

Cambios en los espectros de algunas variables meteorológicas y su relación con los índices NAO y AO

Spectral changes in some meteorological variables and its relationship with NAO and AO Index



<https://eqrcode.co/a/JNr61h>

Manuel Alejandro Fernández Gutiérrez^{1*}, Carlos Manuel González Ramírez², Pedro González Jardines³

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

²Sociedad Meteorológica de Cuba

³Oficina de Vigilancia del Aeropuerto Internacional José Martí

RESUMEN: En este trabajo se analizan las características en los espectros de la temperatura, la presión atmosférica a nivel medio del mar y la precipitación, en el periodo comprendido entre 1989-2018 de las estaciones meteorológicas ubicadas en la región de la Habana, Artemisa y Mayabeque. El objetivo general fue identificar cambios en los espectros de las variables meteorológicas antes mencionadas y los patrones de teleconexión Oscilación Ártica (AO) y Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Se utilizaron como materiales y métodos el análisis espectral aplicando el teorema de Wiener - Khintchine, con el cual se obtuvieron las frecuencias y características del espectro en las variables meteorológicas e índices de teleconexión. Además de completar los datos faltantes con el método de la normal. Dentro de los principales resultados se obtuvo que la variable de mayor variación, fue la precipitación, sobre todo hacia la costa norte, sin embargo, la presión atmosférica al nivel medio del mar, mostró los cambios más significativos en el espectro, sobre todo en las últimas dos décadas que comprenden desde 1998-2018, observándose una disminución en la energía del espectro hacia las altas frecuencias (superiores a un mes), destacándose los mayores cambios hacia las bajas frecuencias. Estos resultados están estrechamente relacionados con una expansión hacia el oeste de la dorsal subtropical, observado principalmente en los niveles bajos y medios de la troposfera.

Palabras clave: circulación atmosférica, Oscilación del Atlántico Norte, Oscilación Ártica, análisis espectral.

ABSTRACT: In this work the characteristics of the temperature, pressure and precipitation of the meteorological stations of Habana, Artemisa and Mayabeque region are analyzed in order to determine the relation between these variables and the teleconnection patterns North Atlantic Oscillation (NAO) and Arctic Oscillation (AO). It was used the spectral analysis, and there were calculated the Pearson linear correlations between the teleconnection and the variables. There were compared the maps of geopotential height from the work region with the climatic standard in order to identify variations. It was determined that the pressure was the variable whose anomalies presented the strongest correlations with both NAO and AO indexes, mainly in the last decade of the study period in the rainy season of the year. It was also determined that the precipitation was the variable that presented more variability in the spectral analysis, primarily in the north coast, however the atmospheric pressure at mean sea level was the variable that showed the most significant changes in the spectrum, mostly in the last two decades, the main changes were observed for the low frequencies. These results are tightly related with a subtropical ridge expansion towards the west that was observed mainly in the low and medium levels of the troposphere.

Key words: atmospheric circulation, North Atlantic Oscillation, Arctic Oscillation, spectral analysis.

INTRODUCCIÓN

La circulación general de la atmósfera es el estado del tiempo alrededor de todo el planeta. Esta se resume como el movimiento de las masas de aire alrededor de la Tierra desde las zonas de bajas presiones hacia las zonas de altas presiones. Dichas diferencias de presión entre regiones se deben a la diferencia de energía recibida del Sol. Así el aire fluye desde las zonas de mayor calentamiento, hacia las de menor calentamiento.

Lo descrito con anterioridad resulta fácil de comprender, sin embargo es mucho más complejo el problema y las interacciones de lo descrito. Es por ello que durante los últimos 20 años se han incrementado los estudios encaminados a conocer e identificar los cambios en la circulación general de la atmósfera, siendo de gran importancia en la actualidad además de constituir un avance para perfeccionar los sistemas de predicción climática e incluir ese nuevo conocimiento dentro de los modelos y herramientas que se emplean en la estimación del cambio climático futuro (Fonseca, 2009).

*Autor para correspondencia: Manuel Alejandro Fernández Gutiérrez. E-mail: fergu971214@gmail.com

Recibido: 16/11/2020

Aceptado: 07/03/2021

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático ([IPCC, 2007](#)), la variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que la de los fenómenos meteorológicos individuales. Se presenta como resultado tanto de procesos internos naturales del sistema climático como del forzamiento antropogénico.

Estudios desarrollados durante los últimos 20 años, han observado en las últimas décadas, incrementos importantes en las precipitaciones medias y extremas en el Sudeste de América del Sur, lo que provoca severas inundaciones con mayor frecuencia. Importantes zonas productivas y numerosos centros urbanos se han visto afectados por esta problemática ([Re et al., 2005](#)). Por otra parte, ([Vicente et al., 2008](#)), aseguran que, en los observatorios de Barcelona y Zaragoza, la ocurrencia de lluvias de elevada intensidad es más importante durante los eventos negativos de la NAO.

Dentro de las técnicas que permiten descifrar el comportamiento en series de algunas variables meteorológicas para conocer la frecuencia y periodo, así como posibles escenarios climáticos, se encuentran el análisis espectral (**reportado en** [Chatfield, 2003](#) ; [Fuller, 1976](#) ; [Gottman, 1984](#)). Esta técnica es ampliamente usada ([Rugiero, 2006](#)), la usó para obtener funciones suavizadas y manejables las cuales describen de manera aproximada la variación de temperatura máxima y mínima anual, con base en los datos registrados en observatorios meteorológicos que proporcionan información del comportamiento de la temperatura en la cuenca del Valle de Puebla. Los resultados obtenidos proporcionan información para desarrollar un modelo de la variación de temperatura en el área de estudio.

