

La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 5: Relación entre las circulaciones atmosféricas y los tipos de situaciones sinópticas



<https://cu-id.com/2377/v31n3e11>

Synoptic climatology in Cuba. Part 5: The relationships between atmospheric circulations and the types of synoptic situations

Edgardo Soler Torres*, Luis B. Lecha Estela

Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Cuba. E-mail: luis.lecha@gmail.com

RESUMEN: El trabajo analizó el comportamiento, los cambios y tendencias actuales de los procesos de la circulación atmosférica que influyen sobre la región de América del Norte y Cuba, bajo los efectos ya perceptibles del cambio climático. Para ello, se utilizaron series largas de datos diarios de los Mecanismos Elementales de Circulación del hemisferio norte y de los Macroprocesos Regionales de Circulación que influyeron sobre la región de América del Norte y Cuba, así como, el Catálogo de los Tipos de Situaciones Sinópticas que influyeron sobre las mitades occidental y oriental de Cuba durante los años 1970-2019. Los resultados muestran importantes relaciones estadísticas entre estos tres grupos de variables, demostrando la estrecha interrelación física que tienen los procesos sinópticos, actuando desde las escalas global y regional hasta la local. Se describen los comportamientos multianuales, estacionales y regionales de las relaciones entre estos procesos de la circulación y las situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba, demostrando que algunas relaciones manifiestan cambios persistentes y tendencias crecientes, que pueden interpretarse como la respuesta de la circulación atmosférica al impacto del forzamiento provocado por el proceso de calentamiento global, lo cual se hace estadísticamente evidente a partir de puntos de cambios específicos, identificados entre los años 1992 y 2002. Finalmente, se demuestra que existe una marcada y bien definida génesis estacional diferente de las relaciones entre los procesos de la circulación y las situaciones sinópticas que influyen sobre las mitades occidental y oriental de Cuba.

Palabras Clave: circulaciones atmosféricas, climatología sinóptica de Cuba, relaciones estadísticas, tipos de situaciones sinópticas.

ABSTRACT: The study analyzed the behavior, changes, and current trends in atmospheric circulation processes influencing North America and Cuba, under the already perceptible effects of climate change. To this end, long series of daily data on the Elementary Circulation Mechanisms of the Northern Hemisphere and the Regional Circulation Processes influencing North America and Cuba were used, as well as, the Catalog of Synoptic Situation Types influencing the western and eastern halves of Cuba from 1970 to 2019. The results show important statistical relationships between these three groups of variables, demonstrating the close physical interrelationship of synoptic processes, operating from global and regional to local scales. The multiannual, seasonal and regional behaviors of the relationships between these circulation processes and the synoptic situations that influence Cuba are described, demonstrating that some relationships show persistent changes and increasing trends, which can be interpreted as the response of the atmospheric circulation to the impact of the forcing caused by the global warming process, which is statistically evident from specific change points, identified between the years 1992 and 2002. Finally, it is demonstrated that there is a marked and well-defined seasonal different genesis from the relationships between the circulation processes and the synoptic situations that influence the western and eastern halves of Cuba.

Key Words: atmospheric circulations, statistical relationships, synoptic climatology of Cuba, types of synoptic situations.

*Autor para la correspondencia: Edgardo Soler Torres, email: edgardosoler2@gmail.com

Recibido: 13/03/2025

Aceptado: 23/08/2025

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

Contribución de los autores: **Idea original y procesamiento estadístico de los resultados:** Edgardo Soler Torres. **Análisis de los resultados y redacción del documento original:** Luis B. Lecha Estela. En el resto de los aspectos del artículo la participación fue equivalente.

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/)

INTRODUCCIÓN

En un artículo previo (Soler *et al.*, 2020) estudiaron los macroprocesos de circulación que agrupan a los Mecanismos Elementales de Circulación (MEC) para el sector América del Norte y describieron su relación con las situaciones sinópticas que influyeron sobre la mitad occidental de Cuba desde 1971 a 2017.

Este trabajo estableció que las circulaciones atmosféricas en América del Norte presentan una estacionalidad definida y actúan como uno de los principales procesos formadores del clima de Cuba, ya que es posible identificar la ocurrencia de un macroproceso de circulación predominante y distinto para cada época del año, lo que permite afirmar la existencia de cuatro periodos estacionales bien definidos en el clima del archipiélago cubano, que deben ser considerados en la descripción de sus principales características climáticas.

La elevada presencia en el sector América del Norte de los procesos que definen los MEC, justifica la continuidad de estos análisis, pero ahora con el objetivo de: *hacer la evaluación del vínculo entre las circulaciones atmosféricas hemisféricas y regionales, que conforman los grupos de circulación longitudinales y latitudinales, predominantes en la región América (GCA), con los procesos sinópticos que influyen sobre Cuba.*

Para lograr este propósito, se realizó el análisis bivariado (2D) mediante tablas de contingencia, del comportamiento espacio-temporal simultáneo de los Grupos de la Circulación Atmosférica (GCA) y los tipos de situaciones sinópticas (TSS) que influyeron sobre las mitades occidental y oriental de Cuba en el período 1970-2019. Al mismo tiempo, se analizó el signo, el orden y la significación estadística de las relaciones entre las categorías de las variables contrastadas, cuyos resultados se presentan estandarizados mediante el cálculo de los residuos tipificados corregidos. Esto hace factible la comparación de los resultados obtenidos con otras relaciones establecidas entre variables de distintas dimensiones físicas, posibilitando su utilización en múltiples aplicaciones que sean afectadas por la influencia de los cambios atmosféricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La clasificación de los Mecanismos Elementales de Circulación (MEC) se fundamenta en la presencia o ausencia de procesos de bloqueos anticiclónicos e intercambios ciclónicos, su dirección y número en el hemisferio, así como, en las características de la circulación en el polo. En ella se determina el tipo de circulación dominante en las diferentes regiones geográficas del hemisferio, para lo cual se identifica la dirección principal del flujo de masa y energía en la troposfera baja, a partir de las componentes o dirección predominante del viento en superficie (Dzerdzeevskii, 1962).

El comportamiento diario de los Mecanismos Elementales de Circulación (MEC) del hemisferio norte se analizó mediante la clasificación de Dzerdzeevskii (1968) que considera los 13 tipos y 41 subtipos de MEC descritos por Sávena y Jmelevskaya (1984).

El comportamiento de los procesos regionales de la circulación atmosférica se estudió a través de los macroprocesos regionales de circulación (MRC) que influyen sobre el sector América del Norte (AME), en el cual se alcanza el máximo de intercambios ciclónicos (26) del hemisferio, con prevalencia del grupo meridionales del norte (12). También, contiene 17 bloqueos anticiclónicos, de ellos 13 en el grupo meridionales del norte, ubicándose segundo después del sector Asia, que presenta el máximo de bloqueos con 22.

La información diaria de los procesos sinópticos que afectan a las mitades occidental y oriental de Cuba se tomó del Catálogo de los Tipos de Situaciones Sinópticas que influyen sobre el país (Lecha *et al.*, 2024a).

