

La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 4: El comportamiento de los tipos concatenados de situaciones (1970-2022)



<https://cu-id.com/2377/v31n3e10>

Synoptic climatology in Cuba. Part 4: The behavior of concatenated types of situations (1970-2022)

✉Edgardo Soler Torres*, ✉Luis B. Lecha Estela, ✉Yuslandis Verdecia Naranjo

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

RESUMEN: La clasificación de los Tipos de Situaciones Sinópticas que afectaron las mitades occidental y oriental de Cuba en el periodo 1970-2022 fue la base para elaborar la climatología de los tipos concatenados de situaciones sinópticas que influyen sobre el archipiélago cubano y zonas marinas adyacentes, mediante la combinación de los códigos de ambas regiones que cumplen los principios de clasificación. El objetivo del trabajo es describir las principales características climáticas de los procesos atmosféricos que contienen la combinación de las situaciones sinópticas influyentes, su variabilidad multianual, marcha anual y anomalías. También, se calcularon las tendencias de varios tipos concatenados, y se elaboraron objetivamente los mapas que muestran los principales cambios observados en los patrones isobáricos regionales, representativos de los tipos concatenados con tendencia significativa, aportando nuevos conocimientos sobre los desplazamientos que están ocurriendo en la posición media de los centros de bajas presiones sobre el mar Caribe y Cuba durante el pico de la temporada ciclónica; así como, la génesis de los cambios observados en el comportamiento de los sistemas frontales, el aumento de los débiles gradientes de presión atmosférica y la disminución de la duración del período invernal en Cuba. Por último, se establecen tres intervalos o períodos de años, caracterizados por el predominio de distintos grupos de tipos concatenados, asociados con los mecanismos de la circulación general de la atmósfera influyentes sobre América del Norte.

Palabras Clave: cambios y tendencias en el clima, climatología sinóptica de Cuba, tipos concatenados de situaciones sinópticas.

ABSTRACT: The classification of the Types of Synoptic Situations that affected the western and eastern halves of Cuba in the period 1970-2022 was the basis for developing the climatology of the concatenated types of synoptic situations that influence the Cuban archipelago and adjacent marine areas, by combining the codes of both regions that meet the classification principles. The objective of the work is to describe the main climatic characteristics of the atmospheric processes that contain the combination of influential synoptic situations, their multiannual variability, annual march and anomalies. In addition, the trends of several concatenated types were calculated, and maps were objectively prepared showing the main changes observed in regional isobaric patterns, representative of the concatenated types with a significant trend, providing new knowledge about the displacements that are occurring in the average position of the low pressure centers over the Caribbean Sea and Cuba during the peak of the hurricane season, as well as the genesis of the observed changes in the behavior of frontal systems, the increase in weak atmospheric pressure gradients, and the decrease in the length of the winter period in Cuba. Finally, three intervals or periods of years are established, characterized by the predominance of distinct groups of concatenated types, associated with the mechanisms of the general atmospheric circulation that influence North America.

Keywords: changes and trends in the climate, concatenated types of synoptic situations, synoptic climatology of Cuba.

INTRODUCCIÓN

La Climatología Sinóptica ha experimentado una profunda renovación metodológica e instrumental desde los años 80 del pasado siglo XX, aunque descansa en un principio fundamental: *si bien la atmósfera se manifiesta en forma de procesos únicos y singulares,*

algunos de sus rasgos se repiten, incluso con regularidad, como consecuencia de las interrelaciones entre los componentes del sistema climático. Estos rasgos en gran medida definen el clima de cada región y son el interés de la Climatología Sinóptica, no sus variadas manifestaciones locales (Rasilla y García, 2007).

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

Recibido: 03/12/2024

Aceptado: 24/08/2025

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

Contribución de los autores: Elaboración del artículo, conceptualización, metodología, investigación, redacción, revisión y corrección del artículo: Edgardo Soler Torres y Luis B. Lecha Estela tuvieron una contribución equivalente.

Conservación de datos, investigación, visualización de mapas y revisión del texto: Yuslandis Verdecia Naranjo

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 el contexto cubano, la segunda década del presente siglo XXI ha visto nuevos estudios sobre la Climatología Sinóptica regional, enfocados en la búsqueda y descripción de relaciones objetivas, con base estadística, entre las circulaciones atmosféricas regionales y los elementos del clima local (Soler *et al.*, 2020). La mayoría de las investigaciones recientes aplican la clasificación de los tipos de situaciones sinópticas (TSS) establecida por Lapinel (1987).

Recientemente, se han realizado publicaciones sobre la climatología de los TSS (Lecha *et al.* 2024a; 2024b), empleando la clasificación diaria de Lapinel (1987), actualizada y ampliada a una serie larga de 53 años (1970-2022). Sin embargo, estos resultados están basados en la dinámica día tras día de los TSS en las dos mitades del país y no brindan una caracterización sinóptico-climatológica integral y sincrónica del archipiélago cubano, como una sola entidad geográfica.

El propósito del presente trabajo es lograr una representación coherente y completa de los procesos sinópticos que influyen sobre Cuba, a partir de aplicar el procedimiento deductivo elaborado por Rasilla y García (2007), que permite definir los tipos concatenados de situaciones sinópticas (TCSS) como: *la concatenación de los tipos de situaciones sinópticas que influyen sincrónicamente cada día sobre las mitades occidental y oriental de Cuba*, los cuales pueden ser agrupados a partir de su influencia en zonas geográficas adyacentes y evaluados desde el punto de vista climatológico-sinóptico, según su frecuencia de ocurrencia y las características de determinados atributos físicos homogéneos.

El análisis de los TCSS aporta un enfoque novedoso sobre las características integradas, cambios y tendencias de los procesos sinópticos que influyen sobre todo el archipiélago cubano y zonas marinas adyacentes, incluyendo la descripción de los patrones isobáricos más representativos en superficie.

Por último, se establecen las épocas del año en que predominan algunos grupos de TCSS sobre la región sinóptico-natural que incluye a Cuba y su asociación con los macroprocesos de la circulación general de la atmosfera influyentes sobre América del Norte y el mar Caribe.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fuente fundamental de información fue la nueva base de datos de los TCSS, elaborada a partir del Catálogo de los TSS que influyen sobre las mitades occidental y oriental de Cuba (Lecha *et al.*, 2024a), con actualización diaria para el periodo 1970-2022.

En los trabajos previos los ocho tipos de situaciones sinópticas se identifican mediante números romanos (I, II, ... VIII). Ahora, los nuevos TCSS serán identificados con pares de números ordinales tradicionales del 1 al 8, siendo sus valores sincrónicos diarios (X & Y), donde: X es el valor del tipo occidental, Y es el número del tipo oriental, y se reservan los números romanos para los grupos de TCSS que se definen más adelante.

Los tipos concatenados de situaciones sinópticas pueden tener valores idénticos o diferentes. Por ejemplo, cuando sobre ambas mitades de Cuba se aprecia la influencia cercana del anticiclón oceánico, el TCSS sería (11), pero si sobre occidente influye un sistema frontal y en la mitad oriental influyen gradientes débiles, entonces el TCSS sería (73). Los nuevos TCSS se definen por la combinación numérica de los ocho tipos de situaciones sinópticas principales, como muestra la [Tabla 1](#).