Por otra parte ([Rodríguez, 1997](#)), estudia las características de la serie de precipitación total mensual de Barcelona (noreste de la Península Ibérica), en el periodo 1850-1991, usando diferentes técnicas de análisis temporal y espectral con el fin de detectar fluctuaciones o cambios en las tendencias estacionales y anuales. Teniendo especial cuidado en la utilización de técnicas de análisis frecuencial con el objeto de detectar la posible existencia de periodicidades y ciclos climáticos.

Mientras que ([Quiñones et al, 2010](#)), desarrollan una Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular para generar escenarios futuros de las variables climáticas analizadas. Obteniendo como resultados que en dos municipios de Colombia (El Espinal, Tolima, y Mosquera, Cundinamarca) de su región de estudio, los pastos pará (*Brachiaria mutica*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), respectivamente, tienden a requerir más agua por aumento de la evapotranspiración, sin embargo, plantean que es la textura del suelo la que determina cambios drásticos entre escenarios climáticos, en términos de requerimientos de riego.

Hoy en día existen diferentes índices y patrones que permiten identificar condiciones climáticas en regiones determinadas. Tal es el caso en nuestra región del Atlántico de la Oscilación Ártica, que descrita por primera vez por ([Thompson & Wallace 1998](#)), está considerada como el principal modo de variabilidad dominante en el hemisferio norte. Por lo que su reflejo puede observarse en algunas variables meteorológicas como plantean los trabajos desarrollados por ([Castillo et al., 2019](#)) quienes estudiaron la influencia de las oscilaciones atmosféricas en la captación y el transporte de humedad proveniente de las principales fuentes oceánicas con impacto en Mesoamérica para el periodo 1979-2012.

Trabajos similares en los Estados Unidos de América, concluyen que la relación entre la fase del evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la intensidad de la precipitación es fuerte y negativa en otoño, fuerte y positiva en primavera y débil para el resto de las estaciones. También concluyen que la fase de la Oscilación Decadal del Pacífico tiene una mayor influencia que el ENOS en pleno invierno.

En Cuba, también se han desarrollado trabajos para determinar el comportamiento de las condiciones climáticas y la influencia de los diferentes patrones de teleconexión. En esta dirección ([Planos et al., 2013](#)), plantean que desde mediados del siglo XX, las temperaturas media y mínima se incrementaron; mientras que el rango diurno de la temperatura disminuyó. Los propios autores plantean que en el caso de la precipitación se ha producido un ligero aumento en las anomalías positivas, que son más evidentes a partir de los años 90 del pasado siglo, este aumento ha estado condicionado fundamentalmente por las variaciones ocurridas en el período estacional poco lluvioso, donde se aprecia una disminución de las anomalías negativas de precipitación de manera general en Cuba. Mientras que, en el período estacional lluvioso, los acumulados reflejan una gran variabilidad, con una ligera tendencia al incremento.

Por su parte ([Lecha, 2018](#)) y ([Lecha et al., 2020](#)), encontraron un aumento de la frecuencia anual del tipo de situación sinóptica, caracterizada por marcada influencia del anticiclón oceánico con flujo del primer cuadrante y centro, extendido en forma de cuña sobre Cuba o influencia anticiclónica oceánica con flujo del segundo cuadrante y centro cercano sobre el océano Atlántico en los años del actual siglo XXI. Mientras que ha disminuido la frecuencia del tipo de tiempo sinóptico, caracterizado por la influencia de altas presiones oceánicas, con centro lejano en el océano Atlántico y flujo extendido no perturbado por la presencia de ondas y hondonadas o influencia débil de las altas presiones oceánicas, con centro lejano sobre el océano Atlántico y flujo en superficie del segundo cuadrante al sur. Esto resulta muy representativo de la transformación que está ocurriendo en el clima de Cuba, dada por un aumento lento pero sostenido de

la temperatura del aire, la modificación de la duración de las estaciones, con un alargamiento del verano y mayor intermitencia de los episodios invernales.

En el caso de los patrones de teleconexión, se encuentran los estudios desarrollados por (Fonseca, 2005 y 2009); (Pérez, 2010) y (Acosta, 2014). En el caso de esta última, estudió la influencia de la NAO sobre los frentes fríos, tormentas locales severas (TLS), lluvias localmente intensas y elementos meteorológicos (temperatura, humedad y precipitación) sobre la región occidental de Cuba en el periodo 1950-2012, para el periodo poco lluvioso del año. En este trabajo la autora determinó que la mayor frecuencia de afectación de los frentes fríos al occidente de Cuba, se asocia con la fase negativa de la NAO, principalmente los de tipo clásico e intensidad moderada. Sin embargo se concluye también que las condiciones termodinámicas vinculadas a una y otra fase de la NAO, no guardan una relación estable con la ocurrencia de los eventos extremos analizados, además no apareció ninguna influencia significativa sobre los totales mensuales de lluvia.

En el caso de (Cedeño, 2015b), analizó la relación que existe entre la Oscilación Ártica y los frentes fríos en la región occidental de Cuba en el periodo comprendido entre 1980 y 2011. En este estudio concluyó que durante la fase positiva de la AO disminuye el número de frentes fríos que arriban a la región occidental de Cuba, en particular, los de tipo clásico e intensidad moderada, mientras que aumenta durante la fase negativa de la AO. Las mejores correlaciones entre la fase de la AO y el comportamiento de los frentes fríos se obtuvieron en enero, febrero y abril. Además en este estudio se analiza la influencia combinada de la AO y el ENOS, demostrándose que sin importar la fase de la AO, durante El Niño siempre se registran anomalías positivas de frentes fríos, mientras que durante La Niña casi siempre se registran anomalías negativas.

Por otra parte (Cedeño, 2015c) estudia la relación que existe entre la Oscilación Ártica y las temperaturas máxima media y mínima media en el periodo invernal entre 1980 y 2011, para la temporada invernal. Hallando además que durante la fase positiva de la AO ambas temperaturas eran superiores a la media climática, mientras que en la fase negativa resultan inferiores. Además, los descensos más significativos de temperaturas mínimas y máximas ocurren preferentemente durante la fase negativa de la AO.