Para las principales series temporales se calcularon las anomalías anuales de las categorías de los grupos de circulaciones atmosféricas en América del Norte (GCA) y los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba (TSS), empleando la formación establecida por Soler *et al.* (2025) para los grupos de circulación en América del Norte.

La existencia de asociación estadística entre variables nominales se determinó mediante la prueba de Chi-cuadrado de Pearson. El análisis se hizo entre las variables de las circulaciones atmosféricas (MEC, MRC o GCA) y de las situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba (TCSS, TSS o STSS) en sus diferentes niveles taxonómicos. A cada contraste de hipótesis se le impuso que un 80 % de los recuentos esperados fuera superiores a 5 y ningún recuento igual a cero, para garantizar un resultado válido estadísticamente (Hoel, 1972).

Las relaciones entre categorías de las variables nominales estudiadas se determinaron mediante los residuos tipificados corregidos, que son las diferencias entre los valores observados y esperados dividida por una estimación de su error estándar. Estos se distribuyen normalmente, con media igual cero, desviación estándar igual uno y su resultado viene expresado en unidades de desviación estándar.

Para su interpretación en la tabla de contingencia, utilizando un nivel de confianza del 95 %, se emplea el criterio descrito por Rodríguez (2004) “que los residuos mayores de 1.96 (puntos z) indican una relación con más casos de los esperados (*positiva*) si las variables estudiadas fueran independientes; mientras, que los menores de -1.96 indican una relación con menos casos de los esperados (*negativa*) bajo la condición de independencia”.

Posteriormente, se calcularon los promedios anuales de todas las series temporales de las relaciones establecidas. Mediante el empleo del programa "TrendSoft" (Roura *et al.*, 2020) se aplicaron las pruebas estadísticas Wald-Wolfowitz, Spearman, Mann-Kendall y Pettitt a las series, determinando sus correlaciones, tendencias y puntos de cambios.

RESULTADOS

Relaciones estadísticas

Durante el estudio de las circulaciones atmosféricas se analizaron series de datos de tres áreas con distintas escalas espaciales: el hemisferio norte, la región de América del Norte y en la escala de impacto: las mitades occidental y oriental de Cuba. Las variables consideradas se describen en la [Tabla 1](#).

En la [Tabla 2](#) se presentan los valores de Chi-cuadrado, grados de libertad, coeficientes de contingencia e incertidumbre, por ciento de recuento esperado y recuento mínimo esperado, de los pares de variables que cumplen las condiciones impuestas para validar su contraste de hipótesis. La [Tabla 3](#) contiene la información completa de los contrastes de hipótesis realizados entre todas las variables estudiadas. La denominación de las variables utilizadas es la siguiente:

MEC: Mecanismos Elementales de Circulación

MRC: Macroprocesos Regionales de Circulación

GCA: Grupos de Circulación de la región América

GTC: Grupos de los Tipos de Circulación

TSS: Tipos de Situaciones Sinópticas

STSS: Subtipos de Situaciones Sinópticas

TCSS: Tipos Concatenados de Situaciones Sinópticas

OCC: Mitad occidental de Cuba

ORI: Mitad oriental de Cuba

En todos los casos los valores obtenidos de Chi-cuadrado de Pearson son muy superiores al valor crítico de su distribución tabulado, la medida de significación estadística arroja una probabilidad de rechazo de la hipótesis nula (H_0) de 0.00 menor a 0.05, lo que demuestra la incompatibilidad de los datos con la hipótesis de independencia.

El coeficiente de contingencia, como medida de la asociación entre ambas variables, arroja valores entre 0.43 para el contraste MEC-TSS OCC hasta 0.22 para el par GCA-TSS ORI, respectivamente. Es decir, relaciones de orden medio-bajo, cuyos mejores resultados se obtienen en los pares de variables que contienen las categorías elementales de clasificación y, por tanto, el mayor número de grados de libertad, lo que dificulta su análisis dado el gran volumen de combinaciones y comportamientos generados.

El coeficiente de incertidumbre, que refleja la reducción proporcional en el error cuando se utilizan valores de una variable para predecir valores de la otra variable, reduce el error entre un 2 % (GCA-TSS, GCA-STSS) y 5 % (MEC-TSS OCC) al pronosticar una de las variables.

Tabla 1. Escalas y niveles de las variables

Escalas	Variables	Niveles taxonómicos de las variables
Hemisferio Norte	MEC	Mecanismos Elementales de Circulación (Grupos MEC, Tipos MEC y Subtipos MEC)
Sector América del Norte	MRC	Macroprocesos Regionales de Circulación (Grupos GCA y Macroprocesos MRC)
Región Sinóptica que incluye a Cuba	TCSS	Tipos Concatenados de Situaciones Sinópticas (Grupos TCSS y Tipos TCSS)
Mitades occidental y oriental de Cuba	TSS	Tipos de Situaciones Sinópticas (Grupos TSS, Tipos TSS y Subtipos STSS)

Tabla 2. Resultados de la Prueba de Chi-cuadrado de Pearson

Variables comparadas	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Coef. de contingencia	Coef. de incertidumbre	% celdas con valor esperado < 5	Valor mínimo esperado $\neq 0$
MEC - TSS OCC	4095.254	287	0.43	0.05	5.7	2.23
MEC - TSS ORI	3551.007	287	0.40	0.04	12.8	1.38
MRC - TSS OCC	3036.398	56	0.38	0.05	0.0	22.30
MRC - TSS ORI	2597.853	56	0.35	0.04	0.0	13.91
GCA - TSS OCC	1120.5	14	0.24	0.02	0.0	43.06
GCA - TSS ORI	924.6	14	0.22	0.02	0.0	26.86
GCA - STSS OCC	1259.09	36	0.25	0.02	1.8	2.65
GCA - STSS ORI	1109.715	36	0.24	0.02	3.5	1.52

Tabla 3. Resumen de resultados de la prueba de Chi-cuadrado a pares de variables seleccionadas. Contiene los valores para los contrastes de hipótesis