Después de efectuada la clasificación de los TCSS, se aplicaron tablas de contingencia para calcular las frecuencias de ocurrencia de todas las combinaciones posibles de TCSS, que caracterizan la influencia de los procesos sinópticos regionales sobre todo el país, lo cual arroja un total de 64 combinaciones (8 x 8). De ellas, solo 44 cumplen los principios de clasificación y son factibles de observar en la realidad, por lo que sus frecuencias de ocurrencia respectivas son la base para el análisis climatológico realizado.

Las tendencias fueron determinadas para todos los TCSS y grupos formados, utilizando el programa de computación TrendSoft (Roura *et al.*, 2020), mediante la aplicación de las pruebas estadísticas de Wald-Wolfowitz, Spearman, Mann-Kendall y Pettitt a estas series temporales.

Los mapas medios representativos de los tipos concatenados de situaciones sinópticas con una tendencia significativa y bien establecida

Tabla 1. Formación de los códigos que identifican a los nuevos TCSS

Tipos	Descripción de los TSS	Ejemplos de TCSS (occidente & oriente)	Códigos de TCSS
I	Influencia cercana del anticiclón oceánico.	I & I	11
II	Influencia lejana del anticiclón oceánico (flujo extendido).	II & II	22
III	Débil gradiente de presión.	III & V	35
IV	Influencia de ciclón tropical	IV & I	41
V	Influencia de ondas y vaguadas	V & III	53
VI	Influencia de bajas extratropicales	VI & II	62
VII	Influencia de sistemas frontales	VII & VI	76
VIII	Influencia de anticiclones continentales migratorios	VIII & VII	87

estadísticamente, fueron elaborados mediante el algoritmo disponible para la construcción de mapas medios del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP en inglés) de los Estados Unidos.

Las series de casos fueron estratificadas a partir del año con punto de cambio, determinado según el test de Pettitt para ese TCSS. En los casos con datos disponibles se calcularon mapas promedios mensuales de los TCSS para los casos ocurridos antes del año de punto de cambio y mapas para los casos ocurridos después del año de punto de cambio.

RESULTADOS

Los Tipos Concatenados de Situaciones Sinópticas

Los tipos concatenados formados por la combinación de las clasificaciones de los tipos de situaciones sinópticas de las mitades occidental y oriental del país en el mismo día, representan la naturaleza de los procesos atmosféricos reales que influyen sincrónicamente, y tienen en sí mismos, la causa de sus cambios. El procedimiento de tabla de contingencia aplicado a la base de datos de los TCSS para el período de 1970 a 2022 generó 64 combinaciones posibles de los TSS en ambas mitades del país. De ellas, 20 no son compatibles con los principios básicos de clasificación de los TSS (Lecha *et al.*, 2024a), por lo que se les asignó el valor cero.

Las 44 combinaciones restantes constituyeron los tipos concatenados de situaciones sinópticas ocurridos en Cuba en el periodo desde el 1 de enero de 1970 hasta el 31 de diciembre de 2022, formados por los pares sincrónicos (occidente & oriente) de los tipos de situaciones sinópticas. De estos resultados fue posible, identificar los TCSS y sus agrupaciones más representativas, realizar el cálculo de las frecuencias de ocurrencia y de sus comportamientos temporales, llegando a establecer cuatro grupos principales de TCSS, identificados como: Predominantes, Estacionales, Eventuales y Excepcionales, que contienen: cinco, 13, 16 y 10 TCSS, respectivamente (Tabla 2).

El Grupo I: Los TCSS Predominantes (Frecuencia ≥ 5.0 %)

Determina el clima del archipiélago cubano, acumulando el 65.2 % de los casos en el periodo, con una media de 238 días anuales.

Está dominado por los procesos anticiclónicos (subtropicales y migratorios), que alcanzan el 70 % de las situaciones sinópticas representadas en el grupo.

Las descripciones de los cinco pares de TSS que forman el Grupo I son: la influencia anticiclónica subtropical oceánica (11); la influencia del flujo anticiclónico subtropical extendido (22); el predominio de las situaciones de débil gradiente de presión atmosférica (33); la influencia del anticiclón continental migratorio en occidente con un sistema frontal sobre oriente (87) y la influencia del anticiclón continental migratorio (88) sobre toda Cuba.

El 80 % de los casos del grupo Predominantes está caracterizado por pares de TSS idénticos en ambas mitades del país, excepto el TCSS 87, que presenta la menor frecuencia de ocurrencia para este grupo con el 5.4 %, siendo el único formado por diferentes TSS para las mitades occidental y oriental. El grupo no posee situaciones que contengan ciclones tropicales, vaguadas y bajas extratropicales. El TCSS 22 es el más frecuente con el 36.0 % de los casos del grupo y el 23.4 % de toda la muestra.

El Grupo II: Los TCSS Estacionales (Frecuencia entre 1.1 % y 4.9 %)

Los TCSS Estacionales acumularon el 25.4 % de los casos durante el periodo de estudio, con una media anual de 93 días. Están marcados por la combinación de los procesos pertenecientes al TSS 5 (ondas tropicales y zona de convergencia) y el TSS 7 (sistemas frontales), los que presentan una clara ocurrencia estacional durante la marcha anual en el periodo, con el 46.1% de las situaciones sinópticas representadas en el grupo.

En sus tipos concatenados están presentes los ocho TSS. Tres contienen tipos idénticos: ciclón tropical (44), zona de convergencia (55) y frente frío (77); los tres formados por situaciones relacionadas con la ocurrencia de precipitaciones. En los tipos de componentes diferentes prevalecen en occidente los TSS 6, 7 y 8, mientras que, en oriente predominan los TSS 2 y 3; los restantes TSS 1, 4 y 5 ocurren en ambas regiones.

Las descripciones de los tipos concatenados son las siguientes: la influencia sobre toda Cuba de zonas de convergencia y ondas tropicales (55);

Tabla 2. Grupos de TCSS Cuba 1970-2022

Grupos	Categorías	Frecuencia absoluta (días)	Frecuencia relativa (%)	TCSS agrupados (1970-2022)
I	Predominantes ($Fr \geq 5.0$ %)	12 624	65.2	11, 22, 33, 87, 88
II	Estacionales ($Fr = 1.1$ a 4.9 %)	4 916	25.4	15, 25, 32, 44, 51, 52, 53, 55, 63, 72, 73, 77, 85
III	Eventuales ($Fr = 0.2$ a 1.0 %)	1 705	8.8	23, 24, 31, 35, 41, 42, 43, 61, 62, 66, 71, 75, 76, 83, 84, 86
IV	Excepcionales ($Fr = 0.01$ a 0.1 %)	113	0.6	13, 14, 34, 45, 48, 54, 65, 67, 68, 78

la combinación de zonas de convergencia con situaciones anticiclónicas (51), (52), (15), (25) y (85); el débil gradiente con flujo anticiclónico extendido (32); el ciclón tropical afectando todo el país (44); sistemas frontales sobre ambas mitades de Cuba (77); sistemas frontales con flujo anticiclónico extendido (72) y con débil gradiente de presión (73); terminando con el par conformado por una baja extratropical en occidente con débil gradiente de presión en la mitad oriental (63).

