

# La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 3: Características climáticas de los grupos, tipos y subtipos de situaciones (1970-2022)



<https://cu-id.com/2377/v30n2e07>

## Synoptic Climatology of Cuba. Part 3: The climatic characteristics of the groups, types and subtypes of situations (1970-2022)

 Luis B. Lecha Estela<sup>1\*</sup>,  Edgardo Soler Torres<sup>1</sup>,  Luis M. Sánchez Suárez<sup>1</sup>,  
 Yuslandis Verdecia Naranjo<sup>1</sup>,  Pedro Roura Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET, Cuba.

<sup>2</sup>Centro Nacional del Clima, INSMET, Cuba.

**RESUMEN:** Fundamentada en los conceptos y resultados del “Catálogo de los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba”, el cual contiene las series diarias actualizadas y validadas de los tipos de situaciones sinópticas, que influyeron sobre las mitades occidental y oriental de Cuba durante el período de 53 años desde 1970 a 2022, se presenta la descripción regional de las principales características climáticas de cada tipo de situación sinóptica: frecuencias mensuales, marchas estacionales y multianuales, tendencias y puntos de cambios al nivel de confianza del 95 %, así como los comportamientos anómalos con respecto al promedio del período 1981-2010. Se identifican diferencias importantes en la duración de los días de influencia y en las características espacio-temporales de los procesos sinópticos que afectan a ambas mitades del país. Por tanto, la génesis de los cambios cualitativos y cuantitativos que se observan en el clima cubano se asocia a las tendencias observadas en las frecuencias de ocurrencias de algunos procesos extratropicales propios del invierno, y a variaciones relativamente recientes en la influencia del anticiclón subtropical oceánico sobre Cuba, las que pueden estar reflejando los impactos potenciales del calentamiento global sobre los procesos de la circulación atmosférica, que actúan como factores formadores del clima para toda la región del Caribe, incluyendo a Cuba.

**Palabras claves:** Climatología sinóptica, Circulaciones atmosféricas, Factores formadores del clima, Procesos sinópticos, Tipos de situaciones sinópticas.

**ABSTRACT:** Based on the concepts and results of the “Catalog of the types of synoptic situations that influence Cuba”, which contains the updated and validated daily series of the types of synoptic situations that influenced the western and eastern halves of Cuba during the period of 53 years from 1970 to 2022, the regional description of the main climatic characteristics of each type of synoptic situation is presented: monthly frequencies, seasonal and multi-year variability, trends and change points at the 95% confidence level, as well as the behaviors anomalous with respect to the average of the period 1981-2010. Important differences are identified in the duration of the days of influence and in the space-time characteristics of the synoptic processes that affect both halves of the country. Therefore, the genesis of the qualitative and quantitative changes observed in the Cuban climate is associated with the observed trends in the frequencies of occurrence of some typical winter extratropical processes, and with relatively recent variations in the influence of the oceanic subtropical anticyclone over Cuba, which may be reflecting the potential impacts of global warming on atmospheric circulation processes, which act as climate-forming factors for the entire Caribbean region, including Cuba.

**Key words:** Synoptic climatology, Atmospheric circulations, Climate-forming factors, Synoptic processes, Types of synoptic situations.

\*Autor para correspondencia: Luis B. Lecha Estela. E-mail: [luis.lecha@gmail.com](mailto:luis.lecha@gmail.com)

Recibido: 30/01/2024

Aceptado: 02/04/2024

**Conflicto de intereses:** Los autores del artículo científico, declaran que no existen conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:** Luis B. Lecha Estela y Edgardo Soler Torres. **Han tenido una contribución equivalente en los aspectos relativos a la elaboración del artículo, conceptualización, metodología, investigación, redacción, revisión y corrección del artículo.** Luis Sánchez Suárez. **Tuvo a su cargo la conservación de datos, investigación, corrección de la clasificación diaria, revisión del texto.** Yuslandis Verdecia Naranjo. **Conservación de datos, investigación, elaboración y visualización de gráficos, revisión del texto.** Pedro Roura Pérez. **Participó en la determinación y análisis de tendencias a las series de tiempo.**

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

La circulación general de la atmósfera es el sistema fundamental a gran escala del movimiento del aire en la troposfera y la estratosfera. Ella regula y explica todos los movimientos generales que ocurren en la atmósfera, como un sistema único, que juega un papel cimero en el clima de las diferentes regiones de la Tierra.

Varios de estos movimientos atmosféricos relacionados con el transporte latitudinal de masa y energía fueron discutidos por Byers (1970), como son: la corriente en chorro, los ciclones y anticiclones, los vientos alisios y los monzones. Ellos juegan un rol importante en la génesis del tiempo y el clima en el planeta. Aquellas regiones donde las masas de aire permanecen largo tiempo hasta adquirir las propiedades de temperatura y humedad que la caracterizan son llamadas regiones fuentes de masas de aire. Estas son grandes porciones de la atmósfera con propiedades físicas bien definidas y características homogéneas de temperatura y humedad, que ocupan grandes extensiones sobre tierras y océanos (Petterssen, 1973).

Sin embargo, debido a la circulación general de la atmósfera, algunas masas de aire se desplazan hacia otras regiones del planeta alejadas de sus regiones fuente, por lo que sus propiedades físicas se transforman durante este desplazamiento, asimilando las características de las superficies sobre las que se mueven.

Otro mecanismo importante en el intercambio de calor entre bajas y altas latitudes es el llamado centro de acción, que es aquella zona donde la variabilidad de la presión atmosférica es pequeña, pues en ella se encuentra la mayor frecuencia de permanencia anual o estacional de los vórtices ciclónicos o anticiclónicos (Jansa, 1974).

Los macroprocesos de la circulación general de la atmósfera determinan a nivel global y hemisférico los tipos y características de las *regiones sinópticas naturales*, así como su frecuencia estacional de ocurrencia (Alisov y Poltarau, 1974). Cada macroproceso se manifiesta en intervalos de tiempo de varios días, que se consideran como *períodos sinópticos naturales*. En el nivel regional, los macroprocesos se manifiestan mediante la distribución y características de los tipos de situaciones sinópticas (TSS), mientras, a escala local, en el contexto de una situación sinóptica dada, se identifican los diferentes tipos de estados del tiempo diarios, que están determinados por las peculiaridades físico-geográficas y otros factores de influencia local.

Entonces, las interacciones entre el estado del tiempo y las actividades del hombre ocurren al final de una larga cadena de procesos físicos interconectados, que son la génesis de *los efectos meteoro-trópicos*. Estos son el resultado, a escala

local, del macroproceso de la circulación atmosférica, del tipo de situación sinóptica y de la compleja integración de los elementos meteorológicos locales, que influyen simultáneamente sobre el hombre en un lugar y momento dado (Shvarieva, 1977). En consecuencia, estos efectos manifiestan características específicas en correspondencia con cada nivel de interacción.

La influencia de los procesos globales es determinante como marco general de referencia para generalizar los resultados científicos, ya que, a largo plazo, el cambio gradual de los patrones de adaptación de las distintas poblaciones también cambiará completamente el vínculo entre las condiciones del tiempo y los seres vivos. En esta escala la variabilidad multianual del clima, así como, la ocurrencia de un cambio climático global, tienen un peso determinante en las diversas formas de vida existentes en el planeta.

En la escala regional, la estacionalidad desempeña el papel determinante, ya que los cambios estacionales de los patrones de adaptación se expresan de manera secuencial de una estación del año a la siguiente, lo que condiciona las migraciones transitorias de grandes grupos de poblaciones animales y humanas.

En la escala local o de impacto es donde la influencia de las condiciones meteorológicas está relacionada con los cambios bruscos (contrastantes) a corto plazo del estado del tiempo, con la persistencia de ciertas condiciones atmosféricas predisponentes para la salud humana, así como, con la influencia de otros factores ambientales y físico-geográficos.

La climatología sinóptica es la rama de la climatología dedicada al estudio de la relación entre la circulación atmosférica y el medio ambiente en superficie. Para establecer esta relación, generalmente se transita por dos etapas (Barry y Perry 1973): la primera etapa es la clasificación de los procesos de la circulación atmosférica; mientras, la segunda se enfoca en la interrelación entre las categorías de circulación y los elementos del clima local en superficie (Yarnal y Draves, 1993).

Entonces, los mapas del tiempo permiten identificar la ubicación y características de los principales sistemas meteorológicos (masas de aire, altas y bajas presiones, vaguadas, etc.) que están presentes en una zona geográfica dada, en un día y hora específicos, por lo cual la clasificación primaria o esencial de los TSS influyentes sobre un territorio dado, parte de la agrupación de los mapas del tiempo (sinópticos) con contenidos similares. Dicho paso constituye una necesidad para poder realizar la climatología de los procesos atmosféricos que influyen sobre una región o país.

La clasificación manual subjetiva de los patrones de circulación atmosférica ha sido durante mucho tiempo un pilar de la metodología sinóptica-climatológica. La tipificación manual no se replica fácilmente pues requiere de un esfuerzo intenso por parte del

investigador, pero tiene como ventaja, que permite al analista informado una mayor comprensión de las sutilezas climáticas, que de otro modo podrían perderse (Yarnal *et al.*, 2001).

Internacionalmente varios investigadores han utilizado la clasificación manual regionalizada para asociar fenómenos meteorológicos a tipos de circulación. Davis *et al.* (1993) crearon una climatología sinóptica del nordeste de la costa atlántica de Norteamérica mediante la identificación de ocho tipos distintos de tormentas. Marroquin *et al.* (1995) utilizaron un método subjetivo para clasificar los días que pertenecen a la generación de mecanismos de lluvias basados en patrones de la topografía en 500 hPa y de superficie en Extremadura, España.

A finales de los años ochenta del siglo pasado se dio a conocer un criterio subjetivo de clasificación de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre Cuba, que tenían una relación definida con la ocurrencia o no de precipitaciones en el territorio nacional (Lapinel, 1988).

Casi simultáneamente, se desarrollan los primeros estudios sobre los procesos de circulación que influyen sobre Cuba (Lecha *et al.*, 1990; Sardiñas *et al.*, 1990), los cuales integraron el contenido del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1987) y del libro “El clima de Cuba” (Lecha *et al.*, 1994). Más recientemente, la clasificación de los TSS influyentes sobre Cuba ha tenido nuevas aplicaciones (Carrasco *et al.*, 2011 y López *et al.*, 2016), aunque existen trabajos que han presentado diferencias en la interpretación, identificación y clasificación de algunos subtipos complicados. Esto ha llevado a que se denominen de forma diferente situaciones sinópticas pertenecientes al mismo tipo o subtipo, al no tenerse en cuenta las indicaciones básicas establecidas por el autor en sus resultados originales, lo cual provoca diferencias en estudios que, supuestamente, han utilizado la misma clasificación de los TSS. Esto hace necesario aplicar criterios estandarizados y homogéneos que respeten los contenidos originales y realicen el control de los cambios o adiciones que sean agregados, para asegurar la continuidad y correcta actualización futura de esta importante base de datos.