Variables comparadas	Nro. Categ.	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Chi-cuadrado tabulado	Significación asintótica (bilateral)	Coef. de Contingencia	Coef. de Incertidumbre	% celdas con valor esperado < 5	Valor mínimo esperado
MEC - TSS OCC	41-8	4095.254	287	327.51	0.000	0.428	0.047	5.7	2.23
MEC - TSS ORI	41-8	3551.007	287	327.51	0.000	0.403	0.042	12.8	1.38
MEC - STSS OCC	41-19	4946.123	738	802.31	0.000	0.462	0.049	34.0	0.14
MEC - STSS ORI	41-19	4559.61	738	802.31	0.000	0.447	0.046	37.2	0.08
MEC - GTC	41-4	438.85	123	149.88	0.000	0.153	0.006	23.2	0.43
MEC - TCSS	41-44	6218.087	1763	1861.8	0.000	0.504	0.058	71.2	0.00
MRC - TSS OCC	9-8	3036.398	56	73.31	0.000	0.378	0.046	0.0	22.30
MRC - TSS ORI	9-8	2597.853	56	73.31	0.000	0.354	0.039	0.0	13.91
MRC - STSS OCC	9-19	3380.865	144	173	0.000	0.396	0.043	5.3	1.37
MRC - STSS ORI	9-19	3082.402	144	173	0.000	0.381	0.04	8.8	0.79
MRC - GTC	9-4	215.761	24	36.42	0.000	0.108	0.004	2.8	4.36
MRC - TCSS	9-44	3658.745	344	388.25	0.000	0.409	0.045	33.8	0.04
GCA - TSS OCC	3-8	1120.5	14	23.7	0.000	0.241	0.023	0.0	43.06
GCA - TSS ORI	3-8	924.6	14	23.7	0.000	0.22	0.019	0.0	26.86
GCA - STSS OCC	3-19	1259.09	36	50.99	0.000	0.254	0.02	1.8	2.65
GCA - STSS ORI	3-19	1109.715	36	50.99	0.000	0.24	0.018	3.5	1.52
GCA - GTC	3-4	89.274	6	12.59	0.000	0.07	0.003	0.0	8.42
GCA - TCSS	3-44	1280.213	86	108.65	0.000	0.257	0.02	19.7	0.08

Los contrastes de hipótesis presentados cumplen con las condiciones de un 80 % de recuentos esperados superiores a 5 y ningún recuento igual a cero, lo que garantiza que sean válidos; por lo que se puede afirmar que las variables estudiadas están estadísticamente relacionadas.

Para describir con claridad los resultados obtenidos, se considera el contraste con menos grados de libertad (14) en las tablas de contingencia aplicadas, no obstante es elevado el número de comportamientos generados como se verá en los epígrafes siguientes; donde se presentan los análisis de variabilidad multianual, residuos tipificados corregidos y tendencias entre los pares de categorías de las relaciones GCA-TSS, que muestran la asociación existente entre los tres grupos de circulaciones en América del Norte (GCA) y los ocho tipos de situaciones sinópticas (TSS) que influyen sobre las mitades occidental (OCC) y oriental (ORI) del país.

Los GCA I y IV (latitudinal del oeste y longitudinal del sur) están compuestos por los MEC con ausencia de bloqueos anticiclónicos y alcanzan una frecuencia acumulada del 56.9 % de los casos. Por su parte, el GCA III (longitudinal del norte) contiene los MEC con presencia de bloqueos anticiclónicos y ocurre en el otro 43.1 % durante el periodo 1970-2019, cuando ha predominado el GCA IV.

La presentación de las relaciones formadas con los GCA también se argumenta en la correspondencia de los procesos físicos asociados a las direcciones de los flujos de circulación atmosférica regional con las correlaciones estadísticamente significativas, obtenidas entre las anomalías de GCA I, III y IV (latitudinales del oeste, longitudinales del norte y longitudinales del sur) y las anomalías de la temperatura media global respectivamente, al nivel de confianza de 99 %.

Variabilidad multianual

Se presentan las anomalías anuales para las relaciones estadísticas entre las categorías de los grupos de circulaciones atmosféricas en América del Norte (GCA) y los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba (TSS). Para el análisis se emplea la formación ya mencionada de los grupos de circulación en América del Norte.

De forma general, se puede establecer que las anomalías de las relaciones entre las circulaciones latitudinales del oeste y todos los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba (GCA I - TSS) presentan un comportamiento positivo (121 días) en el comienzo del periodo de estudio (1970-1979). De 1980 hasta 2019 predominan las anomalías negativas que se acentúan hacia el final del periodo, en correspondencia con el decrecimiento experimentado por este grupo de circulaciones regionales (GCA I) durante los últimos 90 años hasta la actualidad. Los valores extremos de anomalías anuales positivas para todas las relaciones de GCA I con los TSS se presentan en 1977 y 1983 con 39 días, mientras, las negativas en 2015 con -19 días.

A diferencia de las anteriores, las anomalías en las relaciones de las circulaciones longitudinales del norte con los ocho TSS (GCA III - TSS) muestran un comportamiento oscilatorio en su variabilidad multianual. Estas inician con pequeñas variaciones entre 1970-1979, seguido por un periodo (1980-2001) de anomalías negativas (-507 días) con pico de -78 días como suma de todos los TSS en 1992; otros años con comportamiento extremo fueron: 1984 (-65), 1986 (-71) y 1989 (-69). Posteriormente, entre 2002 y 2019 predominan las anomalías positivas (471 días) con el valor máximo en 2009 de 67 días y la excepción marcada del año 2017 que presentó anomalías negativas (-21 días).

Las anomalías en las relaciones de las circulaciones longitudinales del sur con los TSS (GCA IV - TSS) también presentan un comportamiento oscilatorio, pero con signo inverso a las longitudinales del norte.

El periodo 1970-1979 es marcado por las anomalías negativas (-219 días), mientras, entre 1980-2001 las anomalías pasan a ser positivas (559 días) con máximo de 96 días en 1992; sin embargo, en el tercer periodo (2002-2019) retornan las anomalías negativas (-340 días) con el valor extremo en 2011 (-60 días).

A continuación, se analiza la ocurrencia de las anomalías anuales en las relaciones entre las categorías de GCA y TSS, es decir, relaciones de los grupos de circulación con cada tipo de situación sinóptica influyente en las mitades occidental y oriental de Cuba.

Mitad occidental

El GCA I en su relación con los TSS OCC (Fig. 1) afecta principalmente a la influencia del anticiclón continental migratorio (GCA I - TSS VIII), que aporta 45 días, seguido de los frentes fríos (GCA I - TSS VII) con 20 días y de la influencia del anticiclón subtropical oceánico con 19 días durante los primeros 10 años (1970-1979); predominando las pérdidas de días de ocurrencia en los restantes 36 años (1980-2019).

La relación de GCA III con los TSS OCC (Fig. 2) marca con mayor fuerza las anomalías de la influencia del flujo anticiclónico oceánico extendido (GCA III - TSS II), que presenta la mayor disminución en la frecuencia de ocurrencia para un periodo en la mitad occidental del país con -170 días entre 1980-2001 y aumenta 124 días de 2001 a 2019; seguido con un comportamiento similar por la influencia del anticiclón continental migratorio (GCA III - TSS VIII), que perdió 104 días entre 1980-2001 y aportó 146 días de 2002 a 2019.

También, son de interés las pérdidas sufridas por las relaciones de GCA III con las zonas de convergencia (GCA III - TSS V) y con los frentes fríos (GCA III - TSS VII) de -65 y -60 días respectivamente en el periodo 1980-2001, así como, el incremento de 64 días experimentado por la influencia del anticiclón subtropical oceánico (GCA III - TSS I) entre 2002-2019.