El TCSS 52 (zonas de convergencia con flujo anticiclónico extendido) es el mejor representado del grupo con 15.4 %, mientras, el TCSS 44 (ciclón tropical afectando a todo el país) es el de menor frecuencia con el 4.8 %.

El Grupo III: Los TCSS Eventuales (Frecuencia entre 0.11 % y 1.0 %)

Los TCSS Eventuales acumularon el 8.8 % de los casos en el periodo de estudio, con una media anual de 32 días. En este grupo prevalecen los procesos ciclónicos. Primero, los pertenecientes al TSS 6 (baja extratropical) y segundo el TSS 4 (ciclón tropical), los que suman el 34.4 % de los tipos de situaciones sinópticas representadas en el grupo.

En sus tipos concatenados están presentes los ocho TSS. Solo un TCSS contiene componentes idénticas: la influencia de baja extratropical (66). En los TCSS de componentes diferentes prevalecen en occidente los TSS 7 y 8, mientras en oriente los TSS 1 y 5; los restantes TSS 2, 3, 4 y 6 ocurren en ambas regiones.

Las descripciones de cada TCSS son las siguientes: el flujo anticiclónico extendido con débil gradiente (23) y con ciclón tropical (24); el débil gradiente de presión con anticiclón subtropical oceánico (31) y con zona de convergencia (35); el ciclón tropical en occidente con influencia del anticiclón subtropical oceánico (41), con flujo extendido (42) y con débil gradiente (43) sobre oriente; una baja extratropical afectando ambas mitades de Cuba (66); la combinación de una baja extratropical en occidente, con la influencia del anticiclón subtropical oceánico (61) y con el flujo anticiclónico extendido (62) en oriente; sistemas frontales en occidente con el anticiclón subtropical oceánico (71), la zona de convergencia (75) y una baja extratropical (76) sobre oriente. Por último, la influencia de anticiclones continentales migratorios sobre occidente con débil gradiente (83), ciclón tropical (84) y baja extratropical (86) afectando la mitad oriental de Cuba.

El máximo de frecuencia es alcanzado por el TCSS 23 (flujo anticiclónico extendido con débil gradiente) con el 11.9 % del grupo, mientras, el mínimo es compartido por el TCSS 75 (sistema frontal con zona de convergencia) y el TCSS 86 (anticiclón continental migratorio con baja extratropical) con solo 1.7 %.

El Grupo IV: Los TCSS Excepcionales (Frecuencia ≤ 0.1 %)

Los TCSS Excepcionales acumularon solo el 0.6 % de los casos en el periodo de estudio, con una media anual de 2 días. Están dominado por los procesos “ciclónicos”, en orden inverso al grupo anterior, primero los pertenecientes al TSS 4 (ciclón tropical) y segundo los del TSS 6 (baja extratropical), los que alcanzan el 40.0 % de los tipos de situaciones sinópticas representadas en el grupo.

Es el único grupo que no contiene tipos concatenados idénticos. En los pares de TSS diferentes, prevalecen en occidente los TSS 1 y 6, mientras en oriente solo el TSS 8. Los restantes TSS 3, 4, 5 y 7 ocurren en ambas regiones; pero es notable que no tenga presencia en este grupo el TSS 2 (flujo anticiclónico subtropical extendido), siendo el de mayor frecuencia absoluta en la serie.

Las descripciones de cada TCSS son las siguientes: la influencia del anticiclón subtropical oceánico con débil gradiente (13) y con ciclón tropical (14); el débil gradiente con ciclón tropical (34); el ciclón tropical con zona de convergencia (45) y con anticiclón migratorio (48); la baja extratropical con zonas de convergencia (65), sistemas frontales (67) y con anticiclones migratorios (68); y los sistemas frontales con anticiclón continental migratorio (78).

La mayor frecuencia de ocurrencia corresponde al TCSS 68 (baja extratropical con anticiclón migratorio) con 20.3 % y la menor al TCSS 65 (baja extratropical con zona de convergencia) que ocurre un 0.9 % y constituye la frecuencia mínima absoluta para todos los TCSS.

Esta nueva forma de clasificar y analizar los procesos sinópticos que afectan a toda Cuba, constituye un resultado de gran interés aplicado, porque contribuye a mejorar la vigilancia sobre los peligros meteorológicos, asociados principalmente a los TCSS Eventuales y Excepcionales, que son procesos sinópticos de baja frecuencia de ocurrencia, pero capaces de producir importantes impactos socioeconómicos.

Variabilidad multianual

La variabilidad multianual del Grupo I (Predominantes) está marcada por el comportamiento de los tres estados atmosféricos que garantizan la influencia anticiclónica sobre todo el país (TCSS 11, 22 y 88); que acumulan el 54.3 % de los días respecto al grupo (Fig. 1). El año de máxima frecuencia coincide con el inicio de la serie (1970), cuando el grupo estuvo presente en 282 días, mientras, el de mínima fue 1979 con 190 días, siendo el TCSS 88 (influencia del anticiclón continental migratorio) el más frecuente en ambos extremos.

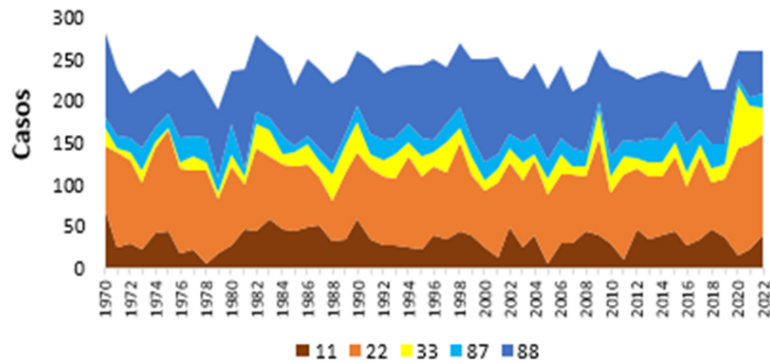


Figura 1. Variabilidad multianual del Grupo I: Predominantes (Frecuencia $\geq 5\%$)

La determinación de la existencia de correlación inversamente proporcional, con significación estadística al nivel de confianza de 99 % y valor de R igual a 0.79 entre los grupos I y II, garantiza la ocurrencia de los valores extremos de frecuencias de los TCSS Estacionales en años inversos a los Predominantes, aunque el Grupo II (Estacionales) presenta mayor variabilidad multianual, estando el máximo en 1979 y el mínimo en 1970 con 129 y 56 días al año, respectivamente (Fig. 2).

Los pares Estacionales más frecuentes en los años extremos son: el TCSS 52 como máximo, representativo de las zonas de convergencia con flujo anticiclónico extendido, y el TCSS 77 como mínimo, caracterizado por los sistemas frontales afectando ambas mitades de Cuba.

El Grupo III (Eventuales) muestra una disminución apreciable en la cantidad de casos anuales respecto a los Predominantes y Estacionales (Fig. 3). Su máximo fue en 2005 cuando alcanzó 50 días, marcados por el TCSS 42 (ciclón tropical con flujo anticiclónico extendido), en correspondencia con un año récord de actividad ciclónica; mientras el mínimo con solo 16 días en 1993, tuvo al TCSS 76 (sistema frontal con baja extratropical) como el más frecuente, siendo representativo de la influencia del Evento El Niño - Oscilación del Sur (ENOS).

