

Variabilidad del anticiclón subtropical del atlántico norte durante los meses de noviembre a abril de 1950 a 2019

Variability of the North Atlantic Subtropical High during the months of November to April from 1950 to 2019



CU-ID: 2377/v28n2e04

 Leticia Peña Peña^{1*},  Nathalí Valderá Figueredo²

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, Cuba

²Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología de Cuba, La Habana, Cuba

RESUMEN: El anticiclón subtropical del Atlántico Norte predomina en una región muy amplia del hemisferio norte y es un sistema fundamental de la circulación general de la atmósfera. Es considerado un rector de los sistemas meteorológicos en la cuenca atlántica y por consiguiente interviene en el comportamiento de los sistemas tropicales. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar y analizar su variabilidad. Se consultó la base de datos mensual del Centro Nacional para la Predicción Ambiental y del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica de la Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos, para los meses de noviembre a abril entre 1950-2019. Se determinó la presión central del anticiclón subtropical en superficie a partir del valor de la isobara cerrada más próxima al centro y por medio de esto se estimó su posición media. Otro elemento analizado en superficie fue su fortaleza, a partir de la posición media que ocupa en el periodo poco lluvioso del año. Por otra parte se obtuvo y se analizó el valor del geopotencial y la posición del centro anticiclónico en los 850 hPa y el geopotencial en 500 hPa y 200 hPa, debido a que estos son niveles representativos de la circulación atmosférica en la troposfera baja y media. Los resultados mostraron que el anticiclón subtropical del Atlántico Norte ha presentado pocas variaciones morfológicas; sin embargo, ha modificado su intensidad y se ha desplazado al este-nordeste con respecto a su posición media.

Palabras claves: Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte, Circulación Atmosférica, Variabilidad Climática.

ABSTRACT: The North Atlantic Subtropical High predominates over a very wide region of the northern hemisphere and is a fundamental system of the general circulation of the atmosphere. It is considered a governing system of the meteorological systems in the Atlantic basin and therefore it intervenes in the behavior of tropical systems. Therefore, the present work aims to characterize and analyze its variability. The monthly database of the National Center for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research of the United States Oceanic and Atmospheric Administration was consulted for the months of November to April 1950-2019. The central pressure of the subtropical high at the surface was determined from the value of the closed isobar closest to the center and by means of this; its mean position was estimated. Another element analyzed at the surface was its strength, based on the average position it occupies during the low rainfall period of the year. On the other hand, the value of the geopotential and the position of the high center at 850 hPa and the geopotential at 500 hPa and 200 hPa were obtained and analyzed, since these are representative levels of the atmospheric circulation in the lower and middle troposphere. The results showed that the North Atlantic Subtropical High has presented few morphological variations; however, it has modified its intensity and has shifted to the east-northeast with respect to its average position.

Key words: North Atlantic Subtropical High, Atmospheric Circulation, Climate Variability.

INTRODUCCIÓN

En Cuba, el estado del tiempo se encuentra condicionado por su ubicación geográfica en la zona tropical y por los cambios estacionales en la posición e intensidad del anticiclón subtropical del Atlántico Norte (ASAN). Tal es así que se definió al ASAN sobre Cuba como “el dictador del tiempo” (Lecha et al., 1994). Son varios autores los que han planteado el

incremento de la influencia anticiclónica sobre Cuba en los últimos 30 años (Centella et al., 2006). Ello ha contribuido al aumento de la subsidencia sobre la región que abarca el océano Atlántico Norte, incluyendo el Golfo de México y el mar Caribe y por ende no se favorecen los mecanismos productores de precipitaciones, básicamente durante el período estacional lluvioso (mayo a octubre), donde vastas regiones del país se ven afectados por los procesos de sequía.

*Autor para correspondencia: Leticia Peña Peña. E-mail: leticia.pena@instec.cu

Recibido: 15/12/2021

Aceptado: 11/05/2022

El ASAN ha sido bien estudiado en el ámbito internacional. En este nivel, la mayoría de las investigaciones se centran en analizar sus características y su comportamiento en determinadas épocas del año (Davis et al., 1997); Li et al., 2011) y su relación con algunos índices de teleconexión como son la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Cuasi Bienal del viento en la estratosfera ecuatorial, (Cherchi et al., 2018; Hasanean, 2004; Luchetti et al., 2017). Sin embargo, se percibe como principal limitación el tamaño de la muestra de estudio, evidenciándose series temporales con períodos cortos, que en ocasiones no llegan a 30 años. En Cuba se ha estudiado el comportamiento del anticiclón en la cuenca Atlántica (Centella et al., 2006; Fonseca, C, 2005) y (Ballester et al., 1995, 2004, 2010) lo consideró como un elemento más que influye en el comportamiento de la actividad ciclónica tropical.

Si se considera que el estado del clima en Cuba está cambiando hacia condiciones de una atmósfera con un efecto invernadero incrementado, según lo declarado en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (Pérez et al., 2009), se hace necesario la realización de investigaciones sobre la variabilidad de la circulación atmosférica regional, principalmente del ASAN. De ahí que el presente artículo se enfoque en describir las variaciones en estructura e intensidad del anticiclón subtropical del Atlántico Norte entre los años 1950 y 2019, durante el periodo poco lluvioso del año (noviembre a abril).

MATERIALES Y MÉTODOS

En aras de analizar el comportamiento del ASAN, se seleccionó como dominio geográfico al área que se muestra en la figura 1. La zona seleccionada comprende gran parte del océano Atlántico Norte, entre los 10 y 60 °N y los 10 y 110 °W ya que permite observar al ASAN en su totalidad, así como la influencia del ASAN sobre el Atlántico tropical y su interacción con otros sistemas meteorológicos de latitudes medias y altas.