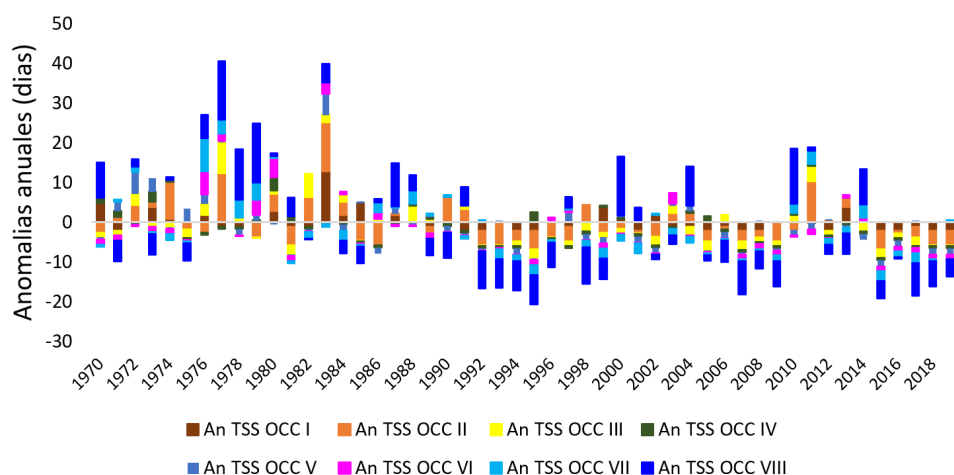


Figura 1. Anomalías anuales de las relaciones GCA I - TSS OCC

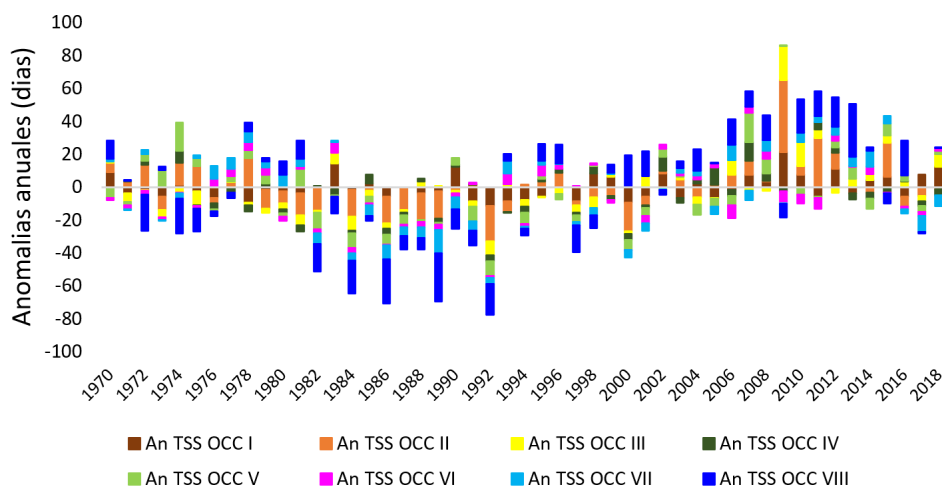


Figura 2. Anomalías anuales de las relaciones GCA III - TSS OCC

La relación de GCA IV con los TSS OCC (Fig. 3) impacta en primer lugar a la influencia del anticiclón migratorio (GCA IV - TSS VIII) que aporta el máximo incremento absoluto para un periodo de circulación con 247 días entre 1980-2001, los que fueron compensados en los periodos de anomalías negativas con -135 días entre 1970-1979 y con -112 días entre 2002-2019.

Otras afectaciones significativas corresponden a la relación con la influencia del anticiclón subtropical oceánico (GCA IV - TSS I) que disminuye -89 días durante la primera década e incrementa su presencia en 106 días entre 1980-2001. También, las relaciones con las zonas de convergencia (GCA IV - TSS V) que aumenta 63 días entre 1970-1979 y disminuye -82 días entre 2002-2019; así como, las relaciones establecidas con el flujo anticiclónico oceánico extendido (GCA IV - TSS II) que entre 2002-2019 disminuye -110 días.

Para la mitad occidental se resume que:

- Las relaciones de GCA I - TSS OCC se incrementaron entre 1970-1979, principalmente asociadas a la influencia del anticiclón continental migratorio. Posteriormente, su presencia disminuye.

- Las relaciones de GCA III - TSS OCC aumentaron en la primera década, asociadas al flujo anticiclónico oceánico extendido y las zonas de convergencia, mientras, disminuía su relación con el anticiclón continental migratorio. Entre 1980-2001 disminuye apreciablemente su frecuencia de ocurrencia en el flujo anticiclónico oceánico extendido, el anticiclón continental migratorio, las zonas de convergencia y los frentes fríos. Por el contrario, en el periodo 2002-2019 ocurren incrementos importantes asociados al anticiclón continental migratorio, el flujo anticiclónico oceánico extendido y el anticiclón subtropical oceánico.
- Las relaciones de GCA IV - TSS OCC presentan las mayores anomalías con signo negativo entre 1970-1979, relacionadas con el anticiclón continental migratorio y el anticiclón subtropical oceánico; mientras, tuvieron signo positivo con las zonas de convergencia y el flujo anticiclónico oceánico extendido. De 1980 a 2001 se generalizan las anomalías positivas con el valor extremo (247 días) asociado al anticiclón continental

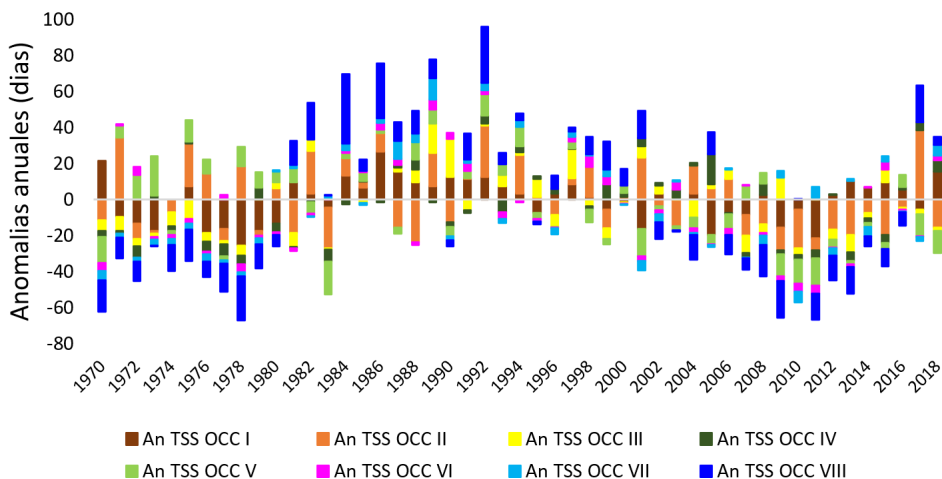


Figura 3. Anomalías anuales de las relaciones GCA IV - TSS OCC

migratorio, seguido por el anticiclón subtropical oceánico, el débil gradiente de presión y el flujo anticiclónico oceánico extendido. En el tercer periodo (2002-2019) abundan las anomalías negativas del anticiclón continental migratorio, el flujo anticiclónico oceánico extendido y las zonas de convergencia.