Por tanto, el presente artículo presenta las principales características climáticas de los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre las mitades occidental y oriental de Cuba, para ofrecer los elementos de juicio y datos necesarios que permitan comprender como los procesos regionales de la circulación atmosférica actúan modulando el clima cubano, al mismo tiempo que ellos están condicionados por las influencias más generales de la circulación general de la atmosfera y demás componentes del sistema climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la clasificación diaria de los TSS influyentes sobre las regiones occidental y oriental de Cuba, se utilizaron progresivamente diferentes fuentes de información a lo largo del tiempo: los mapas sinópticos diarios (digitalizados) del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología desde el año 2001 hasta el 2022, complementados con los mapas isobáricos diarios del período 1970-2022, elaborados a partir de la información que ofrece el sitio web del Centro Nacional de Predicciones Ambientales de los EE.UU. ([www.esrl.noaa.gov/psd/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/)), para el área comprendida de 0° a 90° de latitud norte y de 0° a 180° de longitud oeste, con lo cual se garantizó una fuente homogénea de referencia para clasificar las situaciones sinópticas diarias.

A diferencia de la clasificación original de Lapinel (1988), ahora en la actualización realizada, se ha considerado la influencia de los TSS sobre las mitades occidental y oriental Cuba, extendiendo la misma hasta completar los 53 años del período 1970-2022. Desde el punto de vista taxonómico, la clasificación se organiza en cinco grupos o categorías fundamentales, nueve tipos y 20 subtipos, cuyas características detalladas están disponibles en publicaciones recientes (Lecha, 2019 y Lecha *et al.*, 2024).

A partir de la base de datos creada, se calcularon los estadígrafos de las series temporales correspondientes a los grupos, tipos y subtipos: las frecuencias absolutas y relativas por meses y años, los promedios mensuales y anuales, los valores extremos, las anomalías anuales de cada TSS con respecto al período 1981-2010 y se evaluaron los cambios y tendencias potencialmente existentes en las series, con ayuda del programa TrendSoft (Roura *et al.*, 2020).

El período de referencia de 1981 a 2010 se escogió para calcular las anomalías de las series temporales porque es el período intermedio de las series cronológicas analizadas y al calcular las anomalías anuales respectivas, se logra un balance o compensación ante los posibles efectos locales y los que puedan estar asociados a la variabilidad del clima global, se facilita el análisis de las variaciones y cambios experimentados por cada TSS hasta el presente, así como, el cálculo objetivo de las tendencias y posibles puntos de cambio presentes en las series. Además, es un período siguiente al importante punto de cambio que experimentan los macroprocesos de circulación longitudinales del sur en el área geográfica del Caribe occidental, ubicado en el año 1969, a partir del cual estos aumentan de manera rápida, comportamiento creciente que mantienen hasta el presente (Soler y Lecha, 2023).

**RESULTADOS**

**Las marchas anuales de los grupos de situaciones sinópticas**

La distribución anual de los cinco grupos de situaciones sinópticas (GSS) que influyeron sobre las mitades occidental y oriental de Cuba en el período 1970-2022 se muestra en la **Tabla 1**. La marcha anual muestra el predominio absoluto de los procesos anticiclónicos oceánicos, con una frecuencia mensual en occidente superior a 60 % en todos los meses del trimestre junio-agosto, condición que en la mitad oriental abarca todo el verano, o sea, desde junio hasta septiembre. El máximo estival en ambas regiones ocurre en julio, con 89.2 % en occidente y llega hasta 94.5 % en la mitad oriental del país.

En el resto de los meses del año cambia el origen de los procesos anticiclónicos predominantes sobre ambas mitades del país, pues la influencia oceánica da paso al predominio del GSS de las altas presiones continentales, que tienen sus máximos anuales en los meses de diciembre y noviembre, con 49.3 % en la mitad occidental y 38.7 % en la oriental, respectivamente.

En sus valores anuales, la frecuencia de los días con influencia anticiclónica oceánica en la mitad oriental es 6.8 % mayor que en occidente, pero esta condición se invierte para la frecuencia anual de la influencia anticiclónica continental, siendo en occidente 7.4 % mayor que en la mitad oriental.

El tercer GSS más frecuente es el de los sistemas frontales, con una frecuencia anual de 10.7 % en occidente y máximos mensuales superiores a 15 % en el trimestre diciembre-febrero; pero en la mitad oriental la frecuencia anual de este GSS es mayor que en occidente con 11.0 %; y el umbral mensual de 15 % se sobrepasa en todos los meses desde octubre hasta febrero, lo cual se explica por una mayor permanencia de los frentes sobre la mitad oriental de Cuba, en forma de frentes casi estacionarios y en estado de disipación.

A continuación, en cuarto lugar, se ubica el GSS de las situaciones con débil gradiente de presión, cuya

frecuencia anual es de 8.3 % en la mitad occidental y de 11.7 % en la oriental. Se observa todos los meses del año y tiene dos máximos anuales bien definidos: los del occidente ocurren en mayo (9.0 %) y septiembre (17.8 %); mientras que en la mitad oriental aumenta su frecuencia, pues exceden el 10 % en todos los meses del año excepto en el trimestre junio-agosto, siendo sus dos máximos mensuales sucesivos, porque ocurren en el bimestre septiembre-octubre, con valores de 18.8 % y 18.6 %, respectivamente.

Por último, la influencia del GSS de los procesos ciclónicos también muestra una clara diferencia estacional en la génesis de los procesos sinópticos que lo integran. De junio a noviembre se desarrolla la temporada ciclónica, mientras, que la presencia de las bajas extratropicales resulta predominante en los meses del período poco lluvioso, pero ambos grupos ciclónicos coexisten en los meses de transición estacional.

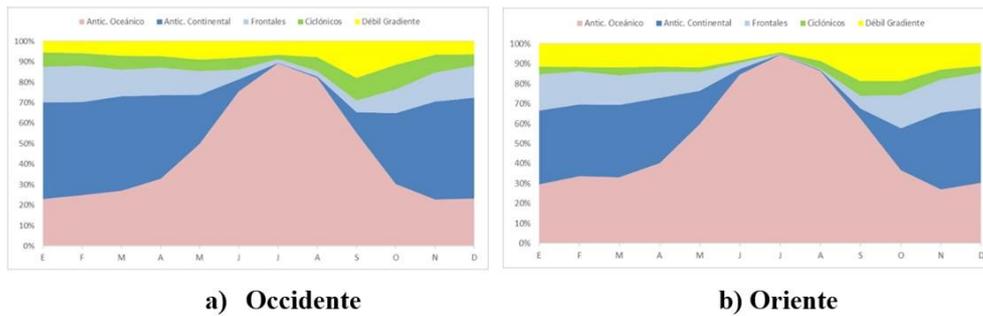
En ambas mitades del país el GSS ciclónico tiene sus valores mensuales más elevados en el trimestre septiembre-noviembre, asociados a procesos ciclónicos tropicales, con frecuencias mensuales por encima de 11 % en occidente y por encima de 7 % en oriente.

Los procesos extratropicales en la mitad occidental tienen frecuencias mensuales superiores a 6 % en el trimestre enero-marzo, con su máximo de 7 % en enero; pero en la mitad oriental la frecuencia mensual de los GSS ciclónicos de todo tipo es pequeña, equivalente a casi la mitad del valor en occidente. No obstante, en oriente se puede identificar un máximo secundario del GSS ciclónico en enero, con valor de 4.1 %, que puede relacionarse con la influencia de las bajas extratropicales que pueden llegar hasta ese extremo del país.

En la **Fig. 1** se muestra la marcha anual integrada de los GSS que influyen sobre ambas mitades de Cuba, notándose a simple vista la mayor amplitud y frecuencia de los procesos tropicales en oriente, a cambio de mayor amplitud y frecuencia de los procesos extratropicales en la mitad occidental.

**Tabla 1.** Frecuencias mensuales (en %) de los GSS que influyeron sobre Cuba en el período 1970-2022.

<b>OCCIDENTE</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>AÑO</b>
Ant. Oceánico	22.9	25.0	27.0	32.8	49.8	75.6	89.2	82.0	55.3	30.3	22.7	23.2	44.8
Ant. Continental	47.2	45.4	46.1	40.9	24.1	5.7	0.4	0.9	10.1	34.6	47.8	49.3	29.3
Sist. Frontales	17.5	17.7	13.1	13.3	11.5	4.8	1.8	2.6	5.6	11.7	14.1	15.6	10.7
Proc. Ciclónicos	7.0	6.1	6.8	5.8	5.6	5.8	2.1	6.8	11.2	11.9	8.9	5.5	7.0
Débil Gradiente	5.4	5.9	7.0	7.2	9.0	8.0	6.6	7.8	17.8	11.6	6.5	6.4	8.3
<b>ORIENTE</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>AÑO</b>
Ant. Oceánico	29.5	33.7	33.1	40.3	59.7	84.7	94.5	86.4	62.5	36.7	26.9	30.3	51.6
Ant. Continental	36.9	35.9	36.3	32.5	16.9	2.6	0.2	0.4	5.1	21.0	38.7	37.6	21.9
Sist. Frontales	18.0	16.5	14.7	12.9	9.4	3.0	0.3	0.6	6.3	16.5	16.3	17.3	11.0
Proc. Ciclónicos	4.1	2.4	4.0	3.0	2.3	1.4	0.7	4.1	7.3	7.3	5.3	3.7	3.8
Débil Gradiente	11.4	11.5	11.9	11.3	11.8	8.2	4.3	8.5	18.8	18.6	12.8	11.0	11.7



**Figura 1.** Marchas anuales (%) de los GSS en ambas mitades de Cuba.

**Las marchas anuales de los tipos de situaciones sinópticas**

Como se explicó en el análisis de los GSS, existen diferencias bien marcadas en el comportamiento anual (estacional) de los procesos sinópticos que influyen sobre Cuba, lo cual es también válido para el caso de los tipos de situaciones sinópticas (TSS), pues los tipos de génesis tropical son predominantes en los meses del período lluvioso, de la misma forma que los tipos extratropicales son más frecuentes en los meses del período poco lluvioso o invernal.

Las marchas anuales de los ocho tipos de situaciones sinópticas (TSS) que influyen sobre las mitades occidental y oriental de Cuba mantienen características similares, pero se pueden hacer valoraciones detallada para cada mitad, a partir del contenido de la [Tabla 2](#) siguiente.