El cambio más relevante en el comportamiento de los TCSS durante el periodo de estudio lo presenta el Grupo IV (Excepcionales).

En las décadas de los años 70 y 80 del siglo XX fue mayor la frecuencia de los TCSS Excepcionales que contienen tipos ciclónicos,

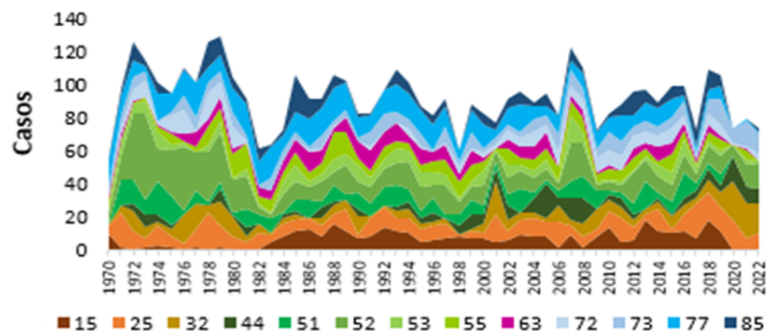


Figura 2. Variabilidad multianual del Grupo II: Estacionales (Frecuencia 1.1 a 4.9%)

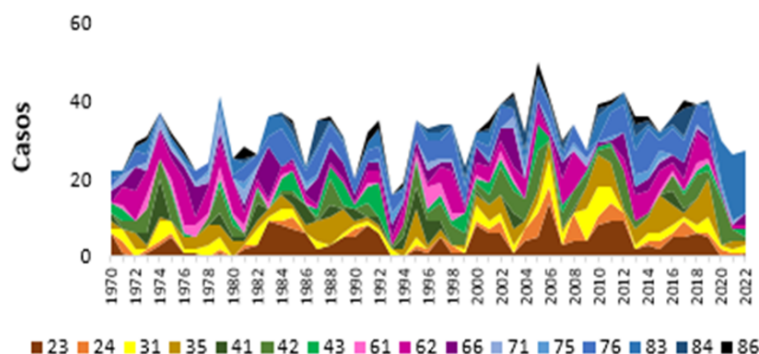


Figura 3. Variabilidad multianual del Grupo III: Eventuales (Frecuencia 0.2 a 1.0%)

tanto extratropicales como tropicales, los cuales ocurren con reiteración en años específicos; pero desde el 2006 hasta el 2022 aumentó la frecuencia de los TCSS que contienen los tipos de situaciones sinópticas anticiclónicas y los días con débil gradiente, provocando la incidencia de TCSS Excepcionales en todos esos años (Fig. 4).

El máximo de frecuencia ocurrió en 1971 con nueve casos, siendo el TCSS 68 (baja extratropical con anticiclón continental migratorio) el más frecuente; mientras, el mínimo ha sido cero en 12 ocasiones, la última en 2006.

La marcha anual

La marcha anual de los grupos de TCSS establecidos corrobora de forma general el comportamiento climatológico estudiado con los TSS (Lecha *et al.*, 2024b), marcado por la ocurrencia de tipos concatenados compuestos por situaciones sinópticas asociadas al flujo del Este que prevalecen entre mayo y octubre, mientras los del flujo del Oeste lo hacen de noviembre a abril. Sin embargo, las características de cada grupo de TCSS y las correlaciones estadísticamente significativas, obtenidas entre algunos de ellos, aportan nueva información sobre la climatología de las situaciones sinópticas que influyen sobre todo el archipiélago cubano.

El Grupo I (Predominantes) describe de forma general el comportamiento del estado del tiempo en Cuba (Fig. 5), con el máximo de su frecuencia mensual en marzo, equivalente al 10.0 % de los días y el TCSS 88 (anticiclón continental migratorio) como el más frecuente, estando el mínimo en septiembre, con el 6.0 % de los días y el TCSS 22 (flujo anticiclónico extendido) dominando el periodo. Cabe señalar que la persistencia en la ocurrencia del TCSS 88 está asociada a los procesos de sequía más largos que ocurren durante la temporada poco lluviosa del año (noviembre-abril).

El Grupo II (Estacionales) tiene como principal característica el incremento de la frecuencia de sus componentes durante el periodo estival de la marcha anual, con su máximo de 13.2 % en agosto (Fig. 6) y caracterizado por los TCSS integrados por situaciones sinópticas asociadas al flujo del este, específicamente los formados por el TSS 5 (zonas de convergencia y las ondas tropicales). El TCSS 52 (zonas de convergencia con flujo anticiclónico extendido) lidera el comportamiento descrito.

Sin embargo, asociado a la correlación existente entre los grupos Predominantes y Estacionales, mencionada anteriormente, en este caso el mínimo del Grupo II ocurre en marzo, con el 4.7 % de los días, siendo el TCSS 77 (sistemas frontales sobre ambas mitades de Cuba) el más frecuente.

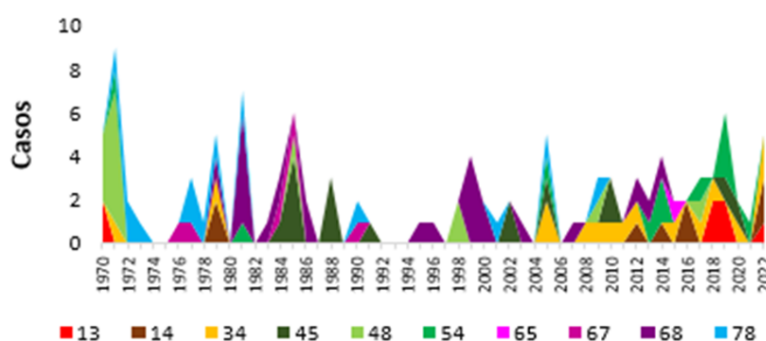


Figura 4. Marcha multianual del Grupo IV: Excepcionales (Frecuencia 0.01 a 0.1%)

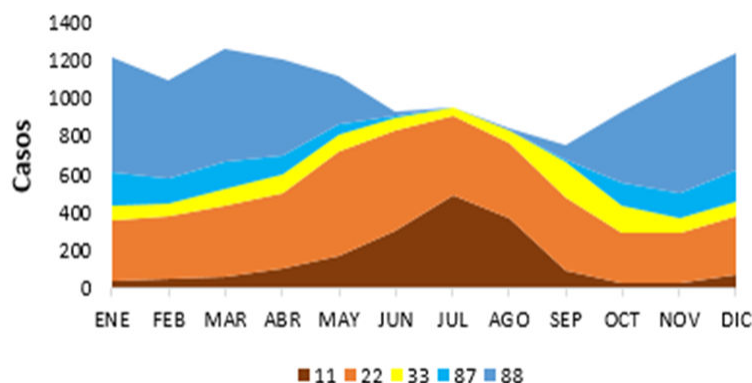


Figura 5. Marcha anual del Grupo I: Predominantes (Frecuencia $\geq 5\%$)

