

Oscilación Ártica y frentes fríos en el occidente de Cuba

The Arctic Oscillation and cold fronts in western Cuba

Lic. Yiganis Cedeño Rojas | yiganis.rojas@insmet.cu | Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología

Recibido: enero 27 de 2015; aceptado: marzo 24 de 2015.

Resumen

En el presente trabajo se analiza la influencia de las fases de la Oscilación Ártica en el comportamiento de los frentes fríos que arribaron a la región occidental de Cuba durante el período 1980-2011, teniendo en cuenta el tipo y la intensidad de los mismos. Se utilizaron las cronologías de frentes fríos del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología de Cuba, la base de datos del Centro de Predicción del Clima de los Estados Unidos y el coeficiente de correlación de Pearson. El estudio reveló que durante la fase negativa de la Oscilación Ártica aumenta la frecuencia de frentes fríos, en especial, los de tipo clásico e intensidad moderada, mientras que durante la fase positiva ocurre lo contrario. Finalmente, se analizó la influencia conjunta del evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Ártica en el comportamiento de los frentes fríos; este análisis permitió revelar que durante la fase cálida del ENOS se registran anomalías positivas en la cantidad de frentes fríos que arriban al occidente de Cuba, las cuales son mayores cuando la Oscilación Ártica se encuentra en la fase negativa, mientras que durante la fase fría casi siempre se registran anomalías negativas.

PALABRAS CLAVE: Oscilación Ártica, temporada invernal, frente frío, ENOS.

Abstract

In this paper are analyzed the anomalies that produce the phases of the Arctic Oscillation in the frequency of cold fronts that arrive to the western region of Cuba during the winter season in the period 1980-2011. Chronologies of cold fronts from Forecast Center of the Institute of Meteorology of Cuba, the databases from the Climate Prediction Center of the United States and the Pearson's correlation coefficient were used. The carried out study allowed to reveal that during the negative phase of the Arctic Oscillation increases the frequency of cold fronts, especially those of classic type and moderate intensity, while during the positive phase the opposite happens. Finally, the combined influence of the event El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and the Arctic Oscillation in the behavior of the cold fronts is analyzed. This analysis allowed revealing that during the warm phase of ENSO positive anomalies are recorded in the amount of cold fronts, which are larger when the Arctic Oscillation is in the negative phase, while during La Niña almost always negative anomalies are registered.

KEYWORDS: Arctic Oscillation, winter season, cold front, ENSO.

Introducción

El período poco lluvioso o temporada invernal en Cuba comprende de noviembre a abril; durante este período, el archipiélago cubano es afectado por frentes fríos (FF), los cuales son sistemas meteorológicos de latitudes medias que se desplazan, primero, al este y después al sureste, sobre el golfo de México.

Según Rubiera (1984), Rubiera y Caymares (1998), Hernández (2002), Fonseca (2008), Jústiz (2010) y Acosta (2014), entre otros, las características climáticas de la temporada invernal en Cuba pueden variar de forma significativa de un año a otro, a causa de, entre otras, la presencia de algunos patrones atmosféricos de teleconexión, tales como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), a los cuales se suma la Oscilación Ártica (AO, por sus siglas en inglés).

Las investigaciones relacionadas con la AO comenzaron a partir de Walker y Bliss (1932), Van Loon y Rogers (1978) y Hurrell (1995); estos autores consideraban el fenómeno como una variación del clima regional y se refirieron a esta como la Oscilación del Atlántico Norte. Un esfuerzo paralelo fue llevado a cabo por Rossby (1939), Namias (1950) y Lorenz (1951), quienes estudiaron la misma variabilidad y definieron varios índices zonales para identificarla, considerándola zonalmente simétrica o anular. Pero no es hasta Thompson y Wallace (1998) que se propone por vez primera el concepto de Oscilación Ártica y la definen como el principal modo de variabilidad dominante en el hemisferio norte.