Como se infiere de la tabla, en general, los TSS anticiclónicos predominan de forma absoluta en el transcurso del año, combinando alternativamente el predominio de la influencia oceánica con la continental. La primera entre los meses de mayo y septiembre en occidente; y con mayor duración en oriente, pues la influencia del anticiclón oceánico es

predominante desde abril hasta octubre. En el resto de los meses del año, predominan los tipos anticiclónicos continentales, con los máximos de frecuencia de la mitad occidental en diciembre (49.3 %) y los de la mitad oriental en noviembre (38.7 %).

El análisis detallado de las marchas anuales de los TSS en ambas mitades de Cuba se presenta en la combinación gráfica de la [Fig. 2](#). La estructura de las marchas anuales del TSS I en occidente y oriente no presenta grandes diferencias, aunque las frecuencias mensuales resultan ligeramente superiores en la mitad oriental, especialmente en el trimestre junio-agosto.

Esta misma característica se observa en el comportamiento de las marchas anuales del TSS II, pero la diferencia entre ambas mitades es mayor, porque en oriente las frecuencias mensuales de este TSS son mayores a las de occidente todos los meses del año, especialmente en mayo, junio y septiembre.

En el caso del TSS III sí se manifiesta un mayor contraste entre las estructuras de las marchas anuales de ambas mitades del país, siendo muy superiores las frecuencias mensuales en la mitad oriental; ambos máximos absolutos coinciden en septiembre, pero en la mitad oriental también se aprecia un máximo significativo de este TSS en octubre, el cual no tiene equivalente en la mitad occidental.

**Tabla 2.** Frecuencias mensuales (en %) de los TSS que influyeron sobre Cuba durante el período 1970-2022.

OCIDENTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
<b>I</b>	1.9	3.3	4.1	6.2	12.2	26.6	44.8	34.6	9.4	2.1	1.5	3.7	12.6
<b>II</b>	20.6	21.4	22.7	25.8	33.9	34.2	24.9	28.1	32.3	21.6	19.3	19.3	25.3
<b>III</b>	5.4	5.9	7.0	7.2	9.0	8.0	6.6	7.8	17.8	11.6	6.5	6.4	8.3
<b>IV</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	5.2	1.9	6.7	10.6	8.4	4.7	0.1	3.4
<b>V</b>	1.9	1.7	1.6	3.0	10.4	18.7	21.0	21.9	18.0	9.9	3.3	1.7	9.5
<b>VI</b>	7.0	6.1	6.8	5.8	2.7	0.6	0.2	0.1	0.6	3.5	4.2	5.4	3.6
<b>VII</b>	15.9	16.2	11.7	11.1	4.8	1.1	0.3	0.1	1.2	8.3	12.7	14.2	8.1
<b>VIII</b>	47.2	45.4	46.1	40.9	24.1	5.7	0.4	0.9	10.1	34.6	47.8	49.3	29.3
ORIENTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
<b>I</b>	3.5	4.3	5.0	7.8	15.3	30.4	48.3	35.1	10.2	3.5	2.3	4.9	14.3
<b>II</b>	25.9	29.0	27.8	31.8	39.7	40.8	27.5	30.9	39.8	26.9	22.9	24.8	30.6
<b>III</b>	11.4	11.5	11.9	11.3	11.8	8.2	4.3	8.5	18.8	18.6	12.8	11.0	11.7
<b>IV</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.4	0.7	4.1	7.2	5.0	2.8	0.5	1.9
<b>V</b>	0.7	0.9	1.5	2.1	8.7	15.8	18.9	20.9	17.5	12.6	4.5	1.6	8.9
<b>VI</b>	4.1	2.4	4.0	3.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.1	2.3	2.4	3.2	1.9
<b>VII</b>	17.4	15.9	13.6	11.5	5.4	0.8	0.1	0.1	1.3	10.1	13.6	16.3	8.8
<b>VIII</b>	36.9	35.9	36.3	32.5	16.9	2.6	0.2	0.4	5.1	21.0	38.7	37.6	21.9

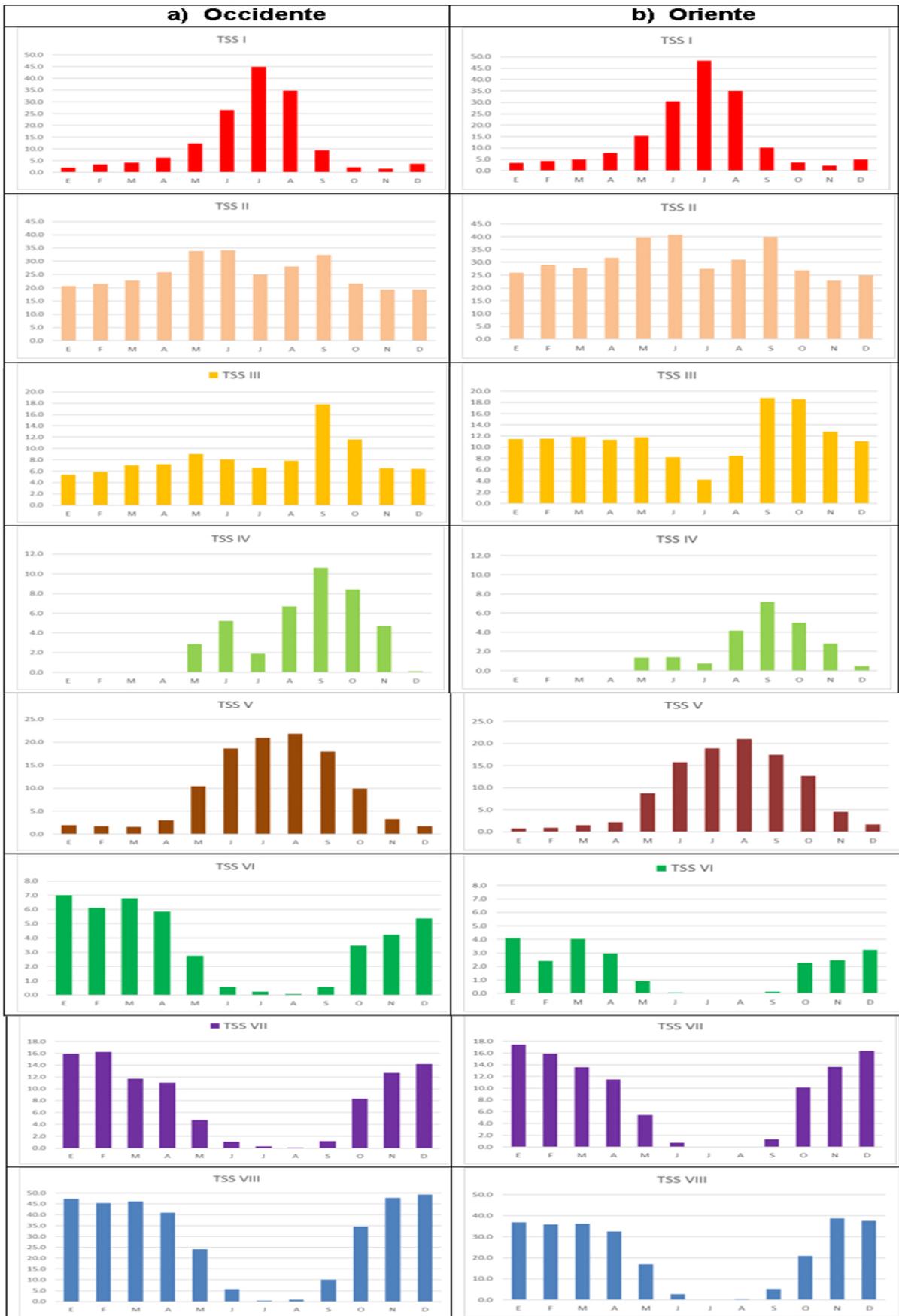


Figura 2. Marchas anuales (%) de los TSS en las mitades de Cuba.

Igual característica muestra el TSS IV, la frecuencia anual de afectación por ciclones tropicales en occidente casi duplica la de la mitad oriental, y en el caso específico del trimestre mayo a junio la frecuencia occidental triplica el valor de la oriental.

Las marchas anuales del TSS V en las mitades occidental y oriental son parecidas en su estructura general, aunque las frecuencias occidentales de este TSS en los meses desde enero hasta agosto son ligeramente superiores.

Como era de suponer, las características de las estructuras de las marchas anuales de los TSS representativos de los procesos extratropicales son predominantes en los meses del período poco lluvioso del año. Así, las frecuencias mensuales del TSS VI (ciclones extratropicales) en occidente superan ampliamente los valores de la mitad oriental todo el año; pero paradójicamente, ocurre lo contrario con la estructura del TSS VII, siendo mayores las frecuencias de oriente en este caso, lo cual obedece a la mayor persistencia de los frentes casi estacionarios y en estado de disipación en esa parte del país.

Las frecuencias mensuales del TSS VIII en la mitad occidental también sobrepasan ampliamente sus valores respectivos en la mitad oriental de Cuba, lo cual unido a los argumentos antes expuestos, aporta evidencias de la rápida transformación que está teniendo lugar en el clima de la parte más oriental de Cuba.

### Las marchas anuales de los subtipos de situaciones sinópticas

Las características de las marchas anuales de los subtipos de situaciones sinópticas (STSS) se presentan en la [Tabla 3](#), aportando nuevos detalles de interés.

En occidente los subtipos anticiclónicos son predominantes, la influencia cercana del anticiclón oceánico domina el bimestre julio-agosto, con frecuencias bimestrales de 32.4% para el subtipo 1 y de 47.0% para el subtipo 2; pero la influencia lejana (subtipos 3 y 4) mantiene una elevada frecuencia en todos los meses del año, por lo que resulta el STSS predominante anual en esta región cubana.

Otros tipos significativos en el verano son las ondas tropicales (subtipo 7) y las situaciones de débiles gradientes barométricos (subtipo 5), que también es frecuente todo el año, con su máximo de frecuencia bien definido en el bimestre septiembre-octubre (29.4%). La frecuencia mensual de los ciclones tropicales es también mayor en occidente durante el bimestre septiembre-octubre, con valores de frecuencia iguales a 10.6% y 8.4%, respectivamente.

Por su parte, la influencia anticiclónica continental es predominante en los meses poco lluviosos o invernales, es decir: desde noviembre hasta abril. Además, en los meses invernales resulta significativa la incidencia de los frentes fríos clásicos (subtipo 13) con el 4.5% de los días del año.