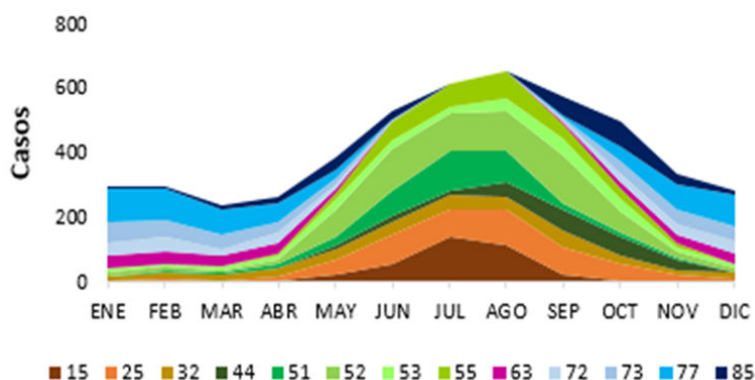


Figura 6. Marcha anual del Grupo II: Estacionales (Frecuencia 1.1 a 4.9%)

También, la marcha anual muestra una correlación inversamente proporcional entre los comportamientos de la frecuencia de ocurrencia de los TCSS Predominantes y los Eventuales, estadísticamente significativa al nivel de confianza de 99 %, pero con $R = 0.14$, lo que indica alta variabilidad de los puntos de datos respecto a la línea de regresión. El máximo del Grupo III (Eventuales) ocurre en septiembre (14.5 %) y prevalece el TCSS 35 (débil gradiente con zona de convergencia).

El mínimo de los TCSS Eventuales ocurre en julio con 4.5 % de los días (Fig. 7) y el TCSS 31 (débil gradiente con anticiclón subtropical oceánico) es el más frecuente. Un comportamiento similar ocurre en el mínimo del Grupo IV (Excepcionales), con el 2.7 % de los días en julio, prevaleciendo el TCSS 13 (anticiclón subtropical oceánico con débil gradiente).

Ambos tipos concatenados prevalecientes en el mes de julio para Eventuales y Excepcionales (TCSS 31 y 13) están formados por los mismos TSS, aunque los tipos que los integran están invertidos. Lo anterior puede asociarse a que, en los grupos I y II, los pares que contienen situaciones de débiles gradientes presentan su valor mínimo en ese mes, desplazando la ocurrencia de este TSS a los rangos de frecuencias de los grupos III y IV, respectivamente, en combinación con la influencia del anticiclón subtropical oceánico que alcanza su máxima frecuencia en el año.

El máximo de los TCSS Excepcionales ocurre en noviembre con el 15.9 % de los días (Fig. 8), siendo el TCSS 48 (cyclón tropical con anticiclón migratorio continental) el más frecuente. Este par concatenado describe muy bien los procesos atmosféricos propios del periodo de transición del verano al invierno, cuando finaliza la temporada ciclónica.

La climatología de los TCSS y su base de datos integrada es una nueva fuente de información sinóptico-climatológica para todo el archipiélago cubano y zonas marinas adyacentes, como entidad geográfica única. Los TCSS se comportan como una interface en la escala regional, entre los macroprocesos de la circulación atmosférica, que actúan en el sector hemisférico que incluye a Cuba, y los procesos sinópticos que influyen sobre las mitades occidental y oriental del país, descritos en el Catálogo de los TSS (1970-2022).

Anomalías

El cálculo de las anomalías fue realizado para tres grupos: Predominantes (I), Estacionales (II) y la integración de los Eventuales y Excepcionales (III+IV), conociendo que el 69.2 % de los pares concatenados que componen los grupos integrados está compuesto por situaciones ciclónicas (extratropicales y tropicales), potencialmente generadoras de fenómenos meteorológicos peligrosos.

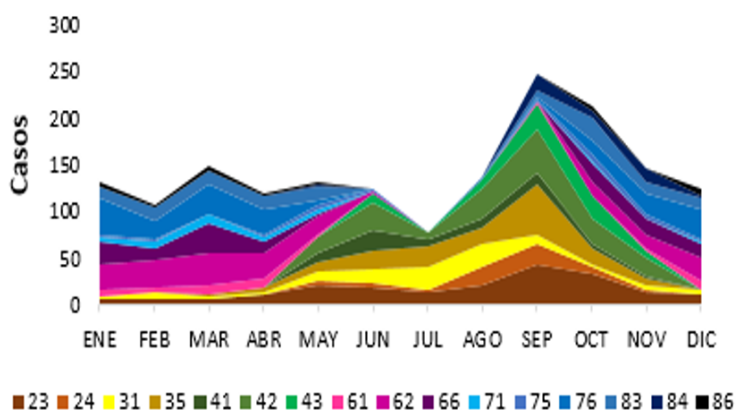


Figura 7. Marcha anual del Grupo III: Eventuales (Frecuencia entre 0.2 y 1.0 %)

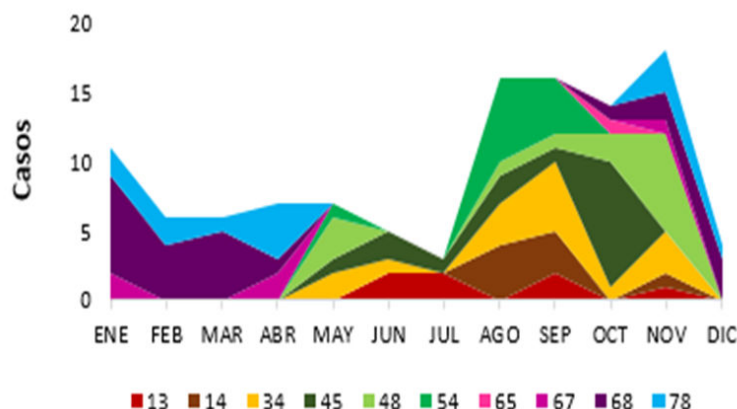


Figura 8. Marcha anual del Grupo IV: Excepcionales (Frecuencia 0.01 a 0.1%)

Se presenta la media móvil en cinco años de las anomalías anuales determinadas durante el periodo de estudio (Fig. 9).

El resultado obtenido evidencia la existencia de comportamientos diferentes para los grupos de TCSS estudiados, lo que permite establecer los tres periodos descritos a continuación:

1970-1982: Está dominado por los incrementos positivos en los tipos concatenados que componen el grupo Estacionales. Este es el primer periodo, después de más de 70 años, donde las circulaciones longitudinales del sur son las más frecuentes, estando marcado por la alta inestabilidad en las circulaciones atmosféricas regionales y los pequeños valores de sus anomalías.

1983-2003: Los mayores incrementos ocurren en los tipos concatenados del grupo Predominantes, que provocaron el aumento de la temperatura en las décadas de los años 80 y 90 del pasado siglo XX,

en correspondencia con el rápido crecimiento de la frecuencia de ocurrencia en las circulaciones regionales longitudinales del sur.

2004-2022: Prevalecen los incrementos en el grupo integrado por tipos concatenados Eventuales y Excepcionales, que constituyen procesos sinópticos altamente meteoro-tropicos, causantes de fenómenos meteorológicos peligrosos, agudos contrastes del estado del tiempo y con capacidad de producir numerosas y variadas afectaciones a la salud de la población vulnerable.

En estos tres periodos predominan las anomalías positivas de alguno de los grupos de TCSS, lo cual está en plena correspondencia con los cambios y tendencias descritos por Soler *et al.* (2025) al analizar el comportamiento de los procesos regionales de las circulaciones atmosféricas que influyen sobre América del Norte, desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.