Como se evidencia existen diferentes estudios en los que se han usado diferentes métodos para determinar cambios en las series de las diferentes variables meteorológicas y patrones de teleconexión NOA y AO fundamentalmente, evidenciándose que en las últimas décadas se han observado variaciones en el comportamiento de diferentes variables meteorológicas y frecuencia de algunos fenómenos meteorológicos que caracterizan el tiempo y el clima en el archipiélago cubano. Es por ello que el objetivo general del artículo

es; determinar el comportamiento en los espectros del índice NAO y AO, así como las variables meteorológicas, presión atmosférica a nivel medio del mar, precipitación y temperatura del aire, en las estaciones meteorológicas de la Habana, Artemisa y Mayabeque.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para la realización de la presente investigación se eligió como región de estudio el área que comprenden las provincias de la Habana, Artemisa y Mayabeque. Esta se encuentra ubicada en la zona occidental de Cuba, aproximadamente entre 22°29' y 23°12' de latitud norte y entre los 83°25' y 81°40' de longitud oeste. Limita al norte con el estrecho de la Florida, al sur con el golfo de Batabanó, al oeste con la provincia de Pinar del Río y al este con la provincia de Matanzas.

Esta región resulta de gran importancia en la economía de Cuba, principalmente el sector agropecuario, industrial y turístico. Además, es una de las zonas más densamente pobladas del territorio nacional. A su vez, posee la mayor densidad de estaciones meteorológicas de superficie de Cuba, con un total de diez, distribuidas entre la costa norte, el interior y la costa sur, lo cual es interesante pues se obtienen mediciones que resultan representativas de diversas localizaciones geográficas, como se puede observar en la figura 2.1. Estas estaciones meteorológicas poseen un largo período de mediciones, característica útil para los intereses del trabajo. La tabla 2.1 muestra las diez estaciones meteorológicas con que cuenta la región.

Regionalización del área de estudio

Las estaciones pertenecientes a la región de estudio presentan diferencias entre sí, en cuanto al comportamiento de las variables analizadas en el trabajo. Por lo tanto, en esta investigación se tiene en cuenta la regionalización propuesta por (Barcia et al., 2012) que aunque se basa fundamentalmente en la variable temperatura se considera representativa de acuerdo con los intereses del artículo. En la misma, el área de estudio que fue utilizada pertenece a la región uno, que también comprende las provincias de Pinar del Río y Matanzas. Esta región se subdivide en siete zonas, como se aprecia en la figura 2.2, sin embargo se utilizaron cuatro zonas, que corresponden con las provincias de la Habana, Artemisa y Mayabeque (Z1, Z3, Z4, Z6).

Características climáticas de la región de estudio.

El área de estudio se ubica en la zona occidental de Cuba, por lo que se ve influenciada en gran medida por organismos tropicales y extratropicales. El anticiclón del Atlántico Norte es el principal centro de acción responsable por el comportamiento del tiempo

Tabla 2.1. Estaciones meteorológicas con las que cuenta el área La Habana, Artemisa y Mayabeque

Número de la estación	Nombre de la estación
78318	Bahía Honda
78320	Güira de Melena
78322	Batabanó
78323	Güines
78325	Casablanca
Número de la estación	Nombre de la estación
78340	Bainoa
78373	Santiago de las Vegas
78374	Tapaste
78375	Melena del Sur
78376	Bauta



Elaborado por (Hernández, 2015)

Figura 2.1. Localización de las diez estaciones meteorológicas correspondientes al área de la Habana, Artemisa y Mayabeque.

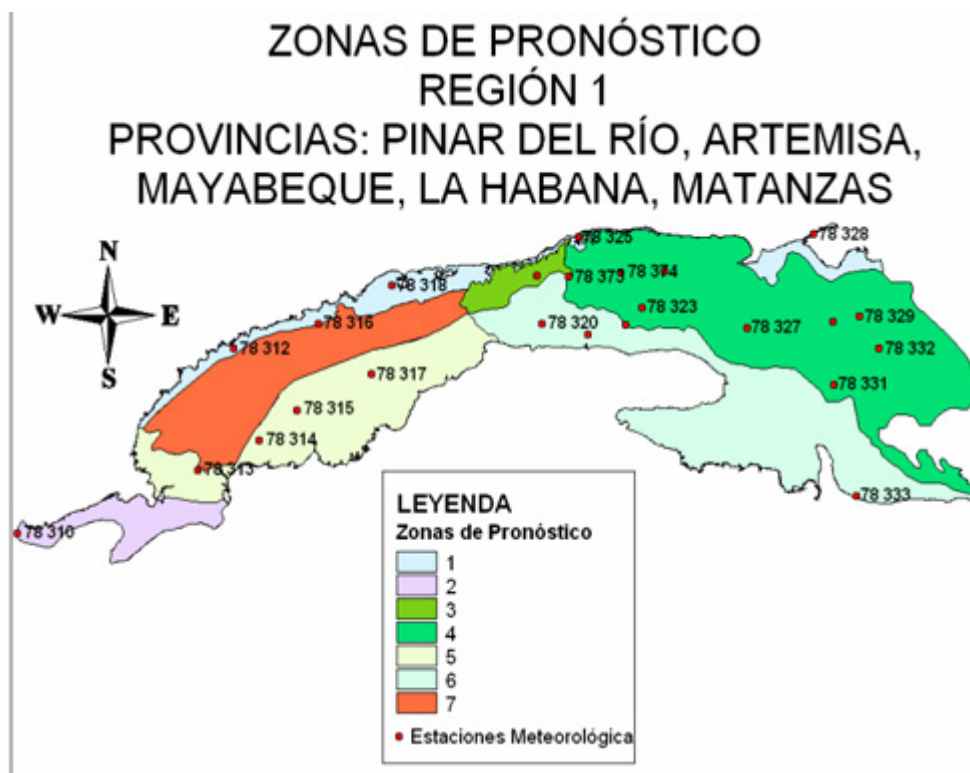
en el territorio durante la mayor parte del año. Esto ocurre fundamentalmente en el período lluvioso (mayo a octubre), donde predominan cielo despejado y altas temperaturas. Por otro lado, en el período poco lluvioso (noviembre a abril) el anticiclón del Atlántico Norte se aleja en latitud y predomina un flujo anticiclónico extendido, más retraído. Estas condiciones posibilitan un mayor intercambio de masas de aire con el extratropical que se refleja en la entrada de frentes fríos, los cuales son la principal fuente de precipitaciones en Cuba en la etapa poco lluviosa del año, seguidos de anticiclones migratorios. A su paso se produce un descenso apreciable de la temperatura, fundamentalmente la mínima. En muchas ocasiones, la influencia directa de los ciclones extratropicales a los cuales se asocian, no es notable, pero frecuentemente se presentan vientos de región Sur, (Sures) (Rodríguez et al., 1985), con temperaturas elevadas y con mayor contenido de humedad relativa, principalmente en los meses de marzo y abril.