En la mitad oriental del país el comportamiento de la marcha anual de los STSS difiere más de lo que podía suponerse, con respecto a la mitad occidental. Como se aprecia en la [Tabla 4](#), durante el verano la influencia conjunta de los subtipos del anticiclón oceánico (tanto cercana como lejana) es superior 118.5% a la incidencia en occidente. Lo mismo sucede con la frecuencia del subtipo 5 que excede en 141% la frecuencia de este subtipo en la mitad occidental; pero en contraposición, la influencia de los ciclones tropicales en oriente es mucho menor, solo 56% del valor en occidente; mientras que la influencia de las ondas tropicales sigue siendo importante en los

**Tabla 3.** Frecuencias mensuales (%) de los STSS que influyeron sobre el occidente de Cuba durante el período 1970-2022.

OCCIDENTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
1	0.1	0.3	0.5	0.8	1.7	7.6	18.0	14.4	4.1	1.1	0.4	0.8	4.2
2	1.9	3.0	3.5	5.4	10.5	19.0	26.8	20.2	5.3	1.0	1.1	2.9	8.4
3	13.6	12.0	11.6	12.5	15.6	17.6	15.2	15.5	16.7	13.0	13.9	13.5	14.2
4	7.1	9.4	11.1	13.3	18.3	16.6	9.7	12.6	15.6	8.5	5.5	5.8	11.1
5	5.4	5.9	7.0	7.2	9.0	8.0	6.6	7.8	17.8	11.6	6.5	6.4	8.3
6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	5.2	1.9	6.7	10.6	8.4	4.7	0.1	3.4
7	0.4	0.3	0.2	0.8	3.7	14.9	19.5	19.4	13.6	6.6	1.9	0.3	6.8
8	1.6	1.5	1.3	2.3	6.7	3.8	1.5	2.5	4.4	3.4	1.4	1.4	2.6
9	1.5	1.3	1.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.5
10	0.4	0.3	0.6	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.2	0.2
11	2.9	2.6	2.5	2.6	1.5	0.2	0.1	0.0	0.2	1.4	2.3	2.6	1.6
12	2.3	2.0	2.4	2.3	0.9	0.3	0.1	0.0	0.3	1.2	1.4	2.1	1.3
13	10.3	10.1	8.2	6.0	2.1	0.2	0.1	0.0	0.1	3.3	6.0	8.5	4.5
14	1.7	1.7	0.5	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	2.1	1.4	0.8
15	2.1	2.4	1.1	1.9	0.7	0.3	0.0	0.1	0.5	2.0	2.1	2.3	1.3
16	1.8	2.0	1.9	2.3	1.6	0.6	0.2	0.0	0.6	2.0	2.4	2.1	1.4
17	13.7	11.3	8.5	6.4	2.5	0.2	0.1	0.1	0.4	4.3	9.1	10.3	5.5
18	19.6	20.0	19.9	16.7	10.9	2.5	0.3	0.4	5.9	19.3	21.4	22.2	13.2
19	13.9	14.1	17.8	17.8	10.7	3.0	0.0	0.3	3.8	11.0	17.3	16.8	10.5

meses de junio a septiembre, con frecuencia mensual superior a 10% y un comportamiento semejante al de la mitad occidental.

Las diferencias más notables se aprecian en el comportamiento de los STSS predominantes durante los meses poco lluviosos. El subtipo 17 baja notablemente su frecuencia con respecto a occidente, y de conjunto, la influencia de las masas de aire continentales sobre la mitad oriental ocurre solo en el 75% de los días que estos sistemas influyen sobre el occidente del país.

Lo mismo sucede con las frecuencias de afectación por bajas extratropicales y sistemas frontales, las cuales disminuyen en la mayoría de los STSS analizados, con la única excepción de los frentes casi estacionarios y en disipación (subtipos 15 y 16).

Lo novedoso en la estructura de la marcha anual de los 19 subtipos de situaciones sinópticas que influyen sobre el occidente y oriente de Cuba está dado por la existencia bien definida de cuatro periodos climáticos diferentes: el verano, el invierno y dos períodos de transición estacional (Fig. 3), lo que permite

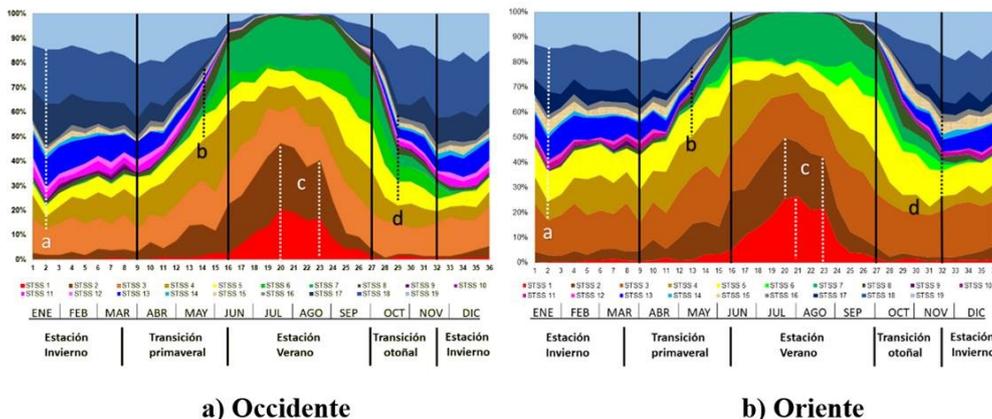
argumentar bien la existencia de cuatro estaciones climáticas en Cuba (Soler *et al.*, 2020).

Este resultado, confiable y obtenido con información regional y de todo el país, debe ser considerado para actualizar la descripción de las principales características del clima cubano, pues como se ha demostrado anteriormente: las épocas o estaciones del año pueden ser identificadas por los periodos con elevada estabilidad de las frecuencias de ocurrencia de los diferentes subtipos o cuando algunos alcanzan sus máximos estacionales.

De esta forma, el verano y el invierno representan los habituales extremos térmicos estacionales y están bien definidos, respectivamente, por la influencia cercana de las altas presiones oceánicas (subtipos 1 y 2) y las altas presiones migratorias de origen continental (subtipos 17 al 19); pero un análisis más detallado de la marcha anual de los STSS permite definir dos períodos de transición entre ambas épocas climáticas principales, lo cual aporta elementos novedosos y de interés.

**Tabla 4.** Frecuencias mensuales (%) de los STSS que influyeron sobre el oriente de Cuba durante el período 1970-2022.

ORIENTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
1	0.2	0.6	1.0	1.3	2.6	9.7	23.4	16.9	3.6	1.1	0.9	0.9	5.2
2	3.2	3.7	4.0	6.5	12.7	20.7	24.9	18.1	6.6	2.4	1.3	4.0	9.1
3	17.3	16.4	15.1	16.1	20.0	21.4	18.8	19.5	24.9	18.8	18.5	18.8	18.8
4	8.6	12.6	12.7	15.7	19.6	19.4	8.7	11.4	14.9	8.0	4.3	6.0	11.8
5	11.4	11.5	11.9	11.3	11.8	8.2	4.3	8.5	18.8	18.6	12.8	11.0	11.7
6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.4	0.7	4.1	7.2	5.0	2.8	0.5	1.9
7	0.1	0.3	0.3	0.8	4.7	13.5	18.6	20.4	12.5	6.3	1.8	0.7	6.7
8	0.6	0.6	1.2	1.4	4.0	2.3	0.2	0.5	5.0	6.3	2.7	1.0	2.2
9	0.5	0.5	1.1	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.3	0.3
10	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.2	0.1
11	2.1	1.3	1.7	1.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	1.0	1.4	2.0	1.0
12	1.3	0.5	1.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.8	0.8	0.5
13	9.6	9.0	8.1	5.3	1.6	0.1	0.0	0.0	0.1	2.6	5.4	8.0	4.1
14	1.3	1.1	0.7	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	1.0	1.9	0.9	0.7
15	4.3	3.1	2.6	2.7	1.4	0.4	0.0	0.1	0.4	4.8	3.5	4.6	2.3
16	2.2	2.6	2.2	2.6	2.2	0.2	0.1	0.0	0.7	1.8	2.8	2.8	1.7
17	6.8	5.9	4.1	2.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3	4.5	5.5	2.6
18	16.2	15.9	15.1	12.9	6.9	0.8	0.2	0.2	1.8	11.0	17.4	16.3	9.5
19	14.0	14.2	17.1	17.0	9.5	1.9	0.1	0.2	3.3	8.7	16.8	15.8	9.8



**a) Occidente**

**b) Oriente**

**Figura 3.** Marchas anuales (%) de los STSS en las mitades de Cuba.

En la **Figura 3** los STSS están ordenados según su codificación (1 a 19), de abajo hacia arriba. El análisis es presentado utilizando la decena como escala mínima temporal, lo que permite identificar la principal variación sinóptico-climática subestacional de cada estación. Las líneas negras verticales continuas señalan las fronteras temporales de los periodos estacionales; mientras, los segmentos discontinuos blancos marcan los valores máximos de frecuencias relativas de los STSS en invierno y verano; así como, los discontinuos negros sitúan el cambio de signo del índice que determina la diferencia parcial de los días con influencia de los subtipos no anticiclónicos (DPDNOA), con respecto a los días con influencia anticiclónica migratoria, para cada decena del año, según la expresión siguiente:

$$DPDNOA(1,2...36) = \sum_5^{16} Fa_{STSS} - \sum_{17}^{19} Fa_{STSS} \quad (1)$$

Donde: *DPDNOA* se calcula para cada una de las decenas del año de 1 a 36.

$\sum_5^{16} Fa_{STSS}$ : incluye los STSS desde el 5 al 16, es decir, situaciones de débiles gradientes de presión (5), ciclones tropicales (6), ondas tropicales, vaguadas y zonas de convergencia en el flujo de los oestes (7 y 8), bajas extratropicales (9 al 12) y frentes fríos (13 al 16)

$\sum_{17}^{19} Fa_{STSS}$ : contiene las situaciones de influencia anticiclónica migratoria de origen continental (17, 18 y 19).

Las cuatro estaciones inician y terminan en las mismas decenas del año para ambas regiones de Cuba, lo que demuestra, mediante los métodos de la Climatología Sinóptica, que existe un mismo tipo de clima para todo el archipiélago cubano.

**El invierno (diciembre-marzo):** su presencia se manifiesta desde finales de noviembre, marcado por la baja variabilidad de las frecuencias en la mayoría de los STSS, a escala mensual completa el cuatrimestre diciembre-marzo. Las situaciones de débiles gradientes actúan, en muchos casos, como situación de amortiguamiento en los cambios entre los STSS tropicales y los extratropicales, siendo predominante la influencia del anticiclón migratorio en estado de transformación (18).

**El tránsito primaveral (abril-mayo):** su principal característica es la variación de las frecuencias de ocurrencia, con la rápida disminución de los STSS extratropicales (8 al 19); por consiguiente, el aumento en las frecuencias de los STSS tropicales (cálidos), con la aparición de los subtipos asociados a los ciclones y ondas tropicales (6 y 7). Es predominante la influencia lejana del flujo anticiclón oceánico, con las isobaras extendidas en forma alargada desde el océano Atlántico hasta el golfo de México, sin o con perturbaciones ondulatorias (subtipos 3 y 4).