Mitad oriental

El GCA I en su relación con los TSS ORI (Fig. 4) afecta principalmente la influencia del flujo anticiclónico oceánico extendido (GCA I - TSS II), que incrementa 48 días y los frentes fríos (GCA I - TSS VII) con 29 días durante la primera década (1970-1979), disminuyendo la presencia de estas relaciones en los restantes 36 años (1980-2019).

La relación de GCA III con los TSS ORI (Fig. 5) impacta con mayor fuerza en las anomalías de la influencia del flujo anticiclónico oceánico extendido (GCA III - TSS II), que presenta la mayor disminución en la frecuencia de ocurrencia para un periodo de circulación en la mitad oriental del país con -259 días entre 1980-2001, los que se compensan en los periodos con anomalías positivas: 137 días entre 1970-1979 y 122 días de 2002 a 2019.

Otros TSS ORI con variaciones importantes de su frecuencia de ocurrencia en sus relaciones con GCA III son: la zona de convergencia (GCA III - TSS V) que recupera los 88 días perdidos con anterioridad, la influencia del anticiclón continental migratorio (GCA III - TSS VIII) con 68 días y la influencia de débiles gradientes de presión (GCA III - TSS III) con 64 días, todos en el periodo 2002-2019.

La relación de GCA IV con los TSS ORI (Fig. 6) deja su huella fundamentalmente en la influencia del anticiclón migratorio (GCA IV - TSS VIII), que logra el mayor incremento para un periodo en la mitad oriental del país con 212 días durante 1980-2001, los que fueron compensados en los periodos de anomalías negativas con -103 días entre 1970-1979 y -109 días entre 2002-2019.

También, es de particular interés la relación con la influencia del flujo anticiclónico oceánico extendido (GCA IV - TSS II) que presenta el primer incremento notable en las anomalías de TSS durante el periodo de estudio, que acumula 144 días entre 1970-1979; posteriormente, pierde -157 días en el periodo 2002-2019.

Otras afectaciones corresponden a la variación encontrada en la relación de GCA IV con la influencia de débiles gradientes de presión (GCA IV - TSS III)

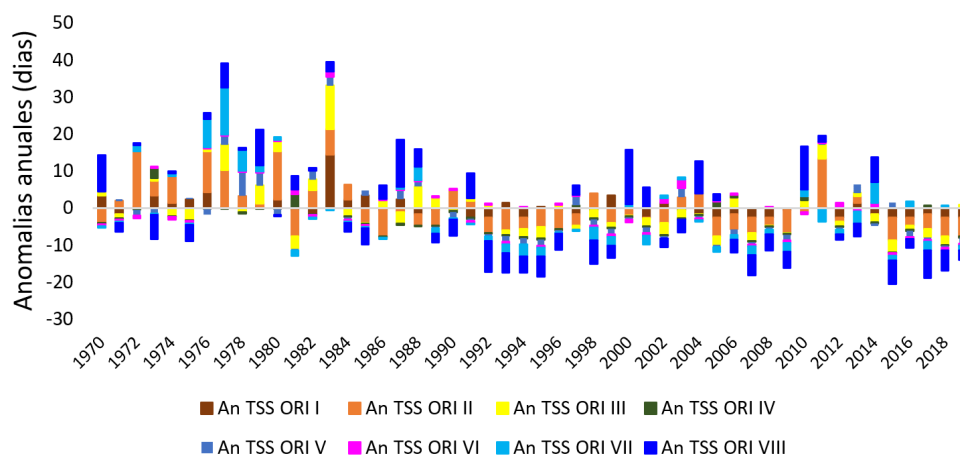


Figura 4. Anomalías anuales de las relaciones GCA I - TSS ORI

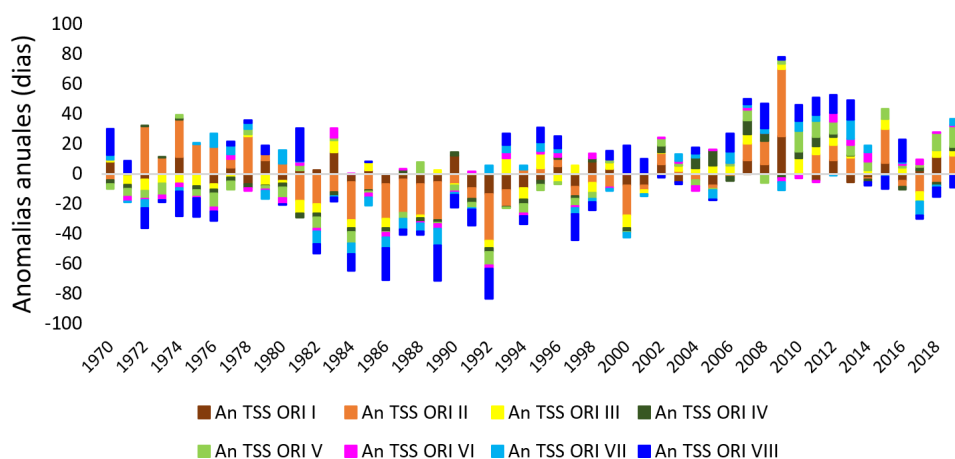


Figura 5. Anomalías anuales de las relaciones GCA III - TSS ORI

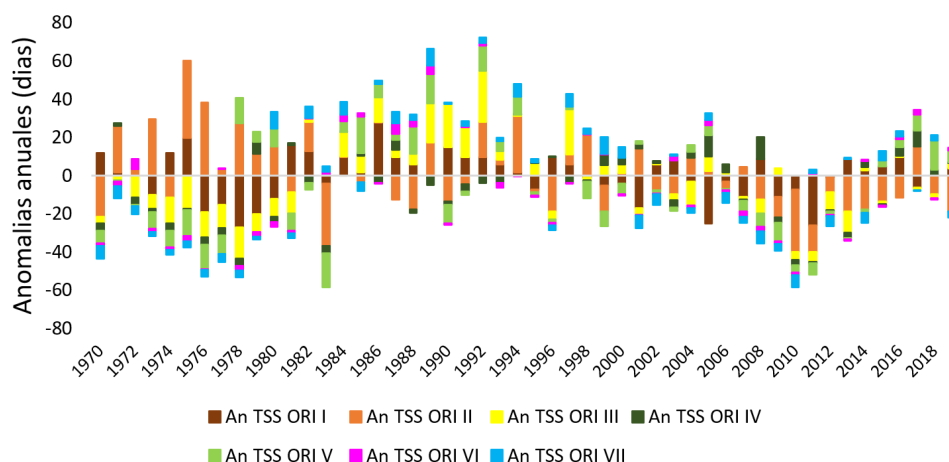


Figura 6. Anomalías anuales de las relaciones GCA IV - TSS ORI

que sufrió pérdidas de -106 días en la década inicial de las series y aumentó 148 días entre 1980-2001; mientras, la influencia del anticiclón subtropical oceánico (GCA IV -TSS I) incrementa 89 días entre 1980-2001.