Para el desarrollo de la investigación se consultaron la base de datos mensual del Centro Nacional para la Predicción Ambiental y del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica¹ (NCEP/NCAR, por sus siglas en inglés) (Kalnay et al., 1996) para el periodo comprendido entre los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019, para un total de 70 años, con un paso de rejilla de 2.5 grados. Se extrajeron los mapas de la presión a nivel medio del mar, y la altura geopotencial en 850 hPa, 500 hPa y 200 hPa debido a que son niveles representativos de la circulación atmosférica en la troposfera baja y media. También se

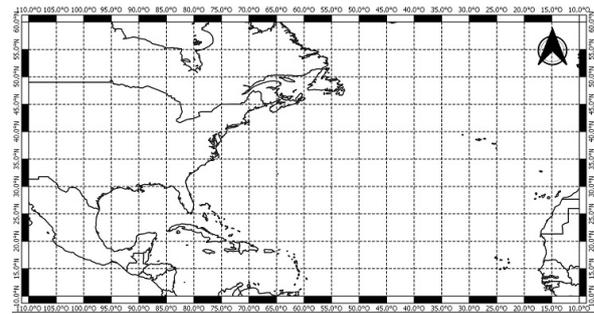


Figura 1. Dominio geográfico utilizado para el análisis del comportamiento del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte.

determinaron los valores medios mensuales utilizando el software The Grid Analysis and Display System (GrADS) para ajustarlos con los obtenidos de los mapas de reanálisis.

La identificación de los posibles cambios en la posición, intensidad y estructura del ASAN se realizó a partir del monitoreo de los siguientes parámetros:

- Presión y posición media mensual del anticiclón subtropical del Atlántico Norte en el nivel de superficie: La presión media mensual se determinó a partir de los mapas de presión a nivel medio del mar descargados del reanálisis NCEP/NCAR, tomando en cuenta el valor de la presión de la isobara cerrada más próxima al centro. Igualmente, se consideró la posición media como la latitud y la longitud a la que se encontró el centro del ASAN. Estos valores se determinaron para cada uno de los meses y fueron cotejados con los mapas medios mensuales obtenidos con el GrADS.
- Fortaleza del anticiclón subtropical del Atlántico Norte: El área en la cual se determina la fortaleza varía según el periodo del año a analizar. Para el periodo poco lluvioso del año, (Hasanean, 2004) la define geográficamente como la zona enmarcada por los 27-37 °N y 15-35 °W, posición acorde al retiro que hace el ASAN durante los meses de noviembre a abril.

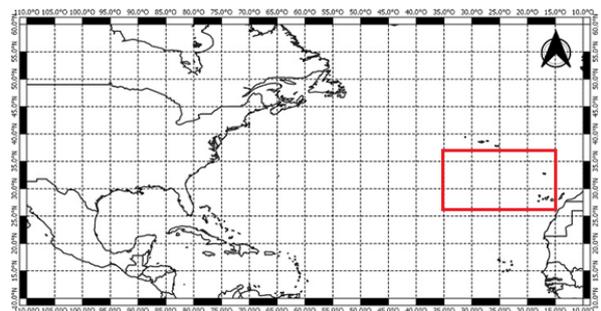


Figura 2. Área en la que se encuentra generalmente el núcleo del ASAN en el periodo poco lluvioso del año.

¹Disponible en el sitio web <http://www.psl.noaa.gov/>.

- Geopotencial y posición del centro anticiclónico en los 850 hPa: Se utilizó un razonamiento similar al empleado para la determinación de la altura geopotencial y la posición del centro anticiclónico en superficie.
- Geopotencial en 500 y 200 hPa sobre la región central del ASAN: Se tomó la posición media del ASAN en superficie durante el periodo poco lluvioso y a partir de esta se extrajeron los valores del geopotencial en 500 hPa y 200 hPa. Si bien se conoce que los sistemas meteorológicos tienen un desfase entre la posición en superficie y en los niveles troposféricos superiores, se decidió realizar de esta manera para analizar las variaciones del geopotencial por encima del centro anticiclónico en un mismo punto geográfico.

Procesamiento estadístico de la información

Una vez agrupados los datos, se realizó el procesamiento estadístico de los mismos, mediante el uso de estadística descriptiva en busca de elementos que caractericen la muestra. Para el análisis de tendencia y detección de un posible punto de cambio en las series temporales se aplicaron las pruebas estadísticas de Mann-Kendall y Pettit (Sneyers, 1990). En ambas pruebas para la comprobación de las hipótesis se prefijó un nivel de significación $\alpha=0.05$ y las mismas se desarrollaron aplicando el programa WINSTAT (Mellado & Borrajeró, 1997), el cual consideró lo estipulado por (Sneyers, 1990) para el tratamiento de las series temporales.

Para la confección de los mapas medios del periodo poco lluvioso durante los años 1950-2019. Se utilizó el software GrADS: Grid Analysis and Display System (GRADS, 2018), por su nombre completo, es un software que sirve para facilitar el acceso, manipulación y visualización de datos geofísicos. Provee una gran variedad de opciones, es compatible con las principales plataformas de software (Windows y Linux), por lo que es empleado en numerosos servicios meteorológicos y centros de investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de agrupados los datos, se realizó el procesamiento estadístico de los mismos, mediante el uso de estadística descriptiva en busca de elementos que caractericen al ASAN. Asimismo, se analizó la serie en la totalidad del periodo (1950-2019) y en los años posteriores al 2000, así como por décadas. A dichos valores se le determinó la media, el mínimo, el máximo y la desviación estándar.