**El verano (junio-septiembre):** queda caracterizado por la influencia casi exclusiva de los STSS tropicales;

y en particular, durante el pleno verano (bimestre julio-agosto), la influencia cercana del anticiclón oceánico (1 y 2) es casi absoluta, cuando sus isobaras en forma de cuña atraviesan todo el mar Caribe y penetran hasta México, imponiendo un flujo de vientos del primer o segundo cuadrantes.

**El tránsito otoñal (octubre-noviembre):** es elevada la variación de las frecuencias de ocurrencia, disminuyendo para los STSS tropicales y aumentando para los extratropicales. Las situaciones de débiles gradientes de presión (5) alcanzan sus mayores frecuencias, así como los ciclones tropicales (6).

En la estructura de la marcha anual de los STSS para ambas mitades de Cuba, también resulta posible identificar la principal variación sinóptico-climática subestacional en cada estación del año, las que presentan importantes diferencias entre las regiones, como se describe en la caracterización siguiente:

- a. **Máximo de influencia extratropical (enero, decena 2):** A mediados del invierno se alcanza, con valores específicos para cada región, el máximo de frecuencias relativas de ocurrencia correspondientes a la influencia de los anticiclones migratorios (17, 18 y 19) y los frentes fríos (13 al 16); en detrimento de la influencia del anticiclón oceánico (1, 2 y 4), mientras, la influencia anticiclónica subtropical oceánica extendida (3) permanece con poca variación.
- b. **Cambio a positivo en la DPDNOA (mayo, decena 14 en occidente y 13 en oriente):** Momento dentro del periodo de transición primaveral en que la diferencia parcial de la frecuencia absoluta entre los STSS no anticiclónicos ( $\sum_5^{16} Fa_{STSS}$ ) y la de los anticiclónicos migratorios ( $\sum_{17}^{19} Fa_{STSS}$ ) se hace positiva. Su ocurrencia con una decena de antelación en oriente respecto a occidente, indica el sentido (este-oeste) en que avanza el incremento de las frecuencias de los STSS tropicales (1 a 7) que predominarán durante la siguiente estación de verano.
- c. **Máximo de influencia tropical (julio, decena 20):** El máximo de frecuencias relativas de ocurrencia correspondientes a la influencia cercana del anticiclón oceánico (1 y 2) se alcanza en el pleno verano, con valores específicos para cada región, aunque en oriente el STSS (1) presenta un ligero corrimiento a la decena 21. Un máximo secundario se presenta a mitad de agosto (decena 23). En el periodo entre ambos picos (decenas 20 y 23) se reduce a cero la influencia de los anticiclones migratorios (17, 18 y 19).
- d. **Cambio a negativo en la DPDNOA (octubre, decena 29 en occidente y noviembre, decena 32 en oriente):** Presenta el mayor corrimiento

temporal observado de una variación sinóptico-climática subestacional entre el occidente y el oriente de Cuba. Es el momento dentro del periodo de transición otoñal en que la diferencia parcial de la frecuencia absoluta entre los STSS no anticiclónicos ( $\sum_5^{16} Fa \text{ STSS}$ ) y la de los anticiclónicos migratorios ( $\sum_{17}^{19} Fa \text{ STSS}$ ) se hace negativa. Su ocurrencia con tres decenas (un mes) de antelación en occidente respecto a oriente, es un fuerte indicador del predominio que los STSS tropicales (1 a 7) mantienen sobre el este del país, aún durante este periodo transicional, permitiendo discretos incrementos en los valores de frecuencias de los STSS extratropicales (8 al 19). Esto obliga al índice DPDNOA a cambiar de signo al final del periodo, coincidiendo con el inicio del invierno, lo que provoca un cambio más abrupto que en occidente, donde este cambio ocurre poco a poco, como indican las pendientes de las variaciones de frecuencias.

La DPDNOA contiene la variación relativa de los STSS asociados a los procesos de precipitación en Cuba. Su comportamiento estacional, en paralelo a la influencia anticiclónica subtropical oceánica en su fase positiva, brinda una medida sobre como la circulación atmosférica regional favorece o no los procesos de precipitación durante un periodo climático de referencia.

Los cambios de signos de la DPDNOA en la marcha anual, constituyen la principal variación sinóptico-climática subestacional que caracteriza a los periodos de transición estacional en Cuba.

En la variabilidad multianual, mientras en el occidente disminuye drásticamente la DPDNOA hasta tomar valores negativos entre 2010 y 2019, lo que

es un signo de incremento relativo de la influencia anticiclónica migratoria; en oriente crece hasta superar el doble de su valor en la década inicial del estudio.

Entre los STSS involucrados en ese incremento están las situaciones de débiles gradientes y frentes estacionarios o en procesos de disipación, según las épocas del año. Por lo que es un claro indicador de los cambios regionales que están ocurriendo en el clima de Cuba, los que afectan a los STSS representativos de los procesos físico-meteorológicos más complejos y menos frecuentes, lo que dificulta su estudio. Su comportamiento en el occidente de Cuba ha cambiado a partir de la década de los años 80, respecto a la década anterior, y su evolución es de signo contrario a lo que sucede en el oriente de Cuba.

### Características de las marchas multianuales de los GSS

La influencia anticiclónica domina la incidencia de los GSS durante todos los años del período analizado en ambas mitades de Cuba, siendo predominante la influencia subtropical oceánica (Fig. 4).

La frecuencia anual total del GSS anticiclónico oscila entre 67 % y 83 %, con los valores más elevados en la mitad oriental. La serie tiene una variabilidad interanual importante, que se manifiesta en los contrastes o cambios notables que suceden en determinados intervalos de años, al inicio de la serie y en el primer decenio del siglo XXI, especialmente en oriente.

La Fig. 5 muestra las marchas multianuales de la frecuencia del GSS anticiclónico oceánico en ambas mitades de Cuba. Existe una variabilidad importante de su incidencia sobre ambas mitades, con aumentos significativos en varios intervalos de años consecutivos, como sucede entre 1973 y 1977, entre

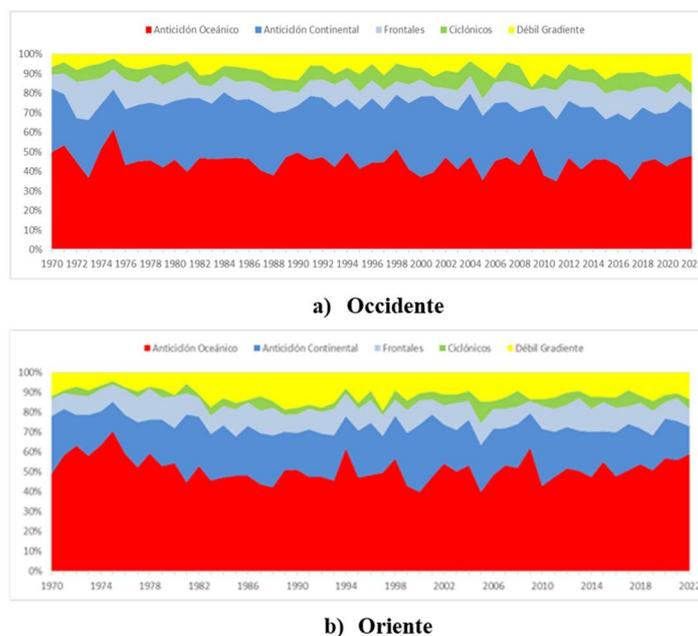
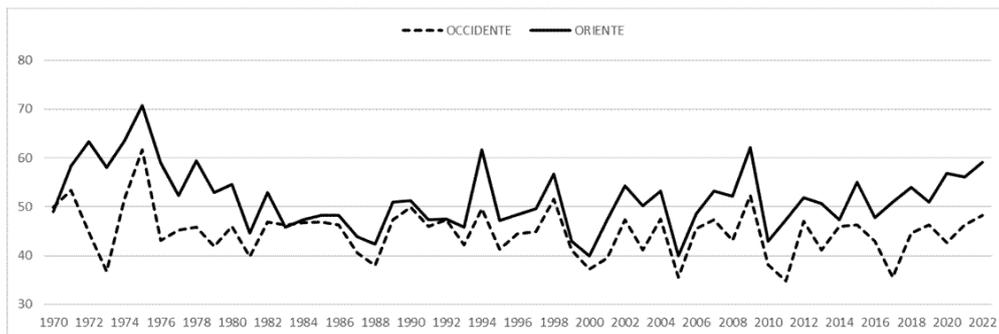


Figura 4. Marchas multianuales (%) de los GSS en las mitades de Cuba.



**Figura 5.** Marchas multianuales de las frecuencias de días del grupo anticiclónico oceánico en las mitades de Cuba (1970-2022).

1993 y 1997, en el 2009 y desde el año 2020 al presente; pero en la mitad oriental la frecuencia anual de este grupo es mayor que en occidente a lo largo de toda la serie y desde el año 2010 está aumentando rápidamente.

Por su ubicación geográfica y forma alargada, la influencia del anticiclón oceánico del Atlántico Norte sobre Cuba da lugar a una marcada influencia marítima en el clima cubano, hecho que determina la existencia de un eficiente sistema de brisas marinas y teral, que interactúa vectorialmente con los vientos Alisios en la periferia del anticiclón oceánico. Esto lleva a una mayor profundidad e intensidad de la brisa marina en la costa norte, cuando la resultante vectorial de escala sinóptica es del primer cuadrante, o a la mayor profundidad y reforzamiento de la brisa marina en la costa meridional, cuando dicha resultante vectorial es del segundo cuadrante. Estas interacciones producen complejos sistemas de circulación en la mesoescala, incluyendo la formación de una línea o zona de convergencia diurna, formada por la convergencia entre las brisas de ambas costas, reforzadas por los Alisios.

El proceso que mejor caracteriza la influencia del TSS I sobre Cuba es la penetración en forma de cuña del anticiclón subtropical oceánico hasta México y la porción sudeste de los EE.UU. Es frecuente en esos días la formación de un centro anticiclónico secundario muy cerca o sobre Cuba, por lo cual disminuye la nubosidad, la intensidad de los vientos y es escasa la ocurrencia de precipitaciones.