Durante el período lluvioso, la región se ve afectada por el paso de ondas tropicales en el flujo del Este,

ciclones tropicales, situaciones de débil gradiente barométrico y la presencia de hondonadas en superficie, por lo que el campo bórico resulta sumamente abierto e impreciso.

Información utilizada (período de estudio).

Se utilizaron los datos mensuales del archivo del Centro del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba, correspondientes a las diez estaciones meteorológicas de superficie que operan en el área de la Habana, Artemisa y Mayabeque, para el período comprendido entre 1989 y 2018. Para facilitar el análisis, se dividió el período de estudio en tres décadas (1989-1998, 1999-2008 y 2009-2018), utilizándose el software Cran Statics, versión 3.0.2 (2013-09-25) Plataforma: x86_64-pc (64-bit), para Windows: disponible en <https://cran.r-project.org/src/base/R-3/>. Las variables meteorológicas utilizadas se muestran en la [tabla 2.2](#):



Elaborado por (Barcia et al., 2012)

Figura 2.2. Región 1 donde se ubica el área de estudio.

Tabla 2.2. Variables utilizadas.

Variable	Unidad de medida
presión a nivel medio del mar	hPa
acumulado total de precipitación mensual	Mm
temperatura mínima media	°C
temperatura máxima media	°C
temperatura mínima absoluta	°C
temperatura máxima absoluta	°C

En el estudio, además se utilizaron los valores mensuales de anomalías estandarizadas de los índices NAO y AO para el período 1989-2019. Los mismos están disponibles en el sitio web del Centro de Predicción Climática de los Estados Unidos con dirección: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>

Completamiento de las series.

Debido a la falta de datos en algunas estaciones meteorológicas y considerando que para la técnica espectral no debe haber faltante de datos en las series, hubo que acudir a métodos que ayudaran a rellenar estos datos. De ahí que, para el completamiento de los mismos, se usó el método de la **razón normal**, que es semejante al **método del cociente**. Este método emplea la razón de los valores normales de las estaciones próximas a la estación que se desea calcular y se formula como muestra la **expresión (2.1)**, se recomienda utilizar por lo menos tres estaciones auxiliares y se la

emplea cuando la media de una de las estaciones piloto, difiere en más del 10% de la media de la estación con datos faltantes (Guevara, 2003).

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right] \quad (2.1)$$

Donde n es el número de estaciones meteorológicas con datos de registros continuos. P_x : la variable con datos faltante de la estación (x) durante el período de tiempo a completar. P_1 a P_n : variable de las estaciones auxiliares durante el período de tiempo a completar. N_x : valor medio anual de la estación (x). N_1 a N_n : variable media anual de las estaciones auxiliares (Carrera, 2016).

Análisis espectral y series de Fourier.

El análisis de series de tiempo se refiere al grupo de estadísticas donde las observaciones son recogidas en forma secuencial y se busca, entender o explotar

la dependencia entre esas observaciones. A este tipo de técnica corresponde el análisis espectral. Es tipo de análisis, descompone una serie de tiempo estacionaria como una suma de un conjunto en series, que tienen componentes cíclicos con propiedades específicas, basándose en las transformaciones de Fourier. El principal uso de este método, es encontrar y descomponer una serie de tiempo en sus componentes cíclicos. Puede ser utilizado, ya sea para encontrar patrones de comportamiento en una serie o entre dos series, para determinar relaciones entre ciclos de las mismas. Además, puede ser utilizado indirectamente para generar pronósticos del comportamiento de series de tiempo (González et al., 2019).

En el artículo se utilizó para determinar la densidad espectral, el teorema de Wiener - Khintchine, el cual plantea que el proceso aleatorio estacionario, la densidad espectral de potencia y la función de autocorrelación, son el par de transformadas de Fourier, definidas por las expresiones 2.2 y 2.3:

$$S(f) = 4 \int_0^{\infty} R(t) \cos(2\pi ft) dt \quad (2.2)$$

Donde $S(f)$, es la función de densidad espectral unilateral

$$R(t) = \int_0^{\infty} S(f) \cos(2\pi ft) df \quad (2.3)$$

y $R(t)$, función de autocorrelación.

Para analizar los espectros por décadas, se utilizó un algoritmo desarrollado en el lenguaje de programación C++, usando el compilador en Windows Code: blocks, versión 10.0.5, lo que permitió hallar las frecuencias y energía del espectro de las variables analizadas.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Espectros de la NAO y AO.