Analizando los datos disponibles, Thompson y Wallace (1998) vieron que durante los días de la fase negativa de la AO, las temperaturas eran varios grados más bajas que lo normal en casi todo los Estados Unidos, el norte de Europa, Rusia, China y Japón. A partir de ese año se publicaron muchos trabajos que han servido para comprender mejor el comportamiento de la AO, y su relación con la variabilidad del

clima y otros eventos meteorológicos extremos; en este sentido, puede citarse a Wallace (2000), Thompson (2000) y Thompson y Hegerl (2000). Asimismo, en el área de Centroamérica pueden mencionarse los estudios realizados por Zárate (2013), donde se analiza el número de frentes fríos que alcanzan el Mar Caribe, y su relación con la AO y la temperatura en el cinturón ártico, ubicado entre los 70–90° N.

En los últimos años, la AO ha sido centro de atención por parte de la comunidad científica, pero las investigaciones en la región del Caribe pueden considerarse como incipientes y aún existe mucha incertidumbre respecto a los mecanismos que rigen sus modos de variabilidad temporal y, en correspondencia, su nivel de influencia en el comportamiento de las variables meteorológicas que caracterizan la temporada invernal en Cuba. A ello se suma el hecho de que la mayoría de los estudios relacionados con el tema se refiere a latitudes medias y altas, mientras que para la región tropical resultan muy escasas las investigaciones que abordan de manera directa la influencia de la misma.

En Cuba, el tema no ha sido investigado hasta el momento; por ende, este trabajo representa un primer acercamiento a la temática, y con ello se pretende comprender mejor la relación entre las diferentes anomalías climáticas y la AO.

La Oscilación Ártica

Según Thompson y Wallace (1998) la *oscilación ártica* o *modo anular del norte* es el patrón dominante de las variaciones no estacionales de la presión atmosférica al norte de los 20° N, y se caracteriza por anomalías en la presión de magnitudes positivas o negativas en el Ártico y anomalías de magnitudes opuestas localizadas entre los 37–45° N.

Es un patrón climático que varía con el tiempo sin periodicidad determinada, que puede alternarse durante semanas o meses. El origen de estas variaciones

está relacionado con complejas interacciones entre la atmósfera, el océano y los hielos polares que aún presentan vacíos en su comprensión, y son muy difíciles de predecir con antelación, aunque se han realizado algunos estudios, como los de Baldwin y Dunkerton (1999), los cuales sugieren que la Oscilación Cuasi-Bienal (QBO, por sus siglas en inglés) en la estratosfera ecuatorial podría forzar la AO. Ellos plantean que la fase y la fuerza de la AO, sobre todo en la estratosfera, están influenciadas por la QBO, dado que la AO tiende a estar en su fase negativa cuando la QBO es del este.

Según Wallace (2000), por lo general, en el Ártico predomina un centro de bajas presiones, mientras que la presión del aire que se encuentra en las latitudes medias suele ser mayor; esta diferencia de presión genera vientos que confinan el aire extremadamente frío en el Ártico. La fuerza de los sistemas de alta (en las latitudes medias) y de baja presiones (en el Ártico) oscila: cuando los sistemas de presión son más fuertes, o sea, cuando sobre el Ártico la presión del aire es más baja y sobre las latitudes medias es más alta que lo normal, la diferencia de presión entre ambos aumenta y los vientos predominantes que se mueven de oeste a este de forma paralela al ecuador giran más rápido. Esto limita el aire extremadamente frío en el Ártico, mientras que el aire más cálido se mantiene sobre las latitudes medias y, como consecuencia, las temperaturas en el Ártico son más bajas, en tanto sobre las latitudes medias son más altas que lo normal. En este caso, la AO se encuentra en fase positiva.