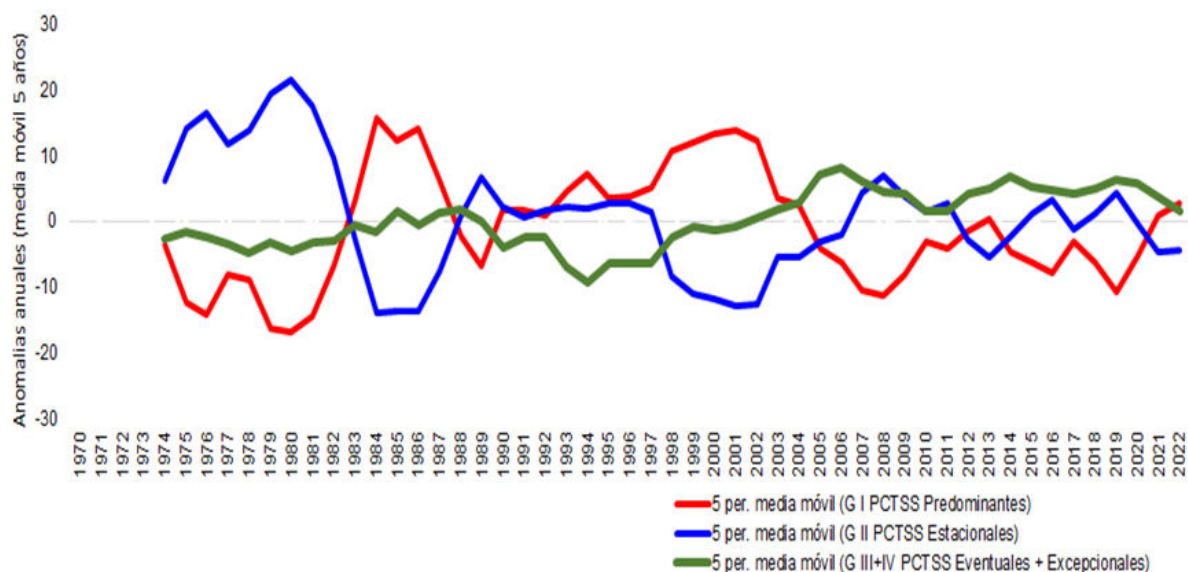


Figura 9. Media móvil (en 5 años) de las anomalías de los Grupos de TCSS

En el primero prevalecen los incrementos en los TCSS Estacionales (ondas tropicales y zonas de convergencia), relacionados con los procesos de precipitación. Se asocian a inestabilidad en la circulación anual más frecuente, aunque llegan a dominar las circulaciones “zonales del oeste y meridionales del sur” (MRC 4), con pequeños valores de anomalías.

El segundo, caracterizado por las anomalías positivas del grupo Predominantes, con presencia mayoritaria de los TCSS anticiclónicos, está relacionado con los extremos del régimen térmico: mucho calor en verano y mucho frío en invierno. Se asocia con el rápido incremento de los macroprocesos regionales de circulación “meridionales del sur con intercambios en posición estacionaria” (MRC 10) en verano y “zonales del oeste con intercambios en posición estacionaria” (MRC 5) en invierno.

El tercero (período más reciente), que abarca desde el año 2004 al 2022, en el cual prevalecen los incrementos de los grupos Eventuales y Excepcionales, con mayor representación de los TSS ciclónicos tropical (4) y extratropical (6), que están relacionados con fenómenos meteorológicos peligrosos y cambios atmosféricos contrastantes.

El comportamiento de los TCSS en este último periodo está en correspondencia con el incremento en la frecuencia de ocurrencia del macroproceso regional de circulación (MRC 9) “meridionales del norte y de sur, en zonas adyacentes, no concurrentes”; al que se asocia el incremento de los fenómenos con cambios atmosféricos contrastantes.

Estas características determinan la tendencia creciente y significativa de los grupos III y IV, integrados por los casos Eventuales y Excepcionales, que están compuestos en el 69.2 % por TSS ciclónicos (tropicales y extratropicales), cuyos detalles se exponen en el epígrafe siguiente.

Tendencias

El análisis de las tendencias en las series anuales de frecuencias de los TCSS permite estimar el comportamiento futuro de los grupos y TCSS que arrojen un resultado determinado, de especial interés aquellos a los que está asociada la ocurrencia de fenómenos meteorológicos peligrosos.

Entre los grupos de TCSS estudiados, se determinó tendencia significativa creciente solo al Grupo III (Eventuales), con punto de cambio en 1981. Teniendo en cuenta el resultado del epígrafe anterior, se analizó también la tendencia integrando los TCSS Eventuales y Excepcionales (III+IV), arrojando la existencia de tendencia significativa creciente con punto de cambio en 1997 (Tabla 3).

Este resultado es de gran interés para mejorar la vigilancia de los peligros meteorológicos, pues concentra la atención hacia el futuro en un grupo de estados atmosféricos diarios con solo 9.4 % de frecuencia de ocurrencia, pero tiene 69.2 % de alta participación de los tipos de situaciones ciclónicas (Fig. 10).

Un laborioso trabajo fue realizado durante el análisis de tendencia a los 44 TCSS estudiados. Como resultado se obtuvieron siete TCSS con tendencia significativa creciente, con puntos de cambio situados entre los años 1981 y 2005. De acuerdo a su grupo de pertenencia tres son Estacionales, dos Eventuales, uno Predominante y otro Excepcional.

Entre las características resaltables está que el punto de cambio de los TCSS 33 y 76 coincidan con el inicio del periodo de rápido incremento de las circulaciones longitudinales del sur en América del Norte; que los TCSS 24 y 44 tengan como punto de cambio 1997, año cercano al inicio del actual periodo de alta actividad ciclónica en el océano Atlántico Norte, así mismo, los TCSS 34 y 73 con la situación de débil gradiente contenida en ambas mitades de Cuba, durante los años 2004 y 2005 respectivamente (Tabla 4).

Los tipos de situaciones sinópticas más frecuentes en la composición de estos TCSS son: TSS 3 (débil gradiente de presión en ambas regiones), TSS 4 (ciclón tropical para la mitad oriental y frente frío en la mitad occidental) de Cuba. Mientras, los TCSS con valores de frecuencia más próximos al rango superior del grupo a que pertenecen son: TCSS 76 (frente frío con baja extratropical) y TCSS 34 (débil gradiente con ciclón tropical), ambos están a 0.1 % de pertenecer al grupo Estacionales y Eventuales respectivamente, siendo las mayores probabilidades para TCSS 76, dada la ocurrencia Excepcional del TCSS 34.