El espectro de la NAO figura 3.1a, muestra un comportamiento caracterizado por la variabilidad con picos de energía bien establecidos sobre todo hacia las

bajas frecuencias. Sin embargo, este comportamiento en la última década ha desplazado los picos de energía hacia las altas frecuencia cerca de 1.2 meses, 1.6 meses y 1.9 meses. Entre los 15 y 30 días de la década 2009-2018 se observa una estabilización en la energía a diferencia las décadas 1989-1998 y 1999-2008. Estos resultados están relacionados con una mayor influencia de la fase positiva en esta oscilación.

En el caso de la AO figura 3.1b, el comportamiento es muy similar al observado con la NAO obteniéndose más energía en los picos de la primera y tercera década, cerca de los 0.5 meses, 1 mes, 1.3 meses y 1.6 meses. En este caso también la escala estacional está siendo más débil que la intramensual.

Análisis de los espectros por variables

El análisis espectral de las variables meteorológicas, mostró un comportamiento similar para todas las zonas analizadas. Los mayores cambios del espectro fueron observados en la precipitación y presión atmosférica al nivel medio del mar.

Espectros de la presión atmosférica al nivel medio del mar

Los espectros de la presión atmosférica, figura 3.2, muestran cambios sustanciales, en las tres décadas, identificándose en los últimos 20 años las mayores variaciones. En la región de estudio, se observa una mayor oscilación en la energía del espectro hacia las bajas frecuencia con picos de energía cerca de la frecuencia 5.50 (0.1 meses), 2.20 (0.5 meses), 1.38 (0.7 meses) y 1 (1 mes), mientras que los mínimos (valles) fueron observados en los 2.75 (0.3 meses) y 1.83 (0.5 meses), comportamiento que difiere considerablemente de la primera década. Además, hacia las altas frecuencias se observa una estabilidad en la energía del espectro, comportamiento que sigue siendo muy diferente al observado en la primera década, esta característica fue más acentuada en la Z4, donde prácticamente no es posible identificar los cambios estacionales con un incremento superior a 4.25 en la

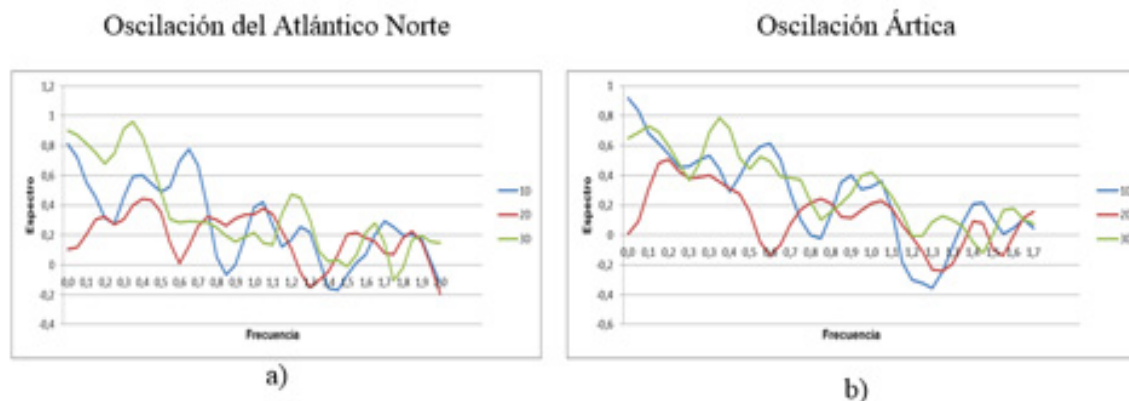


Figura 3.1. Espectros de la Oscilación del Atlántico Norte (a) y la Oscilación Ártica (b).

energía del espectro en la tercera década. Este comportamiento indica una mayor influencia de la dorsal subtropical sobre la región, disminuyendo el carácter estacional que se observaba en la primera década, siendo más significativo un comportamiento intramensual, más acentuado hacia las bajas frecuencia de la última década.

Espectros de la precipitación mensual

Los espectros de las precipitaciones son los de mayor variabilidad sobre todo en zonas de la costa norte (Z1), [figura 3.2](#), estos mostraron los mayores cambios de frecuencia en la segunda y tercera década, con una disminución visible en la energía de los espectros. En el caso de la región interior (Z3, Z4), es la que menor variabilidad presentó, lo que está en correspondencia con el comportamiento que siguen estas variables en la zona, estimulada por la presencia de la línea de confluencia del flujo a mesoescala (LCFM) que mantiene las precipitaciones en gran parte del año, sobre todo en el periodo lluvioso.

En la tercera década los picos de energía están cerca de la frecuencia 1.38 (0.7 meses) y 0.92 (1 mes) para la costa norte (Z1), 1.20 (0.8 meses) y 0.86 (1.2 meses) para la región interior (Z3) y 1.63 (0.6 meses), 0.98 (1 mes), 0.61 (1.6 meses) para la región sur (Z6). Mientras que los mínimos de energía que se concentran en los 2.20 (0.4 meses) y 0.79 (1.2 meses) para la costa norte (Z1), 1.50 (0.6 meses) y 1 (1 mes) para la región interior (Z3) y 1.39 (0.7 meses), 0.89 (1.1 meses) y 0.54 (1.8 meses) para la región sur (Z6). Este comportamiento es inverso a lo observado en la primera década y se encuentra desfasado hacia las altas frecuencias, en comparación con la segunda década, evidenciando una extensión en los periodos con déficit de lluvia.

Espectros de la temperatura máxima y mínima media.

En el caso de las temperaturas máximas, [figura 3.3](#), se observan los picos hacia las bajas frecuencias cerca de 1.83 (0.5 meses), 1.10 (0.9 meses) y 0.65 (1.5 meses). Se aprecia de manera general un ligero aumento en la energía del espectro de la década 2009-2018, con respecto a las anteriores.