El análisis de la presión en superficie con desviación estándar de ± 2.71 y del valor del geopotencial en 850 hPa (± 10.68) y 500 hPa (± 28.66) arrojó que el periodo 2010-2019 es el que presenta mayor variabilidad debido a que incluye el máximo valor de la

serie global al igual que el mínimo absoluto; este comportamiento también lo describe el parámetro fortaleza del ASAN con una desviación estándar de ± 2.44 . Por otra parte, en los niveles altos de la troposfera no se describe dicho comportamiento, pero sí se obtuvo el máximo absoluto de la serie en el año 2015 con un valor de 1023.5 hPa.

Nivel de superficie

Análisis de la presión a nivel medio del mar

Durante los 70 años analizados el ASAN tuvo como promedio una presión central de aproximadamente 1021.9 hPa y presentó una desviación estándar de ± 1.67 hPa. Los valores mínimos y máximos de esta serie fueron 1015.8 hPa en el año 2010 y 1026.3 hPa en el 2015 (Figura 3).

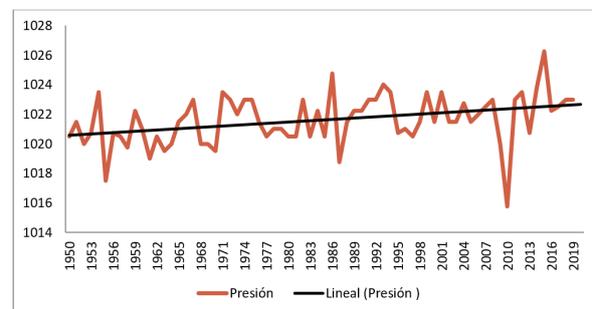


Figura 3. Presión central promedio del ASAN, en la superficie a nivel medio del mar, en los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019.

Por otra parte, la presión central del ASAN presentó una tendencia creciente en el periodo 1950-2019 (70 años), estadísticamente significativa, lo que se pudo corroborar a través de los estadígrafos del test de Mann-Kendall (Tabla 1). Asimismo, evidenció un punto de cambio significativo hacia el año 1970 (Figura 3. 2). Esta situación se ajustó con lo planteado por (Pérez et al., 2009), y según dichos autores, se relaciona con el incremento sostenido de la temperatura superficial del mar descrita por el patrón Este-Atlántico, lo que a su vez concuerda con lo planteado por (Hasanean, 2004), quien obtuvo un cambio abrupto desde finales de los años sesenta y principio de los setenta.

Posición media

El ASAN se localizó como promedio en los 33.5 °N y los 28.7 °W, aproximadamente a 330 kilómetros al sur-suroeste de las islas Azores, sobre el Atlántico oriental. Del análisis de su posición media mensual en el periodo 1950-2019 se deriva que la latitud más al norte fue 42.0 °N en el año 1973 entretanto, su latitud más baja fue observada en los 24.5 °N durante el año 2010. Su longitud más al oeste fue a los 47.0 °W en el

año 1953 mientras que su posición más al este fue en los 15.0 °W en 2015 (Figura 4).

No existe una tendencia significativa para la latitud y la longitud en el periodo 1950-2019. Por otro lado, y aunque con resultados no significativos, la prueba de Mann-Kendall mostró una tendencia al aumento de la latitud del ASAN y a que se ubique en longitudes más hacia el Este (Tabla 1).

Fortaleza

Para la fortaleza se obtuvo un valor medio de 1019.8 hPa con una desviación estándar de ±1.59 hPa. El valor mínimo fue 1014.2 hPa alcanzado en el año 2010 y el máximo fue 1023.5 hPa correspondiente al año 2015 (Figura 5). La tendencia a lo largo de los 70 años de estudio fue creciente global significativa debido al que el valor obtenido de KM=4.1672, solo constó con una intersección cerca de 1975 y un

cambio en la tendencia de la serie a partir de 1971 (Tabla 1).

Troposfera baja

Altura geopotencial en la superficie isobárica de 850 hPa

La altura geopotencial sobre la región central del ASAN en la superficie isobárica de 850 hPa, como promedio fue de 1547.2 mgp con una desviación estándar de ±9.50 mgp. El valor máximo de esta variable fue de 1575.0 mgp en el año 1986 y el mínimo se detectó en el año 1955 con un valor de 1525.0 mgp, como se muestra en la figura 6.

Los datos de las pruebas de Mann-Kendall y Pettit están recogidos en la tabla 2 La prueba de KM=4.63 reflejó la existencia de una serie creciente global significativa, que presentó una sola intersección próxima

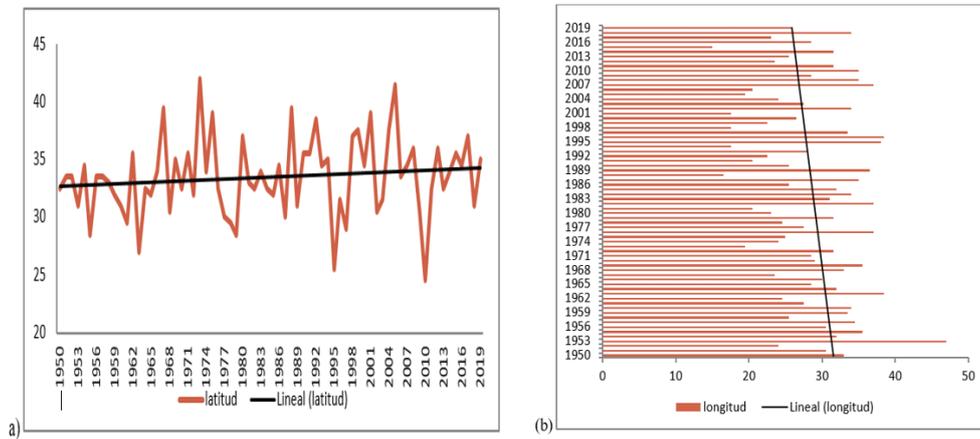


Figura 4. Latitud (a) y longitud (b) media del ASAN (°N y °W), en el nivel de superficie durante el periodo poco lluvioso entre los años 1950 y 2019.