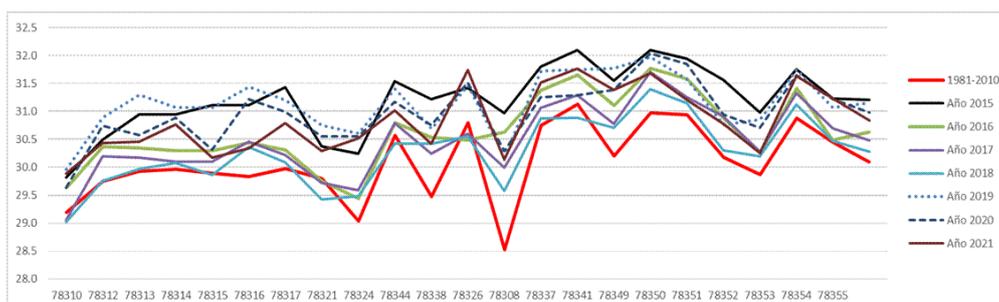
Como contraparte, la elevada radiación solar incidente contribuye al aumento notable de la

temperatura del aire en horas de la tarde y noche, siendo esta condición meteorológica muy favorable para la ocurrencia de los episodios de calor intenso (Fig. 6), que han venido aumentando su frecuencia estival y anual en los últimos años.

La gran mayoría de los promedios de la temperatura máxima anual de los años 2015 al 2021 superan el promedio de referencia del período 1981-2010, llegando a ser notable la diferencia en los casos de Punta del Este (78324), con más de 1.5°C desde 2019 y La Piedra (78308), con más de 2.5°C en el año 2015.

La Fig. 7 presenta las marchas multianuales del GSS anticiclónico continental en las dos mitades del país. Como era de esperar, ahora el comportamiento de las marchas multianuales está invertido con respecto al comportamiento del anticiclón subtropical oceánico, siendo la frecuencia anual en occidente un 5 % mayor del valor observado en la mitad oriental y ambas series muestran una disminución de su incidencia anual desde los años iniciales del siglo XXI, regularidad que concuerda con el aumento de la influencia oceánica y con los cambios observados en las duraciones respectivas del período estival (aumento) e invernal (disminución), respectivamente.

El comportamiento de los sistemas frontales también aporta elementos interesantes sobre las variaciones que se observan en el clima cubano, asociados a los cambios del clima global. Como muestra la Fig. 8, después de un máximo notable de la incidencia anual en la mitad occidental, ocurrido en el bienio 1972-1973, la marcha multianual de los procesos frontales adquiere un ritmo regular a lo largo del período estudiado, similar en ambas mitades del



**Figura 6.** Temperaturas máximas medias (°C) de los años 2015-2021 comparadas con el promedio 1981-2010 de estaciones seleccionadas de Cuba.

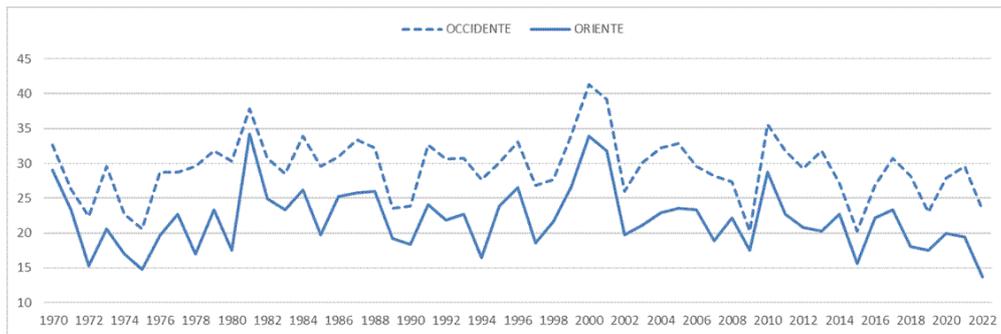


Figura 7. Marchas multianuales de las frecuencias de días del grupo anticiclónico continental en las mitades de Cuba (1970-2022).

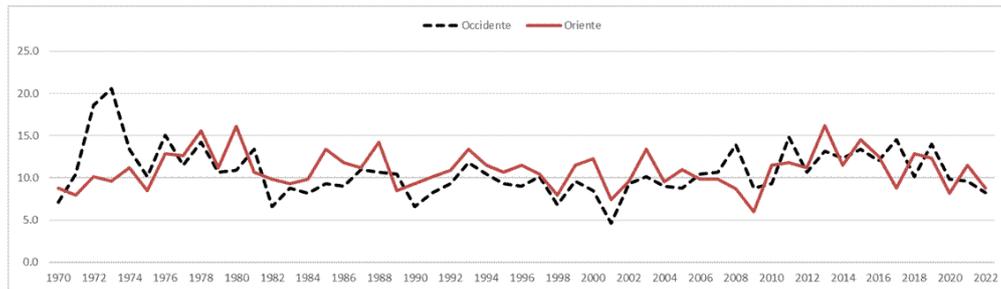


Figura 8. Marchas multianuales de las frecuencias días del grupo sistemas frontales en las mitades de Cuba (1970-2022).

país, caracterizado por una disminución relativa de la influencia de los sistemas frontales entre 1990 y el año 2009, un aumento gradual de su frecuencia anual desde el año 2010, para comenzar a descender nuevamente en los últimos años.

El análisis de las marchas multianuales de los tipos y subtipos que integran el GSS de los sistemas frontales, aporta algunos aspectos de interés, tales como:

- La frecuencia anual del subtipo 13 (clásicos) muestra una disminución general en ambas mitades de Cuba a lo largo del período estudiado, pero aumenta desde el año 2010 en ambas mitades del país, siendo el proceso más acentuado en la mitad occidental.
- Las frecuencias anuales del subtipo 14 (revesinos) también aumentan a partir del año 2010 en ambas mitades del país, siendo el proceso más acentuado en la mitad occidental.
- Los sistemas frontales cruzaban fácilmente las regiones occidental y central hasta el año 2010, pero desde esa fecha está aumentando la frecuencia anual de los frentes fríos casi estacionarios en la mitad occidental, al tiempo que en la mitad oriental se observa una disminución general de su incidencia, con algunas excepciones en años recientes.
- Después de un máximo absoluto en los años iniciales de la serie de la mitad occidental, los frentes en estado de disipación disminuyen gradualmente, hasta experimentar un nuevo aumento de su incidencia anual desde el año 2005 hasta el presente. En la mitad oriental los frentes en

disipación muestran un aumento gradual a lo largo de todo el período.

Otro de los elementos interesantes que aportan los sistemas frontales es el cálculo de la duración (en días) del período que transcurre la influencia del primero hasta el último proceso frontal de cada año, pues este resultado puede ser utilizado como una primera aproximación de la duración del período con actividad frontal en el país. En este caso, como base del cálculo se tomaron los días con influencia de los frentes clásicos (subtipo 13), y en la Fig. 9 se muestra la duración anual (en días) del período con actividad frontal en las mitades occidental y oriental de Cuba, o sea: la cantidad de días con incidencia de procesos frontales clásicos en cada mitad del país.

Como era de suponer, llegan más frentes clásicos a la mitad occidental que a la oriental: 880 contra 797, por lo cual 83 frentes clásicos (subtipo 13) cambiaron su clasificación durante su recorrido hacia el este y aparecen como otro subtipo frontal (casi estacionario o en disipación) o no llegaron a la mitad oriental del territorio nacional (disipación en la mitad occidental). Además, se debe destacar que hay años con una duración muy corta del período con actividad frontal, como sucedió en 2002 en ambas mitades, así como en los años 2011 y 2021 en la mitad oriental.

Por su parte la influencia de los procesos ciclónicos sobre Cuba está muy bien determinada estacionalmente. Los ciclones tropicales ocurren durante la llamada “temporada ciclónica”, que se extiende desde el 1 de junio al 30 de noviembre de cada año; mientras, que los ciclones extratropicales influyen sobre el país en la otra temporada del año,

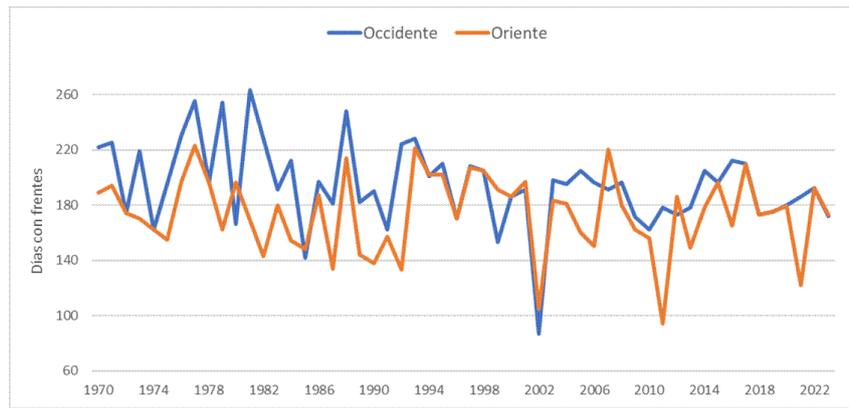


Figura 9. Duración del período con actividad frontal en las mitades de Cuba (1970-2022).

o sea, en los meses desde noviembre hasta mayo; aunque, en ambos casos se han registrado ejemplos extemporáneos (Fig. 10).

En los años del actual siglo XXI, la afectación anual al país por estos procesos sinópticos ha aumentado; y en algunos años como el 2005, se incrementa dramáticamente. En el período estudiado desde 1970 hasta el 2022, la mitad occidental de Cuba ha tenido una afectación por ciclones tropicales de 655 días, siendo esta cifra de solo 373 días en la mitad oriental. En ambas mitades del país se observa también un aumento de la incidencia de estos sistemas a partir de la última década del siglo XX.

Sin embargo, el comportamiento de las bajas o ciclones extratropicales resulta más complejo por su diversidad de influencias y por los cambios recientes observados en estos procesos sinópticos. Los cuatro STSS que describen a los ciclones extratropicales tienen marchas multianuales muy diferentes y se pueden destacar varios aspectos que expresan sus principales características:

- Las frecuencias observadas de los ciclones extratropicales en la mitad occidental casi duplica el valor de la mitad oriental, con cifras totales de 692 días y 357 días, respectivamente.
- Disminuyen a lo largo del período estudiado los días con incidencia dentro de la circulación cerrada de las bajas extratropicales (subtipos 9 y 10),

mientras, aumentan los casos con incidencia fuera de la circulación cerrada de la baja, especialmente con presencia de actividad prefrontal (subtipo 11).

- Se observa un traslado de la zona de formación de bajas extratropicales del noroeste del Golfo de México hacia el norte, y ahora se ubica sobre la porción meridional de los EE.UU.
- Se observa el gradual desarrollo de una nueva zona de formación de bajas extratropicales al norte y cerca de Cuba, entre la Florida y las Bahamas, asociada a la cola de largos sistemas frontales casi estacionarios sobre aguas del Atlántico occidental, que se activan por la llegada de hondonadas en el flujo de los vientos del Oeste, como sucedió en el caso del tornado de la Habana el 27 de enero de 2019.