Estos resultados están indicando un incremento de la temperatura máxima media mensual en todas las zo-

nas, con una discreta mayor variabilidad del espectro, hacia el interior y sur de la región de estudio (Z3, Z4 y Z6), que ha sido más significativo en los últimos diez años.

El comportamiento del espectro de la temperatura mínima [figura 3.3](#), es muy similar al de la temperatura máxima, sin embargo, se destacan cambios en la frecuencia de los valores con mayor energía, que para este caso están cerca de 1.83 (0.5 meses), 1.22 (0.8 meses) y 0.92 (1 mes), siendo más significativa (es decir mayor energía) en la tercera década. Este comportamiento también refleja un incremento de las temperaturas mínimas con una mayor variabilidad intramensual que se ha acentuado en la última década analizada, resultados que están relacionados con lo planteado por [Planos et al., 2013](#).

Teniendo en cuenta el comportamiento de la última década (2009-2018), se muestra en la tabla 3.1, las frecuencias de las variables analizadas observándose que las mayores coincidencias en los picos de energía, se encuentran en las frecuencias intramensual alrededor de los 15 días aproximadamente (0.5 color azul). En la última década se destaca una disminución en la coincidencia entre los picos de energía en frecuencias superiores a los 0.5, las que pueden considerarse estacionales y solo en el caso de la NAO con las precipitaciones coinciden en 1.2 (color morado) y NAO con la AO en 1.6 (color rojo). Estos resultados sugieren que las variaciones estacionales de estas variables meteorológicas, que siempre han sido pequeñas en la zona tropical, estén mostrando una disminución adicional. Este comportamiento sugiere una mayor influencia de las altas presiones oceánicas, con importantes variaciones en la región de estudio, resultados que están en total correspondencia con lo obtenido por ([Lecha et al., 2020](#)).

El análisis espectral mostró cambios en la frecuencia en los picos de energía sobre todo en la última década (2009-2018), además de observarse una disminución en la energía hacia las frecuencias que pueden considerarse como estacionales. A su vez este comportamiento puede ser el responsable de importantes cambios que se están observando en la circulación del periodo poco lluvioso del año (noviembre- abril), con su manifestación más evidente en la llegada de frente fríos a la región occidental de Cuba y esto a su vez, genera un comportamiento anómalo en precipitaciones y temperaturas extremas.

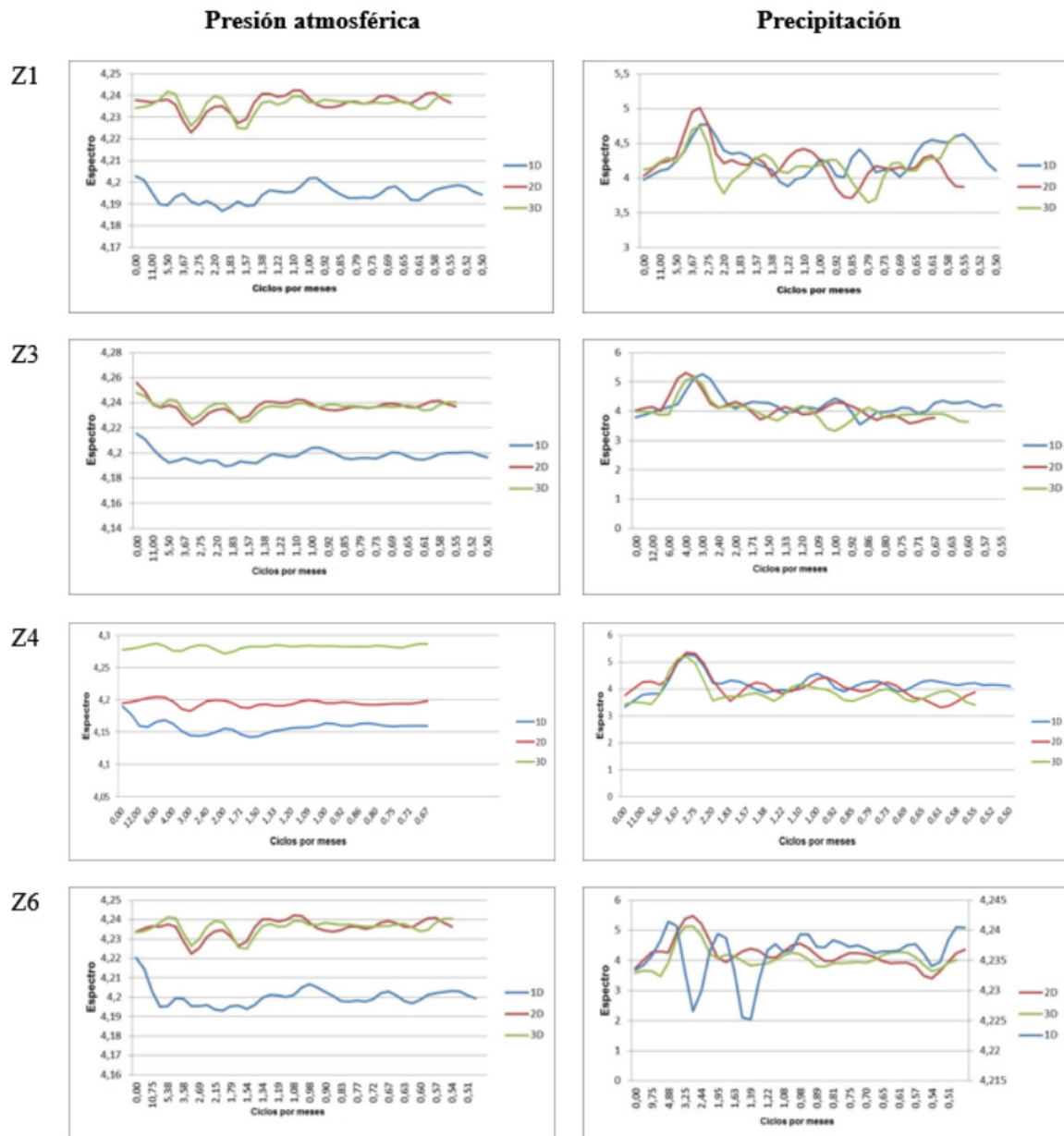


Figura 3.2. Espectro de presión atmosférica al nivel medio del mar y precipitaciones.