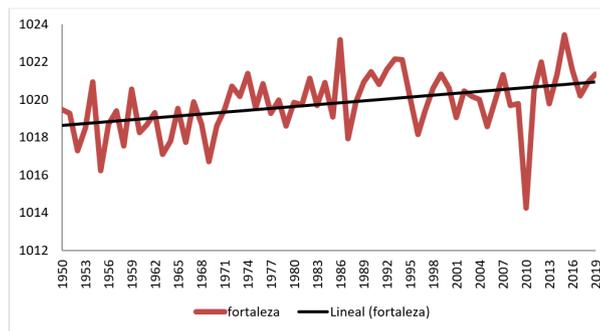


Figura 5. Fortaleza del ASAN en los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019.

Tabla 1. Valores de los estadísticos de las dójimas de Mann (K.M) y Pettitt (Pe) referidos a los elementos asociados al ASAN en superficie entre los años 1950-2019.

Nivel	Variables	K.M	alfa	Pe	Alfa	Año
Superficie	Presión	3.08	0	-525	0.01	1970
	Latitud	1.49	0.13	-306	0.19	1987
	Longitud	-1.84	0.06	337	0.14	1972
	Fortaleza	4.17	0	-721	0	1971

a 1978, con un punto de cambio significativo desde 1981.

Posición media del centro anticiclónico en los 850 hPa

El centro anticiclónico en los 850 hPa se localizó aproximadamente entre los 25.7 °N y los 47.1 °W, con una desviación estándar de ±1.85 grados de latitud y ±7.15 grados de longitud. En la figura 7 (a) se muestra que la posición más al norte a la que se encontró el centro anticiclónico en este nivel fue a los 30.0 °N en el año 2015, mientras que en el año 2010 se ubicó por debajo de su posición media, aproximadamente en los 22 °N. Con respecto a la longitud más al oeste a la que se encontró fue 60.5 °W en el año 1988 y en el año 2012 alcanzó su posición más al este, alrededor de los 29.5 °W (Figura 7 b).

Al aplicar la prueba de Mann-Kendall (Tabla 2) a la serie se obtuvo que la latitud presenta una tendencia creciente leve. Mientras que longitud muestra una ten-

dencia decreciente; es decir, se ha desplazado más al este.

Troposfera media

Altura geopotencial en la región central del ASAN en 500 hPa

El valor de la altura geopotencial sobre la región central del ASAN en los 500 hPa fue como promedio 5740.5 mgp con una desviación estándar de ±20.83 mgp, siendo el mes de enero el que tuvo mayor valor medio del geopotencial en este nivel. El valor máximo de 5787.5 mgp fue obtenido en los años 2015 y 2016, mientras que el mínimo de 5687.5 mgp se obtuvo en el año 2010 (Figura 8).

Los resultados obtenidos de la prueba de Mann-Kendall (Tabla 3) evidencian la existencia de una serie creciente significativa para el periodo 1950-2019, con un punto de cambio en el año 1985.

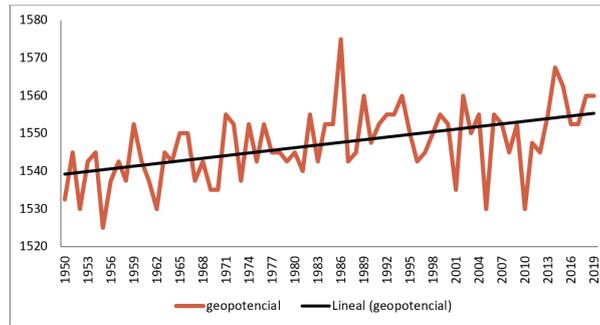


Figura 6. Comportamiento del geopotencial en la región central del centro anticiclónico en 850 hPa, durante los meses de noviembre a abril entre los años 1959 y 2019.

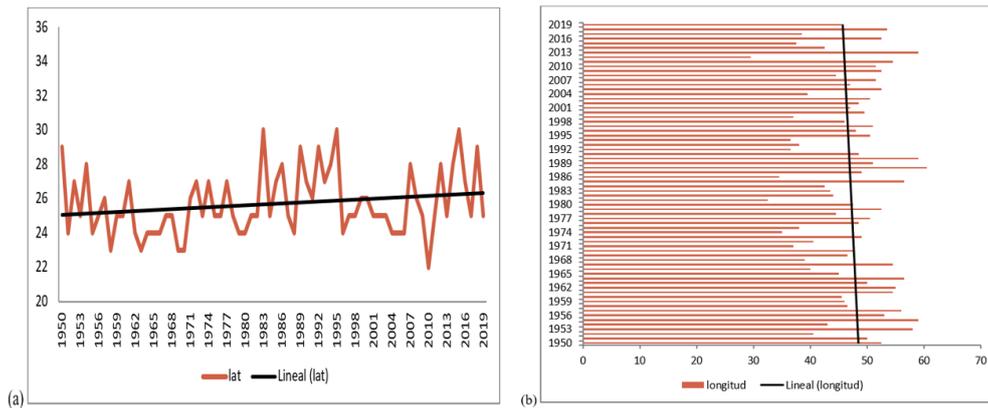


Figura 7. Latitud media (a) y longitud media (b) del centro anticiclónico en los 850 hPa durante los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019.

Tabla 2. Valores de los estadígrafos de las dójimas de Mann (K.M) y Pettitt (Pe) referidos a los elementos asociados al ASAN en 850 hPa en el periodo 1950-2019.