Tabla 3. Tendencias de los Grupos de TCSS (1970-2022)

Grupos	Categorías	Alfa 0	Alfa 1	Tendencia (test de Mann-Kendall)	Puntos de Cambio (test Pettitt)
I	Predominantes	0.0500	0.7039	No existe	-
II	Estacionales		1.8969		-
III	Eventuales		0.0080	Existe tendencia significativa creciente	1981
IV	Excepcionales		0.2113	No existe	-
III+IV	Eventuales + Excepcionales		0.0060	Existe tendencia significativa creciente	1997

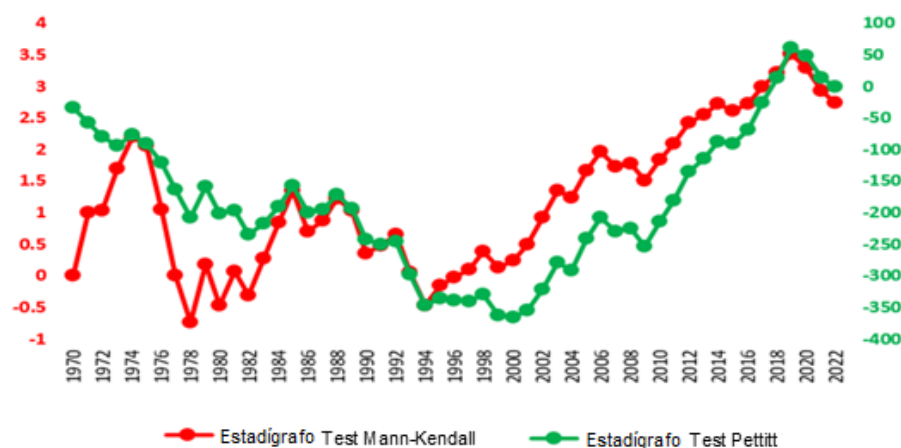


Figura 10. Tendencia significativa creciente y punto de cambio en 1997 (confianza 95 %) para los TCSS Eventuales + Excepcionales

Tabla 4. Tendencias determinadas en los TCSS 1970-2022

TCSS	Categ. por frecuencia de ocurrencia	Alfa 0	Alfa 1	Test Mann-Kendall	Ptos. Cambio (Test Pettitt)
15	Estacional	0.0500	0.0340	Existe tendencia creciente y significativa	1983
24	Eventual		0.0488		1997
33	Predominante		0.0220		1981
34	Excepcional		0.0203		2004
44	Estacional		0.0017		1997
73	Estacional		0.0111		2005
76	Eventual		0.0257		1983

Cambios en los patrones isobáricos

El análisis de las series de datos de los TCSS con tendencia determinada permitió su estratificación mensual, y la construcción de mapas medios anteriores y posteriores al punto de cambio para algunos tipos concatenados, según la disponibilidad de casos. Se presenta el resultado obtenido para los TCSS 33, 44 y 73; en los cuales se demuestran los cambios ocurridos en sus patrones isobáricos durante el periodo de estudio.

TCSS 33 Influencia de zona de débil gradiente sobre todo el país

Perteneciente al grupo de pares Predominantes con frecuencia de ocurrencia de 5.5 % presenta el punto de cambio más antiguo de los TCSS con tendencia determinada (1981). Sus mapas medios anteriores a ese año están marcados por la debilidad del gradiente barométrico, asociada a la cercanía de vaguadas extendidas sobre el océano Atlántico occidental (Fig. 11).

El principal cambio es la aparición de centros de bajas presiones con isobaras cerradas de 1013 hPa y 1012 hPa en septiembre y octubre, respectivamente; y la extensión hacia el sur de la influencia de una situación de débil gradiente de presión

atmosférica sobre toda Cuba, con tendencia significativa creciente determinada al nivel de confianza del 95 %.

TCSS 44 Influencia de ciclón tropical sobre todo el país

Dentro de la categoría de ocurrencia Estacional alcanza una frecuencia de 1.2 %, con el punto de cambio en 1997, en correspondencia con el inicio del actual periodo de alta actividad ciclónica (Pérez, 2006). Su mapa medio anterior a ese año en septiembre presenta un centro de baja presión en pleno mar Caribe occidental, mientras, en el mapa de octubre el centro se localiza sobre Cuba; en ambos casos con una isobara cerrada de 1009 hPa (Fig. 12).

Sus principales cambios indican un desplazamiento del centro de baja presión hacia el nordeste sobre Cuba en septiembre, mientras, en octubre se aprecia la ampliación de la zona de baja presión que abarca toda Cuba y el mar Caribe occidental, con discreto movimiento de su centro hacia el oriente del país. En ambos meses la aparición de la isobara de 1008 hPa cerrada indica caídas de presión de alrededor de 1 hPa respecto al periodo anterior al punto de cambio. Estos cambios han permitido la determinación de tendencia significativa creciente de la influencia de ciclones tropicales sobre todo el archipiélago cubano.

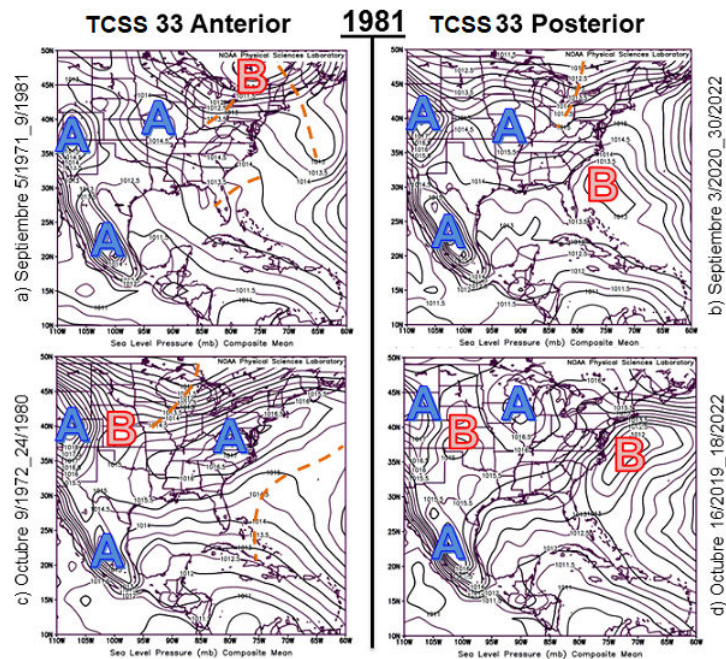


Figura 11. Mapas isobáricos medios de septiembre y octubre del TCSS 33

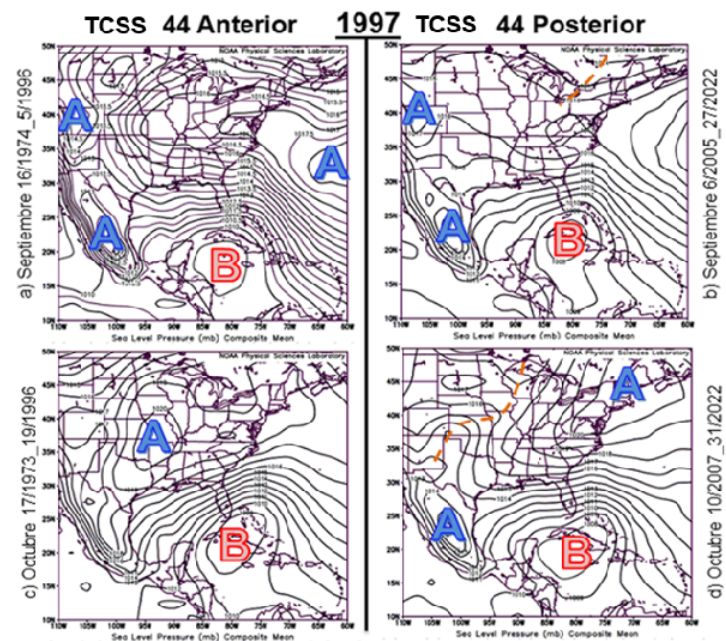


Figura 12. Mapas isobáricos medios de septiembre y octubre del TCSS 44

TCSS 73 Influencia de frente frío con débil gradiente

Pertenece al grupo Estacional con frecuencia de 1.8 % y punto de cambio en 2005. Es un tipo concatenado conformado por situaciones sinópticas diferentes que en sus mapas medios de febrero y marzo anteriores a ese año estaba representado por un frente frío extendido desde una baja extratropical en el Atlántico noroccidental hacia el suroeste sobre el occidente de Cuba, con una situación de débil gradiente de presión atmosférica sobre el resto del país (Fig. 13).