Tabla 3.1. Picos de frecuencia mensual en la última década

NAO	0.4	1.2	1.6	1.9
AO	0.5	1	1.3	1.6
Temp máx	0.5	0.9	1.5	
Temp min	0.5	0.8	1	
Presión	0.1	0.5	0.7	1
Precipitación	0.7	0.8	1	1.2

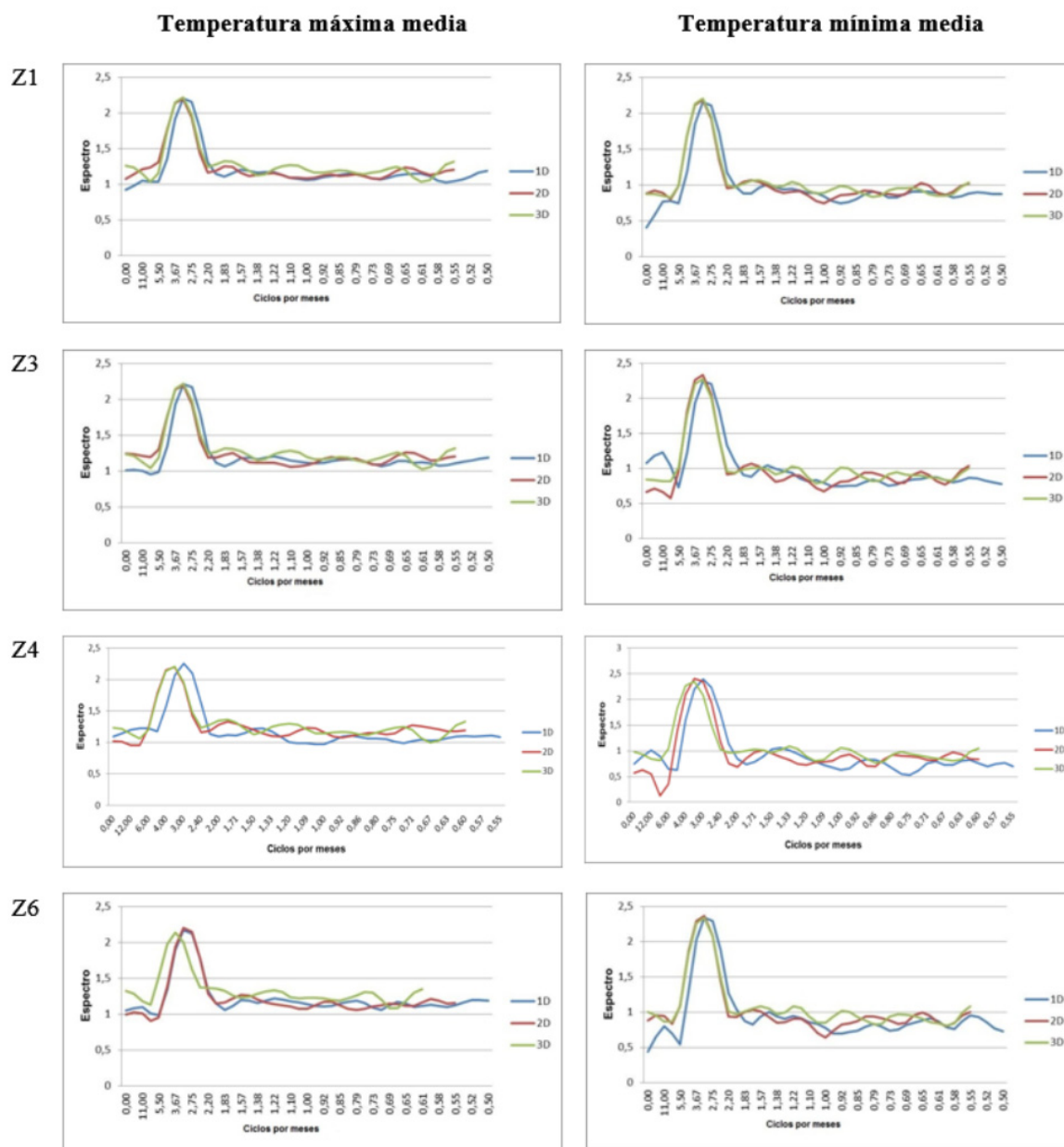


Figura 3.3. Espectro de temperaturas máximas y mínimas media.

CONCLUSIONES

Se logró aplicar el análisis espectral a las variables de estudio y los índices de teleconexión llegando a las siguientes conclusiones:

- El espectro de la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Ártica, indicaron cambios en las frecuencias hacia los 15-30 días en la década 2009-2018, lo que indica una mayor influencia de las fase positivas en ambos índices en este periodo.
- Las periodicidades más significativas se hallaron hacia las bajas frecuencias cerca de los 15 días, con una disminución de los picos y una mayor estabilidad en el espectro hacia las altas frecuencias superiores a un mes.

- En la tercera década de estudio, se observó un incremento en la energía del espectro de la presión atmosférica al nivel del mar y temperatura del aire, lo que evidencia un incremento en los valores de estas variables en la región de estudio.
- El espectro de la precipitación, indicó la mayor variabilidad, principalmente hacia las costas, con una disminución en la energía hacia las bajas frecuencias.

RECOMENDACIONES

- Incluir en próximas investigaciones otros patrones y oscilaciones como el Patrón Pacífico Atlántico Norte, Oscilación Madden-Julian, El Niño-Oscilación del Sur y el Patrón Atlántico Este.
- Extender el estudio a otras regiones de Cuba.