Nivel	Variables	K.M	alfa	Pe	Alfa	Año
850 hPa	Geopotencial	4.63	0	-744	0	1981
	Latitud	1.80	0.07	-370	0.09	1980
	Longitud	-0.62	0.53	339	0.13	1964

Troposfera alta

Altura geopotencial en la región central del ASAN en 200 hPa

El análisis en la troposfera alta arrojó que el valor medio de la altura geopotencial en la región central del ASAN fue 12013.9 mgp con una desviación estándar de ± 36.21 mgp esto se aproxima al valor medio obtenido en el análisis mensual con el GrADS. El máximo valor de 12100 mgp se obtuvo en el año 2016 (Figura 9); mientras que el mínimo valor fue 11950 mgp en los años 1951, 1956, 1957, 1962, 1970, 1985 y en el 2000.

Esta variable muestra una tendencia creciente significativa para la serie completa, lo que se puede constatar con los resultados de la prueba de Mann-Kendall (Tabla 4). La serie presenta un punto de cambio en 1976. Por otra parte el análisis efectuado por (Centella et al., 2006), muestra un punto de cambio en 1977 en la troposfera alta y media para el régimen de la velocidad vertical de presión (Omega), donde los cambios después de 1976 modificaron las características de los sistemas productores de precipitaciones (ondas y ciclones tropicales, frentes fríos, etc.).

Morfología del ASAN

Cabe destacar que la temperatura superficial del mar posee una tendencia significativa en la circulación atmosférica y determina en gran medida la tem-

peratura del aire y la distribución de humedad en la capa superficial sobre los océanos tropicales, por lo que propicia cambios significativos en el campo de presión. En este estudio se obtuvo que para el nivel de superficie hubo un incremento de la presión hacia el año 1970, lo que concuerda con lo obtenido por (Hasanean, 2004), acentuándose desde 1981 con las mayores anomalías de la temperatura superficial del mar. Lo anterior coincide con la mayor frecuencia de las fases positivas de la Oscilación del Atlántico Norte, aspecto que ya había sido notado por (Centella et al., 2006; Fonseca, C, 2005; Pérez et al., 2009).

En el caso de la troposfera baja, el valor del geopotencial experimenta un cambio a partir de 1981 en el nivel de 850 hPa y esto en cierta medida está relacionado con lo anteriormente dicho. En los 500 hPa el efecto del calentamiento parece notarse en el campo del geopotencial a partir del año 1985, situación relacionada con el tiempo de reajuste de la circulación atmosférica a los cambios de la temperatura superficial del mar y al transporte de calor latente desde superficie a los niveles medios de la troposfera. Por su parte, los 200 hPa exhiben un punto de cambio en 1976, año que rompe con la secuencia lógica del calentamiento que se venía describiendo anteriormente desde superficie hasta las capas altas de la troposfera. En alguna medida esto pudiera estar dado a que el calentamiento de las últimas décadas se ha restringido a la troposfera baja y media, pero se necesitaría profundizar en este aspecto para poder confirmar esta hipótesis.

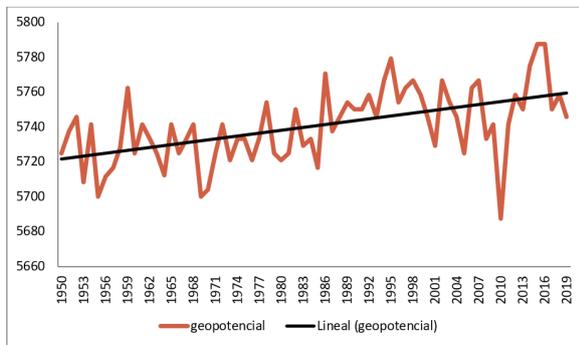


Figura 8. Comportamiento del geopotencial en la región central del ASAN en 500 hPa, durante los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019.

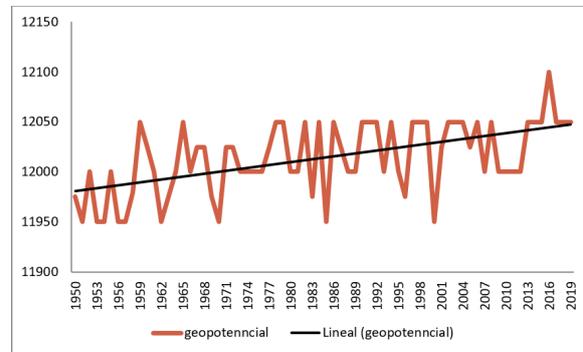


Figura 9. Comportamiento del geopotencial sobre la región central del ASAN en 200 hPa, durante los meses de noviembre a abril entre los años 1950 y 2019.

Tabla 3. Valores de los estadígrafos de las dójimas de Mann (K.M) y Pettitt (Pe) referidos a los elementos asociados al ASAN en 500 hPa en el periodo 1950-2019.

Nivel	Variables	K.M	alfa	Pe	Alfa	Año
500 hPa	Geopotencial	4.86	0	-930	0	1985

Tabla 4. Valores de los estadígrafos de las dójimas de Mann (K.M) y Pettitt (Pe) referidos a los elementos asociados al ASAN en 200 hPa en el periodo 1950-2019.

Nivel	Variables	K.M	Alfa	Pe	Alfa	Año
200 hPa	Geopotencial	4.86	0	-930	0	1985

Nivel de superficie

Para el periodo completo, el ASAN en superficie presenta una presión media de 1021 hPa y se localizó aproximadamente entre los 34 °N y 28 °W como se observa en la **figura 10 (a)**. Este se localizó más al norte y al este en el periodo 1970-2019 con respecto al periodo 1950-1969, al igual que se denotó un aumento de la presión central con una diferencia de 1 hPa entre ambos periodos.