Para la mitad oriental se resume que:

- Las relaciones de GCA I - TSS ORI tienen los principales incrementos en el primer periodo con participación del flujo anticiclónico oceánico extendido y los frentes fríos. Posteriormente, su presencia disminuye rápidamente.
- Las relaciones de GCA III - TSS ORI comienzan con decrementos en la influencia del débil gradiente de presión y las zonas de convergencia, pero se incrementa el flujo anticiclónico oceánico extendido. Entre 1980-2001 se generalizan las anomalías negativas hasta alcanzar el valor extremo (-259 días) con el flujo anticiclónico oceánico extendido, seguido por el anticiclón subtropical oceánico, el anticiclón continental migratorio y las zonas de convergencia. De 2002 a 2019 ocurren anomalías positivas que permiten una recuperación importante en el flujo anticiclónico oceánico extendido, las zonas de convergencia, el anticiclón continental migratorio y el débil gradiente de presión.
- Las relaciones de GCA IV - TSS ORI presentan el primer incremento notable para el flujo anticiclónico oceánico extendido, mientras, ocurren pérdidas del débil gradiente de presión y el anticiclón continental migratorio en el primer periodo. En el segundo periodo crecen las anomalías positivas con el anticiclón continental migratorio, el débil gradiente de presión y el anticiclón subtropical oceánico. En los años finales las anomalías son negativas asociadas al flujo anticiclónico oceánico extendido, el anticiclón continental migratorio y el anticiclón subtropical oceánico.

Las anomalías positivas de las circulaciones meridionales del sur (GCA IV) con los TSS anticiclónicos (TSS I, II y VIII), que dominan los valores acumulados por periodos, se observan desde la década de 1970 en el oriente del país, con máximo absoluto anual en 1975, adelantándose al occidente que comienzan en los años 80 y logran el máximo absoluto en 1992. Mientras, las meridionales del norte (GCA III) muestran crecimiento durante las primeras décadas del siglo XXI y presentan su máximo absoluto en 2009 para ambas regiones.

Los análisis de relaciones entre variables empleando valores medios, porcentuales u otros y sus variaciones, permiten conocer las contribuciones de las categorías de cada variable a la relación entre ellas, aportando nuevos conocimientos sobre el papel de las circulaciones atmosféricas en la formación del clima regional. Sin embargo, al obtener los resultados en las unidades físicas de las variables contrastadas, no es posible la comparación de estas relaciones con otras obtenidas del contraste de variables con otras dimensiones físicas.

Residuos tipificados corregidos

Para estudiar el signo, el orden y determinar la significación estadística de las relaciones entre las categorías de las dos variables nominales contrastadas (GCA-TSS), es decir, entre cada grupo de circulación a escala del continente América del Norte y los tipos de situaciones sinópticas influyentes en las mitades occidental y oriental de Cuba, se calculan los residuos tipificados corregidos.

Mitad occidental

Para las circulaciones latitudinales del oeste (GCA I) solo la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII) presenta una relación significativa con signo positivo, mientras, la influencia del anticiclón subtropical oceánico,

el flujo anticiclónico extendido, los ciclones tropicales y las zonas de convergencia (TSS I, II, IV y V) poseen una relación significativa con signo negativo.

Las relaciones con las situaciones de débil gradiente de presión (TSS III), las bajas extratropicales (TSS VI) y los frentes fríos (TSS VII) no son significativas.

Las circulaciones longitudinales del norte y del sur (GCA III y IV) logran relaciones significativas con todos los TSS, expresando un cambio de signo simétrico entre los TSS de génesis tropical (I, II, III, IV y V) y los extratropicales (VI, VII y VIII).

Las relaciones de GCA III son de signo positivo con el anticiclón continental migratorio (TSS VIII), los frentes fríos (TSS VI) y las bajas extratropicales (TSS VI), mientras, con el anticiclón subtropical oceánico (TSS I), las zonas de convergencia (TSS V), el flujo anticiclónico oceánico extendido (TSS II), los ciclones tropicales (TSS IV) y el débil gradiente de presión (TSS III) son de signo negativo; en ambos casos con valores descendentes en ese orden. Las relaciones de GCA IV se presentan con signos inversos y orden idéntico (Fig. 7).

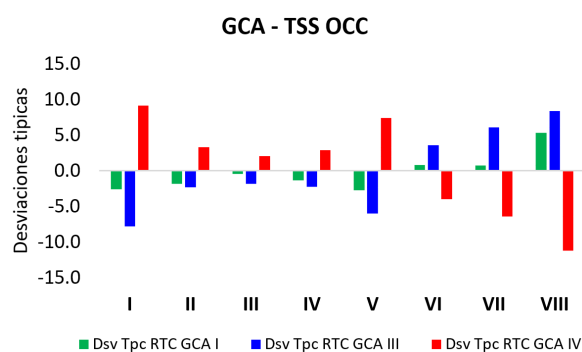


Figura 7. Valores de desviaciones típicas de los residuos tipificados corregidos respecto a la media en las relaciones GCA - TSS OCC

La relación con mayor orden, de todas las estudiadas entre las categorías de circulaciones y tipos de situaciones sinópticas influyentes en ambas mitades del país, posee signo negativo y se establece entre las circulaciones longitudinales del sur y el anticiclón continental migratorio (GCA IV -TSS VIII), cuyo orden expresado mediante la división del residuo tipificado corregido entre el valor crítico esperado ($z=1.96$) para un intervalo de confianza del 95 % es -11.2 desviaciones estándar (ds).

Tal magnitud de la desviación estándar se explica porque existe una relación natural en los procesos físicos de la atmósfera que inhibe la ocurrencia del TSS VIII bajo la influencia del GCA IV. Durante el tránsito oeste-este de los anticiclones continentales al norte de Cuba, ocurre un proceso de transformación termodinámica en la masa de aire proveniente del continente hasta que se integra armónicamente al anticiclón subtropical oceánico.

Cuando el flujo de retorno del anticiclón continental migratorio sobre Cuba llega a ser longitudinal del sur, ya no representa a la masa de aire continental y, por tanto, clasifica como TSS I o II.

Por igual motivo, aparece segunda, con signo positivo, la asociación del mismo GCA IV con el anticiclón subtropical oceánico (GCA IV - TSS I); mientras, que como tercera se posiciona la asociación entre el grupo longitudinales del norte y el anticiclón continental migratorio (GCA III -TSS VIII), que se alejan 9.1 y 8.3 ds del valor medio esperado.

La cuarta relación en orden descendente es la asociación de signo negativo entre las longitudinales del norte y el anticiclón subtropical oceánico (GCA III - TSS I) con -7.8 ds; mientras, la quinta y sexta son las relaciones de signo positivo entre: las longitudinales del sur y las zonas de convergencia (GCA IV - TSS V) con 7.4 ds y las longitudinales del norte con los frentes fríos (GCA III - TSS VII) que alcanza un orden de 6.1 ds.