REFERENCIAS

- Acosta, H. (2014). *La Oscilación del Atlántico Norte y el comportamiento de la temporada invernal en la región occidental de Cuba*. Tesis de Diploma, La Habana: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana 140p, [Consultada mayo, 23 del 2020]
- Barcia, S., Ballester, M., Cedeño, Y., García, E., González, J., & Regueira, V. (2012). Variabilidad espacio-temporal de las variables que intervienen en los pronósticos a corto plazo en Cuba. Informe de resultado científico, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología INSMET, La Habana, Cuba, 21-22.
- Castillo, R.; Nieto, R.; Gimeno, L. & Drumond, A. 2019. ``Influencia de los principales modos anulares hemisféricos y El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en las fuentes de humedad globales de Mesoamérica``. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 746-763.
- Carrera, D. V.; Guevara, P. V.; Tamayo, L. C.; Balarezo, A. L.; Narváez, C. A. & Morocho, D. R. 2016. Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81-90.
- Cedeño, Y. 2015b. ``Oscilación Ártica y frentes fríos en el occidente de Cuba``. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 91-102.
- Cedeño, Y. 2015c. ``Oscilación Ártica y temperaturas en el occidente de Cuba``. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), 29-42.
- Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Climate change the physical science basis. Disponible en <http://www.ipcc.org>. [Consultada abril, 10 del 2020].
- Chatfield, Chris. 2003. *The Analysis of Time Series*. Chapman Hall/CRC, sixth edition. ISBN1584883170.
- 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.
- Fonseca, C. 2009. ``Índices de circulación atmosférica y anomalías de la lluvia en Cuba``. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1), 3-13.
- Fuller, Wayne. 1976. *Introduction to Statistical Time Series*. John Wiley-Sons. ISBN 0-471287156.
- González, C. M.; González, J. P. & Sánchez, N. 2019. Análisis Espectral de la Temperatura y Precipitación en la Habana Artemisa y Mayabeque. Memorias de la XII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Palacio de Convenciones, la Habana, Cuba. ISBN 978-959-300-145-8. Consultado abril, 13 del 2020.
- Gottman, John. 1984. *Time Series Analysis; A Comprehensive Introduction for Social-Scientists*. Cambridge University Press. ISBN0521235979.
- Guevara, J.M. 2003. *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos (2ª edición)*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 133 p.
- Lecha, L. 2018. ``Biometeorological forecasts for health surveillance and prevention of meteorotropic effects``. *Int. Jour. Biomet.*, 62, 5; 741-771.
- Lecha, L.; B, Sánchez, L; Verdecia, Y; Soler, E & Sánchez, A. 2020. ``Variabilidad de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre el occidente de Cuba``. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(2).
- Pérez, Y. 2010. Influencia de los Patrones de Teleconexión sobre la Circulación Atmosférica en los Alrededores de Cuba. Trabajo de Diploma. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Facultad de Medio Ambiente. Cuba, 48 p, [Consultada mayo 14 del 2020].
- Planos, E., Rivero, R., & Guevara, V. (2013). Libro Cambio Climático en Cuba: Impactos y Adaptación ISBN: 978-959-300-039-0. Editorial AMA. Consultado abril, 20 del 2020, [Consultado abril, 26 del 2020]
- Quiñones, A. J. P.; Barboza, B. A. A.; Moreno, M. A. A. & Aguilar, C. E. L. 2010. Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular. *Acta Agronómica*, 59(1), 1-8.
- Re, M.; Saurral, R. & Barros, V 2005. Precipitaciones extremas en la Argentina, Tendencias y Cambio Climático. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina, 13 p.
- Rodríguez, M. & Ballester, M. 1985. Cronología de los «sures» que han afectado a la mitad occidental de Cuba desde la temporada 1916-17 hasta la de 1977-78. *Reporte de investigación*, (10).
- Rodríguez, R. & Llasat, M. C. 1997. Análisis temporal y espectral de la serie de precipitación mensual de Barcelona (España) 1850-1991. *Ingeniería del agua*, 4(4), 19-28.
- Rugiero, F. D. M. 2006. *Análisis espectral de series temporales de temperaturas y su aplicación al estudio de su comportamiento en una red de observatorios meteorológicos*. Tesis en opción al grado de Máster, Universidad Autónoma de México, 56p., Disponible en: <http://www.red-mat.unam.mx/foro/volumenes/vol023/TesisMaestriaFrancisca-f.pdf>, [consultada mayo, 5 del 2020]
- Thompson, D. W. & Wallace, J. M. 1998. ``The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields``. *Geophysical research letters*, 25(9), 1297-1300.

Vicente, S. M.; Begueria, S.; López Moreno, J. I.; El-Kenawy, A., & Angulo, M. 2008. Riesgo de precipitación extrema asociado a eventos de circulación atmosférica en el noroeste español. Instituto Pirenaico de Ecología. España, 11 p.

Wallace, J. M. & Gutzler, D. S. 1981.`` Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter``. *Monthly Weather Review*, 109(4), 784-812.

Manuel Alejandro Fernández Gutiérrez. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana. Email: fergu971214@gmail.com.

Carlos Manuel González Ramírez. Grupo de Pronóstico del Tiempo Artemisa – Mayabeque, Instituto de Meteorología, loma de Casa Blanca, Casa Blanca, Regla, La Habana, Cuba. E-mail: carlosmsgonzalez88213@gmail.com

Pedro González Jardines. Oficina de Vigilancia del Aeropuerto Internacional José Martí. E-mail: pedro.met90@gmail.com

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: Concepción de las ideas: **Manuel Alejandro Fernández Gutiérrez.** Elaboración, recopilación de los datos y revisión del artículo: **Carlos Manuel González Ramírez.** Elaboración, revisión del artículo: **Pedro González Jardines.** Procesamiento de datos y revisión crítica del documento

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/)