El ASAN no presentó grandes modificaciones morfológicas en el periodo 1970-2019 en comparación con 1950-1969 y se mantuvo mostrando una configuración celular. Lo anterior puede relacionarse con el predominio de presiones más altas que lo normal sobre el área Atlántica. El área abarcada por la isobara de 1020 hPa es mayor en el periodo 1970-2019 con respecto a 1950-1969. Se aprecia también un incremento del gradiente de la presión entre el centro del ASAN y el centro del área de bajas presiones localizada en las inmediaciones de Islandia, debido a la intensificación de ambos centros. En la **figura 10** se observan los valores medios del ASAN para el periodo de estudio.

Troposfera baja

En la **figura 11 (a)** se puede apreciar que en 850 hPa los altos valores del geopotencial se extienden sobre el Atlántico, el mar Caribe, el golfo de México y los Estados Unidos, con un valor central de 1540 mgp. El ASAN se desplazó más hacia el este-nordeste con un

incremento de +10 mgp en su centro durante el periodo 1981-2019 con respecto al de 1950-1980. Importante el hecho de la expansión al oeste de las isohipsas con valores del geopotencial más elevados durante el periodo 1981-2019, lo que significa una extensión de la dorsal del centro anticiclónico hacia el oeste. De igual manera, también valores mayores del geopotencial se observan hacia latitudes más al norte si se compara el periodo 1981-2019 con el periodo 1950-1980. Se evidencian la presencia de anomalías positivas del geopotencial, con una mayor intensidad de la celda anticiclónica en los últimos 39 años aproximadamente, también se puede apreciar un ligero desplazamiento hacia el oeste de la vaguada polar a partir de 1980.

Troposfera media

En los 500 hPa lo más representativo es el incremento de la altura geopotencial en la zona tropical relacionada con la expansión del cinturón de las altas presiones hacia el norte, consistente con una intensificación de la celda de Hadley y de su circulación media meridional durante el periodo poco lluvioso del año (**Figura 12**). El análisis en los periodos 1950-2019, 1950-1984 y 1985-2019 muestra que no se producen cambios significativos en el valor del geopotencial. No obstante, sí existen variaciones en la configuración y extensión al norte del cinturón de altas presiones subtropicales, observándose en el periodo 1985-2019 una mayor influencia sobre el Caribe, Cuba y el Atlántico tropical con respecto al periodo anterior. Relacionado a esto se denota que la dorsal del anticiclón

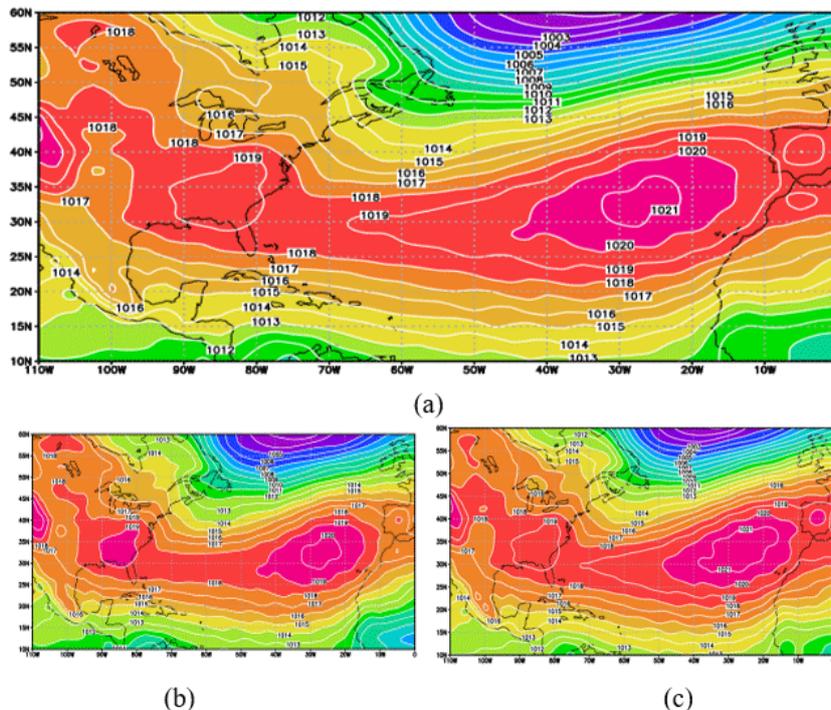


Figura 10. Mapa medio de la presión atmosférica (hPa) al nivel del mar en los meses de noviembre a abril para los periodos 1950-2019 (a), 1950-1969 (b) y 1970-2019(c).