Estos resultados para la mitad occidental de Cuba ratifican conceptos ya establecidos en la climatología sinóptica del país. Los principales flujos de aire frío que llegan desde el norte ocurren, por orden de prioridad, asociados a la influencia de los anticiclones continentales y de los sistemas frontales. No aparecen como relevantes las bajas extratropicales que generan esos sistemas frontales, porque se ubican hacia el norte lejos de Cuba, quedando la región occidental fuera de sus isobaras cerradas.

La advección cálida asociada a los flujos de región sur está definitivamente ligada al flujo de retorno del anticiclón subtropical oceánico y a la incidencia de las zonas de convergencia, pero este comportamiento cambia de manera notable en la mitad oriental de Cuba.

Mitad oriental

En esta mitad del país se rompe la simetría establecida en occidente entre las relaciones de las circulaciones longitudinales (norte y sur) con los TSS. El TSS III (débil gradiente de presión) no logra establecer relación significativa con ningún grupo de circulación atmosférica regional; tampoco, lo logra el ciclón tropical (TSS IV) con las longitudinales del norte y las bajas extratropicales (TSS VII) con las latitudinales del oeste. Sin embargo, las circulaciones latitudinales del oeste (GCA I) logran asociación significativa de signo positivo con la influencia del anticiclón continental migratorio (TSS VIII) y los frentes fríos (TSS VII).

Las relaciones de GCA III son de signo positivo con el anticiclón continental migratorio (TSS VIII), los frentes fríos (TSS VII) y las bajas extratropicales (TSS VI), mientras, son de signo negativo con el anticiclón subtropical oceánico (TSS I),

las zonas de convergencia (TSS V) y el flujo anticiclónico oceánico extendido (TSS II); en ambos casos con valores descendentes en ese orden. Las relaciones de GCA IV se presentan con signos inversos y orden idéntico, adicionando en último lugar con signo positivo a los ciclones tropicales (TSS IV).

Como similitud al comportamiento en occidente, podemos decir que la asociación de mayor orden también posee signo negativo, y se establece entre las circulaciones longitudinales del sur y el anticiclón continental migratorio (GCA IV -TSS VIII) con -9.4 veces la desviación estándar (Fig. 8).

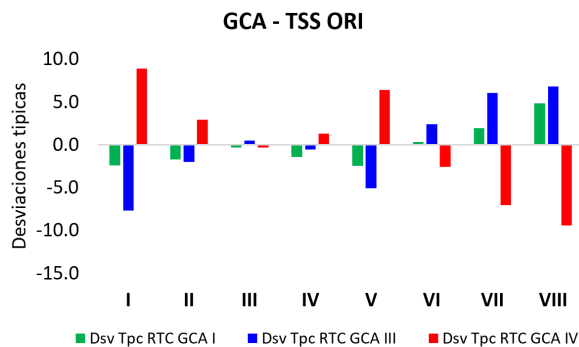


Figura 8. Valores de desviaciones típicas de los residuos tipificados corregidos respecto a la media en las relaciones GCA - TSS ORI

Como diferencia, que la segunda y tercera relaciones son las establecidas por las circulaciones longitudinales del sur y del norte con el anticiclón subtropical oceánico (GCA IV - TSS I) y (GCA III - TSS I), de signo positivo con 8.9 ds y signo negativo con -7.7 ds, respectivamente.

También, con signos positivos aparecen la cuarta, quinta y sexta asociaciones: entre las longitudinales del norte y el anticiclón continental migratorio (GCA III - TSS VIII) con 6.8 ds; las longitudinales del sur y las zonas de convergencia (GCA IV - TSS V) con 6.4 ds, y las longitudinales del norte con los frentes fríos (GCA III - TSS VII) que alcanza un orden de 6.1 ds, esta última de valor idéntico a occidente.

Es relevante que la relación con mayor orden obtenida, de todas las estudiadas entre las categorías de circulaciones y los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre ambas mitades del país, posea signo negativo y se establezca entre las circulaciones longitudinales del sur y el anticiclón continental

migratorio, como demostración de la magnitud que ya alcanzan las circulaciones longitudinales del sur, capaces de inhibir la influencia de los procesos extratropicales sobre Cuba.

También resulta ilustrativo, que los primeros valores notables de las anomalías positivas de las circulaciones longitudinales del sur con los TSS anticiclónicos se observaron en el oriente del país durante la década de 1970, adelantándose una década al occidente, donde las anomalías positivas comienzan en los años 80.

Tendencias

Los resultados para la mitad occidental de Cuba se presentan en la [Tabla 4](#), que contiene las series para las que se determinó la existencia de tendencias y su punto de cambio en el período 1970-2019.

Las relaciones con tendencia significativa creciente determinada y punto de cambio en 1998 están marcadas por las circulaciones longitudinales del norte con las situaciones de débiles gradientes de presión atmosférica (GCA III-TSS III) y con la influencia del anticiclón continental migratorio (GCA III-TSS VIII), siendo esta última, la única relación con tendencia significativa que involucra a un TSS anticiclónico, resultado relevante dado el predominio que tienen sobre Cuba, en todas las estaciones del año, los tres tipos de situaciones sinópticas anticiclónicas (TSS I, II y VIII) definidos por [Lapinel \(1987\)](#).

Ambas asociaciones corresponden a las situaciones que provocan los comportamientos medios mínimos y máximos de la rapidez del viento en esta parte del país, respectivamente.

Los resultados de los cálculos para la mitad oriental están en la [Tabla 5](#). Se determinó tendencia significativa creciente a cinco relaciones establecidas. De ellas, cuatro contienen las circulaciones longitudinales del norte, que se asocian con: el débil gradiente de presión (GCA III-TSS III), los ciclones tropicales (GCA III-TSS IV), las zonas de convergencia (GCA III-TSS V) y las bajas extratropicales (GCA III-TSS VI). La restante relaciona las circulaciones longitudinales del sur con los ciclones tropicales (GCA IV-TSS IV).

En la mitad oriental de Cuba, los ciclones tropicales presentan tendencia significativa creciente con las circulaciones longitudinales del norte y del sur,

Tabla 4. Tendencias de las relaciones GCA - TSS OCC

Relaciones GCA - TSS OCC	Descripción del proceso	Significación estadística < 0.05	Tendencia (Mann-Kendall)	Puntos de cambio (Pettitt)
GCA III - TSS III	Longitudinal del norte con Débil gradiente de presión	0.003	Existe tendencia significativa creciente	1998
GCA III - TSS VIII	Longitudinal del norte con Anticiclón migratorio	0.002		

Tabla 5. Tendencias de las relaciones GCA - TSS ORI

Relaciones GCA - TSS ORI	Descripción del proceso	Significación estadística < 0.05	Tendencias (Mann-Kendall)	Ptos de cambio (Pettitt)
GCA III - TSS III	Longitudinal norte con Débil gradiente de presión	0.000	Existe tendencia	2002
GCA III - TSS IV	Longitudinal norte con Ciclón tropical	0.002	significativa creciente	1995
GCA III - TSS V	Longitudinal norte con Zona de convergencia	0.000		1998
GCA III - TSS VI	Longitudinal norte con Baja extratropical	0.005		1992
GCA IV - TSS IV	Longitudinal sur con Ciclón tropical	0.003		1997

aunque, se debe aclarar que no obstante la existencia de tendencia determinada en las series de datos, las relaciones específicas de las circulaciones longitudinales del norte (GCA III) con el débil gradiente (TSS III) y el ciclón tropical (TSS IV), no son estadísticamente significativas como quedó establecido en el epígrafe anterior.

