 130(2):191-209. <https://doi:10.1007/s00703-017-0509-x>.

Zhao Y, Sultan B, Vautard R, Braconnot P, Wang HJ, Ducharne A (2016): Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(17):4640-4645. <https://doi:10.1073/pnas.1521828113>