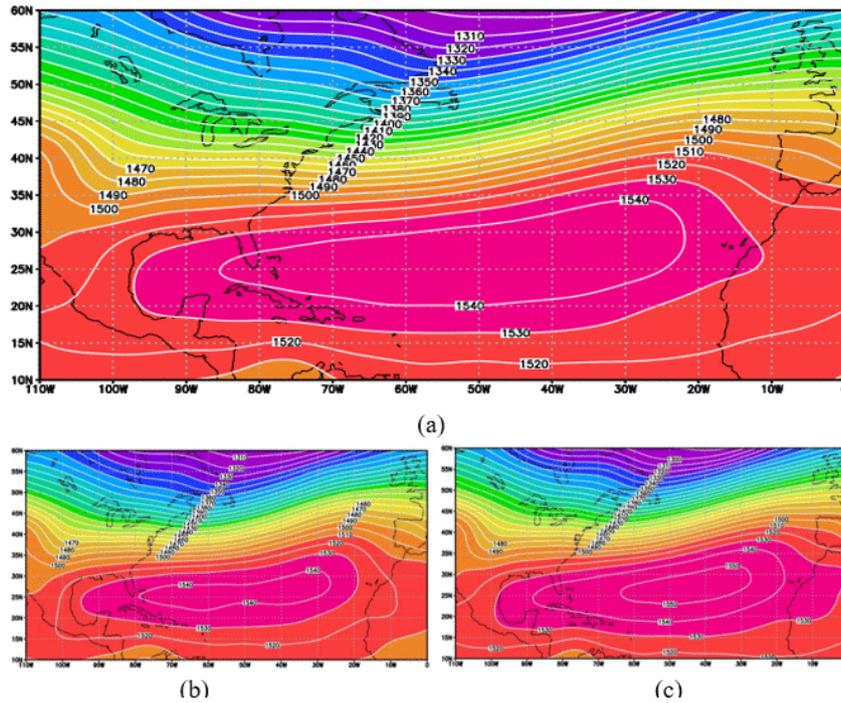


Figura 11. Mapa medio de altura geopotencial a 850 hPa en los meses de noviembre a abril para los periodos 1950-2019 (a), 1950-1979 (b) y 1980-2019 (c).

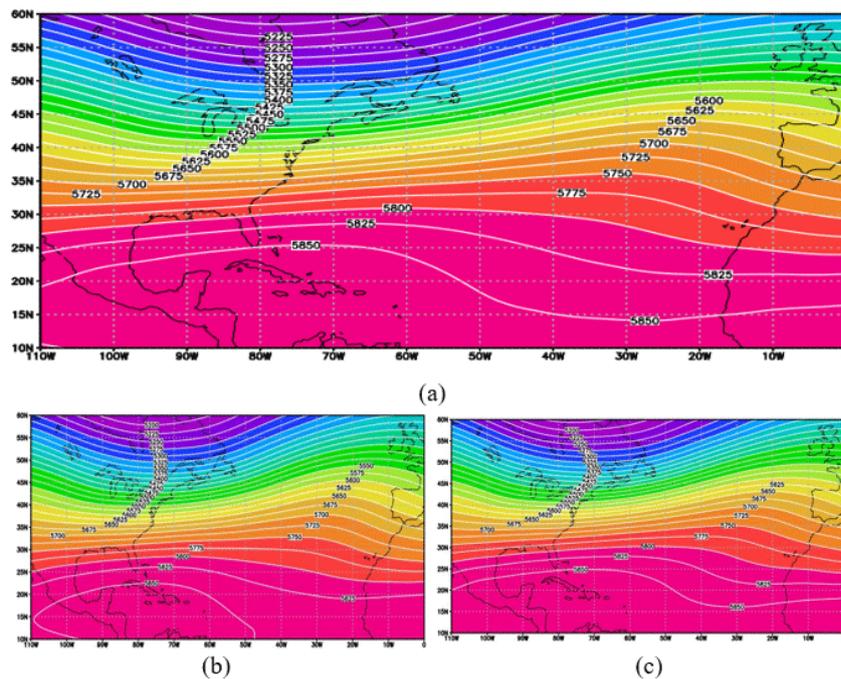


Figura 12. Mapa medio de altura geopotencial a 500 hPa en los meses de noviembre a abril para los periodos 1950-2019 (a), 1950-1984(b) y 1985-2019 (c).

mexicano se encuentra más acentuada en los años posteriores a 1985 y la vaguada del Atlántico oriental se muestra más distendida y amortiguada en comparación con el periodo 1950-1984.

Troposfera alta

En la troposfera alta se aprecia la vaguada polar que se extiende sobre Canadá y Estados Unidos, hasta

las proximidades de los 40 °N. Aparece también la dorsal anticiclónica descrita en los niveles medios de la troposfera relacionada con el anticiclón mexicano (Figura 13). Sobre la porción nor-oriental del Atlántico se denota una dorsal anticiclónica relacionada con la presencia del ASAN en el nivel de superficie y una zona de anomalías negativas relacionadas con una vaguada en el Atlántico oriental, la cual, a pesar de notarse mejor, presenta valores del geopotencial

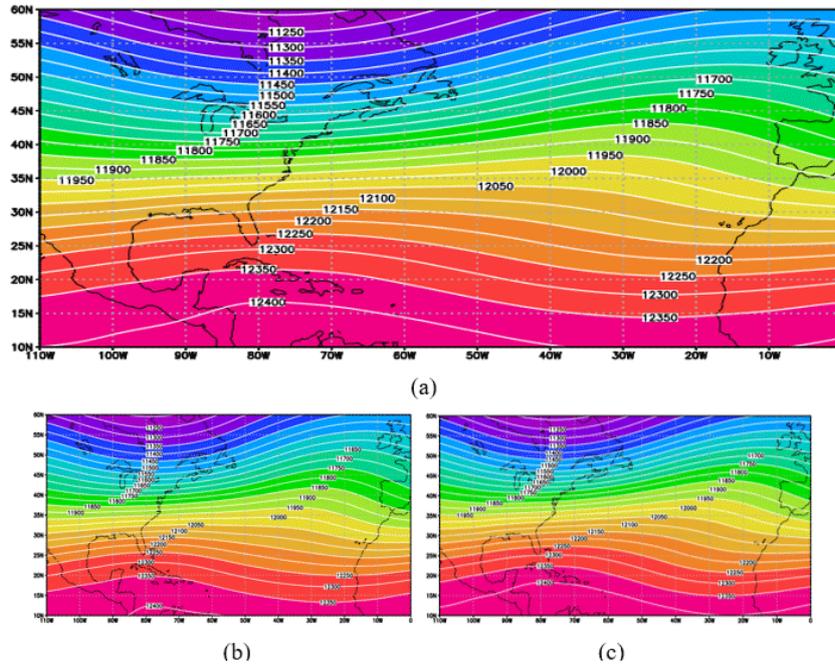


Figura 13. Mapa medio de altura geopotencial a 200 hPa en los meses de noviembre a abril para los periodos 1950-2019 (a), 1950-1975 (b), 1976-2019 (c).

superiores en el periodo 1976-2019. También, en este mismo periodo hay un mayor avance de la isohipsa de 12400 y 12450 mgs sobre el mar Caribe, lo que se relaciona con una mayor influencia del anticiclón mexicano sobre el área y el eje de la vaguada es su porción sur se encuentra más retrasado en comparación con el periodo 1950-1975.