Ninguno de los cuatro tipos de situaciones sinópticas relacionadas con el GCA III y con tendencia significativa creciente es anticiclónico, lo que corrobora el resultado obtenido por [Lecha et al. \(2024b\)](#), sobre la variación sinóptico-climática subestacional de signo contrario observada entre las dos mitades de Cuba, dicho en otras palabras: *está indicando una diferencia creciente de las características climáticas del occidente cubano con respecto a su parte oriental, justificada por la disminución significativa de la influencia de los procesos sinópticos extratropicales que llegan al oriente de Cuba, cuyo clima actual se va pareciendo más al de República Dominicana y Puerto Rico.*

También, lo señalado por [Lecha \(2018\)](#) sobre “la profunda penetración del aire tropical cálido y húmedo en las zonas continentales de América del Norte durante el verano ha aumentado en los últimos años, pero el proceso inverso: la llegada de masas de aire continental frío y poco húmedo a latitudes tropicales durante el invierno ha sido menos frecuente”. Estos cambios en la dinámica estacional de la circulación atmosférica regional son consistentes con el impacto del calentamiento global y pueden tener importantes consecuencias para la vida, la sociedad y la economía en el país.

CONCLUSIONES

La relación significativa de mayor orden, para un intervalo de confianza del 95 %, posee signo negativo y se establece entre las circulaciones longitudinales del sur y la influencia del anticiclón continental migratorio (GCA IV - TSS VIII), en la mitad occidental con -11.2 y en la oriental con -9.4 desviaciones típicas, respectivamente; lo que explica la magnitud alcanzada por las circulaciones longitudinales del sur, capaces de inhibir la influencia de los procesos extratropicales sobre Cuba.

Los primeros valores notables de las anomalías positivas en las relaciones de las circulaciones longitudinales del sur con los TSS anticiclónicos se observaron en el oriente del país durante la década de 1970, adelantándose una década al occidente, donde las anomalías positivas comienzan en los años 80.

En la mitad occidental de Cuba, las circulaciones longitudinales del norte y del sur (GCA III y GCA IV) logran relaciones significativas con todos los TSS, expresando un cambio de signo entre los TSS de génesis tropical (I, II, III, IV y V) y los extratropicales (VI, VII y VIII). Las situaciones de débil gradiente de presión (TSS III), las bajas extratropicales (TSS VI) y los frentes fríos (TSS VII) no logran relaciones significativas con las latitudinales del oeste (GCA I). Se determina tendencia significativa creciente en las relaciones entre las circulaciones longitudinales del norte con el TSS III débil gradiente y con el TSS VIII anticiclón continental migratorio.

En la mitad oriental, se rompe la simetría establecida en occidente entre las relaciones de las circulaciones longitudinales (norte y sur). El TSS III (débil gradiente de presión) no logra establecer relación significativa con ningún grupo de circulación atmosférica regional; tampoco, lo logra el ciclón tropical (TSS IV) con las longitudinales del norte, ni las bajas extratropicales (TSS VII) con las latitudinales del oeste. Existe tendencia significativa creciente en las relaciones entre las circulaciones longitudinales del norte (GCA III) y los TSS no anticiclónicos (III, IV, V y VI), mientras, las circulaciones longitudinales del sur solo presentan tendencia en su relación con los ciclones tropicales (GCA IV-TSS IV).

REFERENCIAS

- Dzerdzeevskii, B.L. (1962). Fluctuation of climate and of general circulation of the atmosphere in extra-tropical latitudes of the Northern Hemisphere and some problems of dynamic climatology. *Tellus*, 14(3): 328-336.
- Dzerdzeevskii, B.L. (1968). Los mecanismos de la circulación de la atmósfera en el hemisferio norte en el siglo XX [en ruso]. *Resultados de Investigaciones durante el Año Geofísico Internacional. Circulación Atmosférica*. Ed. Instituto Geografía, A.C. de la URSS, Moscú.
- Hoel, P. (1972). Introducción a la Estadística Matemática. Ed. Revolucionaria, 471 p.

- Lapinel, B. (1987). La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba [inédito]. Tesis en opción del grado de Dr. en Ciencias Geog. Instituto de Meteorología, La Habana; 147 p.
- Lecha, L. (2018). Biometeorological forecasts for health surveillance and prevention of meteor-tropic effects. *Inter. Jour. Biomet.*, Special Issue, 62(5): 733-740. DOI 10.1007/s00484-018-1544-0.
- Lecha, L., Soler, E., Sánchez, L. y Verdecia, Y. (2024a). La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 2: El Catálogo de los tipos de situaciones 1970-2022. *Rev. Cub. Meteorología*, 30(1): enero-marzo. ISSN 2664-0880.
- Lecha, L., Soler, E., Sánchez, L., Verdecia, Y. y Roura, P. (2024b). La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 3: Características climáticas de los grupos, tipos y subtipos de situaciones (1970-2022). *Rev. Cub. Meteorología*, 30(2), abril-junio. ISSN: 2664-0880.
- Roura, P., Arenas, J. C., Sistachs, V. y Díaz, D. (2020). TrendSoft: Software para el análisis de tendencia y puntos de cambio de variables climatológicas. *Rev. Cub. Meteorología*, 26(3), julio-septiembre: 1-16. ISSN: 2664-0880.
- Rodríguez, R. J. (2004). Ayudas SPSS. Chi-cuadrado. Notas Metodológicas. 19 p. https://academia.edu/keypass/Ayuda_SPSS_Chi_cuadrado_Notas_Metodologicas
- Sávina, S.S. y Khmelevskaya, L.V. (1984). La Circulación de la Atmósfera. Dinámica de los procesos de la circulación atmosférica durante el siglo XX [en ruso]. En: *Materiales de las Investigaciones Meteorológicas*, 9. Ed. Comité Geofísico de la URSS e Instituto Geografía, AC de la URSS, Moscú, 116 p.
- Soler, E., Sánchez, L., Lecha, L. y Verdecia, Y. (2020). Los mecanismos elementales de circulación en América del Norte y su relación con las situaciones sinópticas que influyen sobre la mitad occidental de Cuba. *Rev. Cub. Meteorología*, 26(sp): 1-18 ISSN: 2664-0880.
- Soler, E., Lecha, L. y Roura, P. (2025). Comportamiento de los procesos regionales de la circulación atmosférica que influyen sobre América del Norte desde finales del siglo XIX. *Rev. Cub. Meteorología*, 31(2), abril-junio, 1-12. ISSN: 2664-0880.