Las bajas extratropicales y sus frentes asociados constituyen procesos sinópticos altamente meteorotrópicos, causantes de fenómenos meteorológicos peligrosos, agudos contrastes del estado del tiempo y con capacidad de producir numerosas y variadas meteoropatías entre los grupos más vulnerables de la población.

Los días con el GSS de los gradientes de presión débiles, han estado aumentando su frecuencia anual en todo el país durante los últimos 10 años, proceso que resulta más evidente en la mitad oriental (Fig. 11).

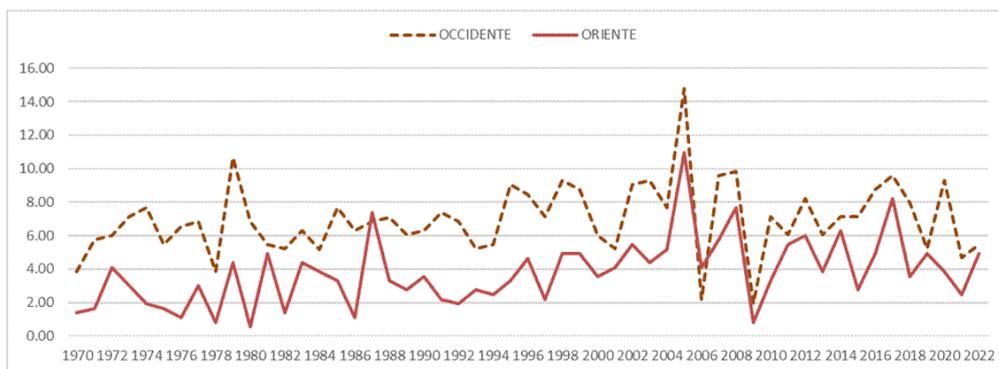
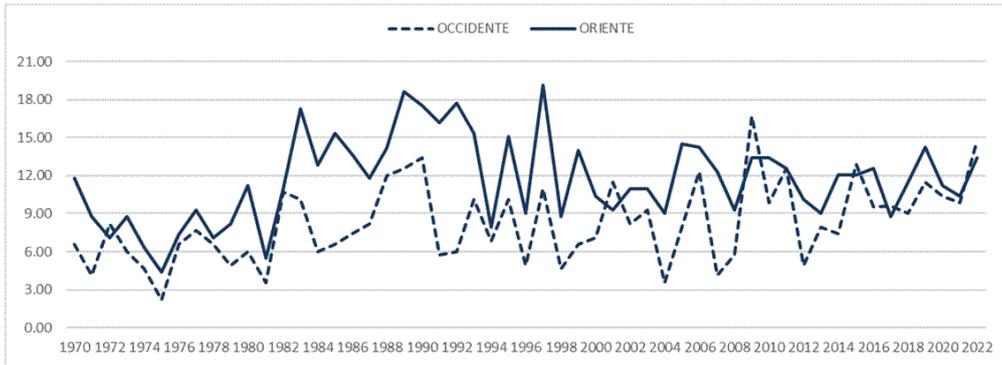


Figura 10. Número de días con influencia del GSS ciclónico en las mitades de Cuba (1970-2022).



**Figura 11.** Número de días con gradientes de presión débiles en las mitades de Cuba (1970-2022).

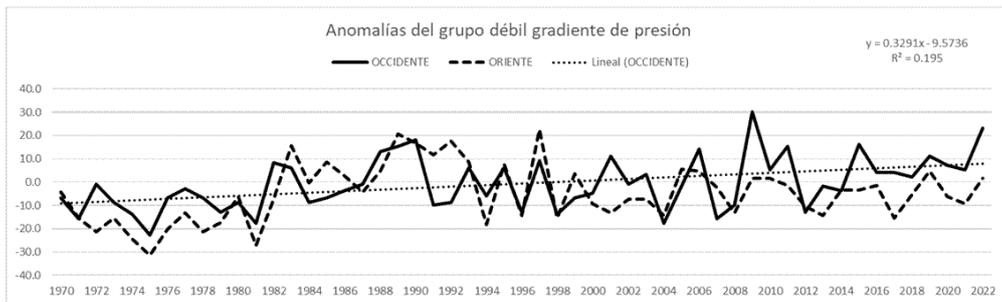
Este tipo de situación sinóptica (STSS 5) tiene características estacionales muy peculiares: en el verano representa la ocurrencia de días muy cálidos, con altas temperaturas ambientales y poco viento, favorables para el desarrollo de los procesos convectivos locales y de mesoescala, por lo cual suelen ser días con numerosas precipitaciones, que pueden ser localmente intensas. Pero en los meses invernales este STSS actúa como un patrón de amortiguamiento en los cambios de los procesos tropicales a los extratropicales; ocurre especialmente antes de la llegada a Cuba de los sistemas frontales típicos del invierno, resulta un precursor de los “Sures”; y caracteriza los períodos de menor influencia (lejanía) del anticiclón subtropical oceánico, por lo cual se asocia a la presencia de días cálidos dentro del invierno, pero con buen tiempo: soleados y sin precipitaciones, con noches confortables.

### Anomalías en las series anuales de los GSS

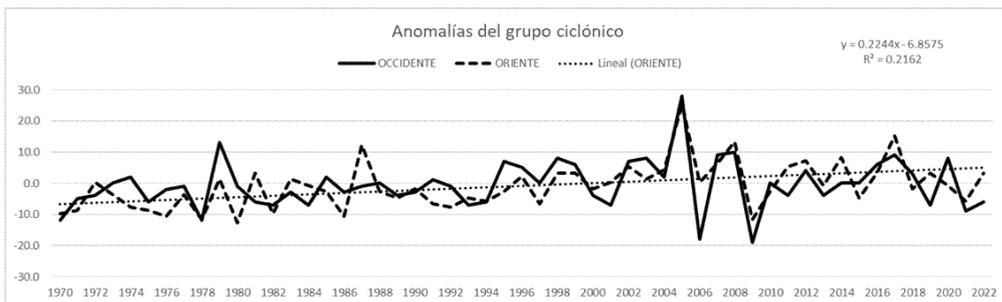
Las anomalías anuales de las series de los GSS occidentales, calculadas con respecto al período de referencia 1981-2010, no muestran comportamientos definidos, con la única excepción del GSS débiles gradientes de presión (Fig. 12) que manifiesta un aumento sostenido de sus anomalías positivas durante el período analizado, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.1950$ .

En el caso de la mitad oriental solo el GSS ciclónico tiene una marcha creciente de sus anomalías anuales, ajustada a una función lineal con coeficiente de regresión cuadrático  $R^2 = 0.2162$  (Fig. 13).

Sin embargo, en ambos casos el modelo de regresión lineal es de baja calidad, lo que indica que la variable predictora proporciona alguna información acerca de la variación de los datos de la serie, a pesar de la alta variabilidad de los puntos de datos respecto a la línea de regresión.



**Figura 12.** Anomalías anuales (días) del GSS de débiles gradientes en las mitades de Cuba (1970-2022).



**Figura 13.** Anomalías anuales (días) del GSS ciclónico en las mitades de Cuba (1970-2022).

**Tendencias en las series anuales de los GSS, TSS y STSS**

El análisis de las tendencias y las anomalías existentes en las series anuales de los TSS resulta importante para estimar mediante técnicas estadísticas el comportamiento futuro de algunos TSS de especial significado, como sucede con los huracanes, los frentes fríos intensos y otros TSS asociados a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos peligrosos; analizar las causas más probables de los cambios y evaluar los posibles comportamientos anómalos o extremos, principalmente si existe algún vínculo con el impacto del cambio climático.

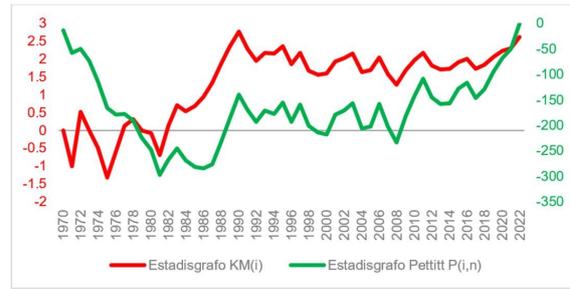
A partir del cálculo de los promedios anuales de todas las series temporales, se aplicó caso a caso el programa *TrendSoft* para determinar las características de las series, sus posibles tendencias y puntos de cambio.

Los resultados de este proceso para la mitad occidental de Cuba se integran en la [Tabla 5](#), que contiene las series para las que se determinó la existencia de tendencias y su punto de cambio en el período 1970-2022.

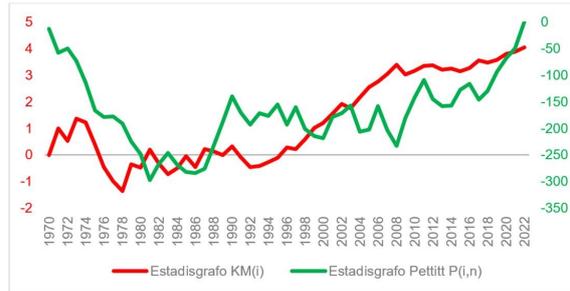
Como se observa en la [Fig. 14](#), los días con débiles gradientes de presión atmosférica, correspondientes al grupo GSS 5, que incluye el TSS III y el subtipo STSS 5, presentan tendencia significativa creciente, al nivel de confianza del 95 %, con punto de cambio en 1981.

También, fue determinada tendencia significativa creciente, para los frentes fríos casi estacionarios, pero solo en el nivel de subtipos (STSS 15), con punto de cambio en 2005. Los resultados obtenidos con el programa *TrendSoft*, aplicados a las series de la mitad oriental se brindan en la [Tabla 6](#). Es evidente que en esta mitad se definen más series con tendencias específicas y puntos de cambio que en la mitad occidental.

Entre las series con tendencias significativas crecientes, al nivel de confianza del 95 %, están las situaciones ciclónicas tropicales contenidas en el GSS



**Figura 14.** Estadígrafos de Kendall-Mann y Pettitt para los débiles gradientes de presión en la mitad occidental de Cuba (1970-2022).



**Figura 15.** Estadígrafos de Kendall-Mann y Pettitt para los ciclones tropicales en la mitad oriental de Cuba (1970-2022).

4, que incluye al TSS IV y al subtipo 6, con punto de cambio en el año 1997 ([Fig. 15](#)).

También, se determinó tendencia significativa creciente para las zonas de convergencia y ondas tropicales, en el nivel de tipos (TSS V) que incluye el subtipo 7, para las que no se determinó puntos de cambios; así como, para el subtipo frentes fríos en estado de disipación (STSS 16), con punto de cambio en el año 2003.