CONCLUSIONES

- El anticiclón subtropical del Atlántico Norte ha presentado pocas variaciones morfológicas apreciables, pero sí ha modificado su intensidad y posición.
- El anticiclón subtropical del Atlántico Norte ha experimentado un ligero desplazamiento hacia el noreste con respecto a su posición media, con un incremento notable de su presión central y fortaleza en superficie, principalmente desde la década del setenta.
- En los 850 hPa se evidencia también un incremento en los valores de la altura geopotencial. La celda anticiclónica se ha expandido hacia el oeste principalmente y muestra un desplazamiento de su centro al este-nordeste en el periodo 1981-2019.
- La troposfera media y alta se caracterizaron por una expansión hacia el norte del cinturón de altas presiones subtropicales con el consecuente incremento del geopotencial, situación que se acentuó desde los años 1985 y 1976.
- A partir del análisis del punto de cambio del geopotencial, se puede inferir que los principales cambios del anticiclón subtropical del Atlántico Norte

y del cinturón de altas presiones subtropicales se evidencian posterior a la década del setenta, principalmente en los niveles medios y bajos, situación que puede estar relacionada con el incremento de la temperatura superficial del mar y al sistema de acoplamiento del océano con la atmósfera.

RECOMENDACIONES

- Extender el estudio realizado al periodo lluvioso del año.
- Utilizar los resultados obtenidos en las investigaciones relacionadas con el pronóstico de la actividad ciclónica tropical en el Atlántico Norte elaborado por el Instituto de Meteorología de Cuba, así como en la confección del mismo.

REFERENCIAS

- Ballester, M., González, C., & Pérez, R. (1995). *Variabilidad de la ciclogénesis tropical en el Atlántico Norte* (p. 88) [Informe de Resultado Científico]. Instituto de Meteorología.
- Ballester, M., González, C., & Pérez, R. (2004). Modelo estadístico para el pronóstico de la actividad ciclónica en el océano Atlántico, el golfo de México y el mar Caribe. *Revista Cubana de Meteorología*, 11(1), 84-92.
- Ballester, M., González, C., & Pérez, R. (2010). *Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico*. Editorial Academia.
- Centella, A., Lapinel, B., Solano, O., Vázquez, R., Fonseca, C., Cutié, V., Baéz, R., González, S.,

- Sille, J., & Rosario, P. (2006). *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD).
- Cherchi, A., Ambrizzi, T., Behera, S., Freitas, A. C. V., Morioka, Y., & Zhou, T. (2018). The response of subtropical highs to climate change. *Current Climate Change Reports*, 4(4), 371-382. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0114-1>
- Davis, R. E., Hayden, B. P., Gay, D. A., Phillips, W. L., & Jones, G. V. (1997). The north atlantic subtropical anticyclone. *Journal of Climate*, 10(4), 728-744. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<0728:TNASA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<0728:TNASA>2.0.CO;2)
- Fonseca, C. (2005). Cambios en la posición e intensidad del anticiclón del Atlántico y modificación en el régimen de las lluvias en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 12(2), 25-34.
- GRADS. (2018). *Grid Analysis and Display System* (1.7) [Windows]. <http://grads.iges.org/grads/downloads.html>.
- Hasanean, H. M. (2004). Variability of the North Atlantic subtropical high and associations with tropical sea-surface temperature. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(8), 945-957. <https://doi.org/10.1002/joc.1042>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, Lev, Iredell, Mark, Saha, Suranjana, White, Glenn, Woollen, John, & others. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-472. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Lecha, L. B., Lapinel, B., & Paz, L. R. (1994). *El Clima de Cuba*. Academia.
- Luchetti, N. T., Nieto Ferreira, R., Rickenbach, T. M., Nissenbaum, M. R., & McAuliffe, J. D. (2017). Influence of the North Atlantic Subtropical High on wet and dry sea-breeze events in North Carolina, United States. *University of Alicante*, 68, 9-25.
- Mellado, E., & Borrajeró, I. (1997). *Winstat* (2.0 (beta)) [Window].
- Pérez, R., Fonseca, C., B. Lapinel, C. González, Planos, E., V. Cutié, & R. Vega. (2009). *Actualización del conocimiento sobre variaciones, cambios y tendencias del clima en Cuba* (Segunda Comunicación de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático, p. 62) [Informe de Resultado Científico]. Instituto de Meteorología.
- Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations* (Technical Note N° 143 WMO No415; p. 192). World Meteorological Organization.

Leticia Peña Peña. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, Cuba. E-mail: leticia.pena@instec.cu

Nathali Valderá Figueredo. Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología de Cuba, La Habana, Cuba. E-mail: nathali.valdera@insmet.cu

Conflicto de interés. declaramos, no tener ningún conflicto de interés

Contribución de autores: **Concepción de la idea:** Nathali Valderá Figueredo. **Manejo de los datos:** Leticia Peña Peña, Nathali Valderá Figueredo. **Análisis de los datos:** Leticia Peña Peña, Nathali Valderá Figueredo. **Investigación:** Leticia Peña Peña, Nathali Valderá Figueredo. **Metodología:** Nathali Valderá Figueredo, Leticia Peña Peña. **Supervisión:** Nathali Valderá Figueredo. **Validación de los resultados:** Leticia Peña Peña, Nathali Valderá-Figueredo

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)