El cambio observado, tanto en febrero como en marzo, es la aparición de un proceso de desbordamiento anticiclónico sobre el occidente de Cuba con la isobara de 1016 hPa adelantada a la línea frontal, lo que sugiere una banda frontal débil y permeable, con poco contraste térmico entre ambas masas de aire. El hecho de que el proceso de desbordamiento anticiclónico sobre el occidente de Cuba logre representatividad climática en los meses de febrero y marzo, con tendencia significativa creciente determinada para este TCSS,

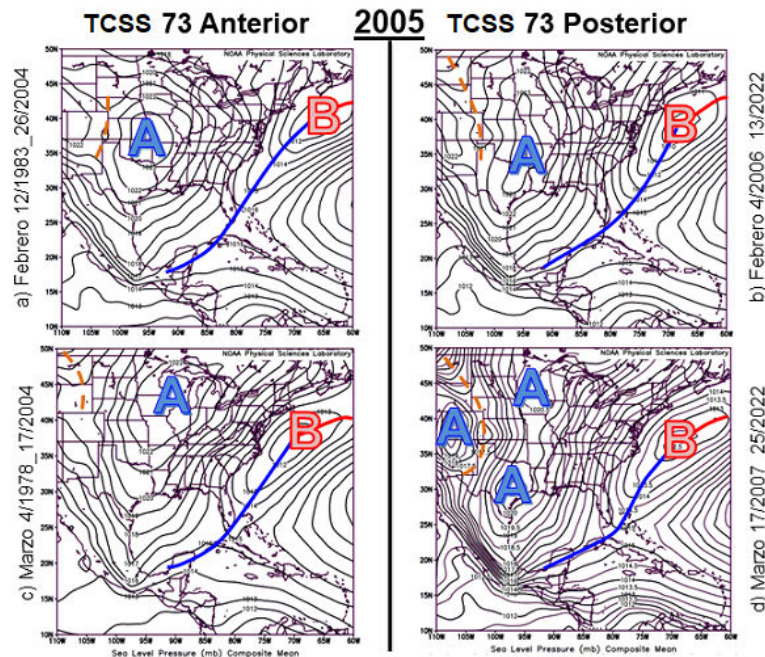


Figura 13. Mapas isobáricos medios de febrero y marzo del TCSS 73

es un nuevo indicador que permite localizar la estación del año en que están ocurriendo las transformaciones en los frentes fríos que reducen las condiciones invernales en Cuba.

Este resultado es relevante, pues sustenta la necesidad de mejorar la vigilancia sobre estos peligros meteorológicos, ya que como perspectiva: concentra la atención en los TCSS Eventuales y Excepcionales, que son procesos sinópticos con reducida frecuencia de ocurrencia, pero con elevada participación de los tipos de situaciones ciclónicas en su conformación, capaces de producir importantes impactos socioeconómicos.

En particular, el TCSS 44 (ciclón tropical que afecta a todo el país) ya alcanza la categoría de Estacional, con tendencia significativa creciente, lo que indica que este tipo concatenado aumentará su frecuencia, reforzando los impactos de los procesos ciclónicos tropicales, principalmente en el bimestre septiembre-octubre, cuando se observan cambios en la posición media del centro, ampliación de la zona de baja presión y caídas de presión de alrededor de 1.0 hPa respecto al periodo anterior al punto de cambio, por lo que no debe continuar considerándose como un fenómeno Eventual o Excepcional para Cuba.

En el TCSS 73 (sistema frontal en occidente con débil gradiente en oriente), se caracteriza el proceso de desbordamiento anticiclónico que ocurre a través de las zonas frontales débiles y permeables, el que ha adquirido representatividad climática posterior al año 2005 en el bimestre febrero-marzo, en correspondencia con la reducción de la duración del invierno en Cuba, especialmente en la zona oriental.

La elaboración objetiva de mapas isobáricos medios realizados con los casos seleccionados de algunos TCSS, permite sustituir el análisis de códigos de clasificación por variables climáticas obtenidas de forma objetiva, lo que aumenta la transparencia y reduce las incertidumbres incorporadas al resultado final durante el proceso de clasificación subjetiva de los TSS.

CONCLUSIONES

La climatología de los TCSS y su base de datos actualizada, completa el análisis de los procesos de la circulación atmosférica como factor formador del clima de Cuba; y constituye una nueva fuente de información sinóptico-climatológica de todo el archipiélago cubano y zonas marinas adyacentes, siendo la interface que vincula los macroprocesos hemisféricos con los procesos sinópticos que afectan a Cuba, lo cual permite inferir su génesis en las mitades occidental y oriental del país.

Se establecen los periodos con predominio de distintos grupos de TCSS y su asociación con los mecanismos de la circulación general de la atmosfera influyentes sobre América del Norte: de 1970 a 1982 predomina el grupo Estacionales, asociado a los procesos de precipitación; entre 1983 y 2003 el grupo Predominantes, marcado por situaciones anticiclónicas; y desde 2004 a 2022, prevalecen los procesos Eventuales y Excepcionales, con mayor representación de los TSS ciclónicos, causantes de fenómenos meteorológicos peligrosos y agudos contrastes del estado del tiempo.

Los procesos ciclónicos tropicales muestran una tendencia significativa y creciente, con énfasis en la mitad oriental y punto de cambio en 1997, indicando que estos TCSS aumentarán en el futuro su incidencia, reforzando los impactos socioeconómicos sobre el país, por lo cual deben considerarse como una prioridad en las estrategias de adaptación al cambio climático, porque ya no serán fenómenos eventuales o excepcionales para Cuba.

REFERENCIAS

- Lapinel, B. (1987). La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba. Tesis en opción del grado de Dr. en Ciencias Geog. Instituto de Meteorología, La Habana; 147 p. (inédito).
- Lecha, L., Soler, E., Sánchez, L. y Verdecia, Y. (2024a). La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 2: El Catálogo de los tipos de situaciones. *Rev. Cub. Meteorología*, 30(1), enero-marzo, 1-19, 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, 1-31, ISSN: 2664-0880.
- Pérez, R. (2006). Cronología de los Huracanes de Cuba. Probabilidad de afectación por huracanes en cada provincia de Cuba. Informe abreviado. Instituto de Meteorología, AMA - CITMA, la Habana, Cuba. 8 p. (inédito).
- Rasilla, D.F. y García, J.C. (2007). La Climatología Sinóptica en España. Universidad de Cantabria, España, 207-209 pp.
- 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.
- Soler, E., Sánchez, L.M., 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.