Los estadígrafos de Mann-Kendall (serie directa) y Pettitt (punto de cambio) permiten definir cuales situaciones sinópticas presentan tendencias significativas crecientes en todos los niveles taxonómicos: grupos, tipos y subtipos, siendo para la mitad occidental las situaciones de débiles gradientes de presión atmosférica con  $R^2 = 0.58$ ; mientras para

**Tabla 5.** Tendencias en la mitad occidental de Cuba (1970-2022).

Nivel	Códigos	Alpha 1	Alpha 0	Test Man-Kendall	Test Pettit
Grupos	5	0.0083	0.05	Existe tendencia significativa creciente	1981
Tipos	III	0.0083			1981
Subtipos	5	0.0083			1981
	15	0.0001			2005

**Tabla 6.** Tendencias en la mitad oriental de Cuba (1970-2022).

Nivel	Códigos	Alpha 1	Alpha 0	Test Man-Kendall	Test Pettit
Grupos	4	0.0002	0.05	Existe tendencia significativa creciente	1997
Tipos	IV	0.0000			1997
	V	0.0285			-
Subtipos	6	0.0000			1997
	7	0.0168			-
	16	0.0007			2003

la mitad oriental los ciclones tropicales obtienen un coeficiente  $R^2 = 0.73$ , indicando un ajuste de alta calidad para el modelo de regresión lineal, donde el predictor explica una proporción elevada de la variación total de los datos de la serie.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos aportan una valiosa información de conjunto y holística sobre la influencia de los tipos de situaciones sinópticas que afectan a Cuba, separando los resultados en sus dos mitades: occidental y oriental; destacando en los casos posible, sus características, cambios y tendencias más relevantes.

Son evidentes los efectos que el cambio climático global ya está produciendo en el clima cubano, afectando la frecuencia anual, estacional y regional de varios procesos sinópticos predominantes, con un papel decisivo como factores formadores del clima del país.

Los cambios en los procesos sinópticos de génesis tropical y extratropical son consistentes con los cambios que están ocurriendo en el comportamiento de los macroprocesos de la circulación hemisférica, descritos por Soler *et al.* (2020) y también por Lecha *et al.* (2020), siendo hechos que justifican tanto la expansión del verano cubano, como la pérdida de la continuidad espacio-temporal y reducción del invierno en Cuba, con todas las consecuencias que ello implica para el comportamiento del clima local y la respuesta consecuente de los ecosistemas y las principales actividades socioeconómicas del país.

El análisis del comportamiento multianual de los diferentes procesos sinópticos influyentes sobre Cuba, pone de manifiesto algunas características que pueden reflejar el impacto de los cambios que están ocurriendo en los procesos meteorológicos globales y hemisféricos, sobre la región sinóptico-natural que contiene a la cuenca del Caribe, incluyendo a Cuba, razón por la cual se debe prestar especial atención al monitoreo y análisis del comportamiento de los macroprocesos atmosféricos que forman parte de los mecanismos de circulación regional y global, con sus bloqueos e intercambios de masa y energía.

## CONCLUSIONES

- Se logra una adecuada caracterización del comportamiento espacio-temporal de los principales procesos sinópticos que actúan como factores formadores del clima de Cuba.
- Se identifican cambios y diferencias regionales en el comportamiento estacional de los procesos sinópticos que influyen sobre las mitades occidental y oriental del país, con evidencias

de que está aumentando la duración del verano, el invierno se acorta y pierde continuidad, pero se confirma la sucesión de cuatro períodos estacionales: el invierno, el verano y dos transiciones entre ambos con características propias cada una.

- Se obtienen evidencias del aumento los efectos desfavorables de los procesos sinópticos sobre el clima estival (más huracanes, incremento de la temperatura y menos precipitaciones), al mismo tiempo que también aumenta la frecuencia de TSS asociados a efectos meteoro-tropicos extremos en el período invernal.
- Las influencias anticiclónicas oceánica y continental mantienen un balance o equilibrio en sus comportamientos respectivos sobre la mitad occidental de Cuba, pero la influencia oceánica resulta predominante en la mitad oriental y con aumento en el periodo reciente.
- Aumentan gradualmente las diferencias en las condiciones climáticas de ambas mitades de Cuba, siendo más marcadas durante los meses de noviembre a abril. El clima del oriente de Cuba se va pareciendo al de Haití, República Dominicana y Puerto Rico.
- Se determinan las tendencias y sus diferencias regionales en el comportamiento multianual de los procesos sinópticos que afectan a las dos mitades de Cuba, marcadas por las situaciones de débiles gradientes de presión en occidente, los ciclones tropicales en oriente y algunos procesos extratropicales propios del invierno, cuya génesis está vinculada a los impactos ya visibles de la variabilidad del clima global sobre el país.

## RECOMENDACIONES

Prestar atención a dos subtipos de sistemas frontales no contemplados en la clasificación actual, con incidencia creciente sobre Cuba y relativamente reciente:

- a. Los frentes cálidos, cuya génesis está asociada a zonas frontales activas que llegan a la mitad oriental del país y retroceden, para integrarse a nuevos procesos extratropicales en formación sobre el noroeste y norte de Cuba.
- b. Los frentes fríos revesinos, que ocasionalmente llegan al país “acostados”, sin afectar la región occidental y casi paralelos a la costa norte de Cuba, son extensos, su origen está en bajas extratropicales con centro lejos de Cuba y definen la extensa frontera de contacto entre todo el borde meridional de la masa de aire continental más fresca y menos húmeda, con la masa de aire subtropical oceánica más cálida y húmeda.

## REFERENCIAS

- Alisov, B.P. y Poltarau, B.V. (1974). Climatología [en ruso]. Ed. Universidad Estatal de Moscú; 299 p.
- Barry, R.G. y Perry, A.H. (1973). Synoptic Climatology. Methods and Applications. Ed. Methuen and Co, London; 572 pp.
- Byers, H.R. (1970). General Meteorology. Ed. Ciencia y Técnica, Instituto del Libro, La Habana; 540 p.
- Carrasco, M., Roque, A. y Carnesolta, M. (2011). Caracterización de la brisa de mar. Sus efectos en el aprovechamiento de la energía eólica. Estudio de dos casos. *Rev. Cub. Meteorología*, 17(1): 27-45. ISSN: 0864-151X.
- Davis, R.E., Dolan, R. y Deme, G. (1993). Synoptic climatology of Atlantic Coast Northeasters. *Intern. Jour. Climatology*, 171-189.
- Jansá, J.M. (1974). Curso de Climatología. Edit. Instituto Cubano del Libro, La Habana; 445 p.
- Lapinel, B. (1988). La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba. Tesis de doctorado. Inst. Meteorología, La Habana; 147 p.
- Lecha, L., Morozov, V., Nieves, M.E. y Sardiñas, M.E. (1990). La influencia anticiclónica continental sobre Cuba. Tipos de circulación asociados en superficie. *Rev. Cub. Meteorología*, 3(1): 26-41.
- Lecha, L., Paz, L.R. y Lapinel, B. (1994). El clima de Cuba. Ed. Academia, La Habana; 186 p. ISBN: 959-02-006-0.
- Lecha, L. (2019). Pronósticos Biometeorológicos [eBook]. Ed. Citmatel, La Habana; 210 p. ISBN: 978-959-237-752-3.
- Lecha, L., Sánchez, L., Verdecia, Y., Soler, E. y Sánchez, A. (2020). Variabilidad de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre el occidente de Cuba. *Rev. Cub. Meteorología*, 26(2): 1-18. ISSN: 2664-0880.
- Lecha, L., Soler, E., Sánchez, L. y Verdecia, Y. (2024). La Climatología Sinóptica en Cuba. Parte 2: El Catálogo de los tipos de situaciones. *Rev. Cub. Meteorología*, 30(1): en prensa.
- López, R., García, E., Collazo, A., Expósito, P.J. y Perdomo, A.J. (2016). Composición iónica de la lluvia y tipos de situaciones sinópticas en Cuba: Efectos en la contaminación atmosférica. *Rev. Cub. Meteorología*, 22(2): 141-149.
- Marroquín, A., García, J.A., Garrido, J. y Mateos, V.L. (1995). Neyman-Scott Cluster Model for daily rainfall processes in Lower Extremadura (Spain): rainfall generating mechanisms. *Theor. Applied Climatology*, 52: 183-193.
- Petterssen, S. (1973). Introducción a la Meteorología. Ed. Inst. Cub. Libro, La Habana; 312 p.
- Roura, P., Arenas, J.C., Sistachs, V. y Sistachs, D. (2020). TrendSoft: Software para el análisis de tendencia y puntos de cambio de variables climatológicas. *Rev. Cub. Meteorología*, 26(3): 1-16. ISSN 2664-0880.
- Sardiñas, M.E., Nieves, M.E., Lecha, L. y Morozov, V.S. (1990). Características de la circulación atmosférica invernal que influyen sobre los estados del tiempo diarios. *Rev. Cub. Meteorología*, 3(1): 76-86.
- Shvareva, J.N. (1977). Relación entre los estados del tiempo diarios y los procesos de la circulación atmosférica [en ruso]. En: *Materiales de las investigaciones meteorológicas, Parte 2: La circulación atmosférica y el clima*. Ed. Inst. Geografía, AC de la URSS, Moscú: 94-103.
- 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 influyentes sobre la mitad occidental de Cuba. *Rev. Cub. Meteorología*, 26(2): 31-40.
- Soler, E. y Lecha, L. (2023). Los mecanismos elementales de la circulación atmosférica. Resumen de su evolución durante el período 1899-2019. Informe de Resultado, Instituto de Meteorología, la Habana; 34 p.
- Yarnal, B. y Draves, J.D. (1993). A synoptic climatology of stream flow and acidity. *Climate Research*, 2: 193-202.
- Yarnal, B., Comrie, A., Frakes, B. y Brown, D. (2001). Developments and Prospects in Synoptic Climatology. *Intern. Jour. Clim.*, 21: 1923-1948.

Luis B. Lecha Estela. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: 42216624. E-mail: [luis.lecha@gmail.com](mailto:luis.lecha@gmail.com)

Edgardo Soler Torres. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: 46324121. E-mail: [edgardosoler2@gmail.com](mailto:edgardosoler2@gmail.com)

Luis M. Sánchez Suárez. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: 46324121. E-mail: [luis.sanchez0868111@gmail.com](mailto:luis.sanchez0868111@gmail.com)

Yuslandis Verdecia Naranjo. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: 46324121. E-mail: [yverdecianaranjo@gmail.com](mailto:yverdecianaranjo@gmail.com)

Pedro Roura Pérez. Centro Nacional del Clima, INSMET. Teléfono: 52156773. E-mail: [pedro.roura@insmet.cu](mailto:pedro.roura@insmet.cu)