Wallace (2000) también plantea que cuando estos sistemas son más débiles, la diferencia de presión entre el Ártico y las latitudes medias disminuye porque en el Ártico la presión del aire no es tan baja y en latitudes medias no es tan alta. Esto provoca que el anillo de vientos que sopla de oeste a este gire más lentamente y pueda ser perturbado con mayor facilidad, propiciando la formación de amplias ondas que se desplazan hacia los trópicos, y permiten que

la masa de aire ártico y frío se deslice al sur hasta latitudes más bajas, donde ocurre un enfriamiento mayor que lo normal, mientras que, por el contrario, se desplaza una masa de aire más cálida hacia zonas más septentrionales, donde ocurre un calentamiento superior a lo normal. En este caso, la AO se encuentra en fase negativa.

Esta última fase desempeña el papel más importante en la variabilidad de la temporada invernal en los trópicos, incluyendo a Cuba, debido a un mayor y significativo intercambio de los procesos atmosféricos trópico-extratropical.

La AO fluctúa estocásticamente entre sus fases positiva y negativa en escalas de tiempo diarias, mensuales, estacionales y anuales; a pesar de estas fluctuaciones, en los últimos tiempos, se han alcanzado altos niveles de exactitud en la predicción, al menos, para los pronósticos de corto plazo.

El Niño–Oscilación del Sur

En el Océano Pacífico tropical, los vientos dominantes cerca de la superficie son del este; tales vientos, denominados alisios, tienden a acumular el agua tropical más caliente hacia el lado oeste, en la región de Indonesia. Por ser la temperatura de la superficie del mar más elevada ($> 28\text{ }^{\circ}\text{C}$) en esta región, el aire es más ligero y forma una atmósfera inestable en la cual existe formación de nubes y lluvias intensas. Además, la parte este del Pacífico tropical es, en general, más fría ($< 27\text{ }^{\circ}\text{C}$), por lo que se inhibe la formación de nubes.

Cuando se presenta El Niño, los vientos alisios en el Pacífico se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico tropical, generalmente confinadas a la región del Pacífico oeste, se esparcen a lo largo del ecuador; por tanto, las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico (central y este) son más elevadas en $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La convección atmosférica y la zona de tormentas se mueven hacia el este, y las lluvias

fuertes se precipitan sobre el área costera al oeste de Suramérica. Conforme la termoclina se profundiza, el afloramiento de aguas frías se reduce en la costa occidental de América del Sur (Pérez, 2011).

En presencia de La Niña, los alisios en el Pacífico central y oriental se intensifican en vez de debilitarse; en tal caso, la surgencia de agua profunda aumenta y la temperatura del agua disminuye en el Pacífico oriental, con la consiguiente sequía, mientras que la temperatura del agua aumenta en el lado asiático, y la precipitación aumenta considerablemente en Indonesia y Australia (Pérez, 2011).

La Oscilación del Sur (OS) está determinada por sucesivos fortalecimientos y debilitamientos de los gradientes de presión atmosférica en la zona tropical del Océano Pacífico, y conduce a una variabilidad interanual significativa de la Circulación de Walker, constituida por las dos celdas de circulación zonal dominantes en esta área oceánica. La Oscilación del Sur se caracteriza por la diferencia de presión entre Darwin (12.4° S y 139° W), en el norte de Australia, y Tahití (17.5° S y 149.6° W), en el Pacífico Sur (Cárdenas y Naranjo, 1998).

Cuando la presión atmosférica es más baja que lo normal sobre Asia y Australia, esta tiende a ser más alta que lo normal sobre el Pacífico central y oriental, lo cual provoca una intensificación de la Circulación de Walker. Entonces, se afirma que la OS está en su fase alta o positiva. De modo similar, en años en que la presión superficial es más alta que lo normal sobre Asia y Australia, esta es más baja en el Pacífico central y oriental, y ocurre un debilitamiento de la Circulación de Walker. Entonces, la OS está en la fase baja o negativa (Cárdenas y Naranjo, 1998).

Existe una relación estrecha en el comportamiento del océano y la atmósfera a través del océano Pacífico ecuatorial, en particular, una fuerte coherencia entre el evento El Niño y la fase baja de la OS. Este hecho ha llevado al uso de un término general para describir ese fenómeno acoplado océano-atmósfera

como El Niño-Oscilación del Sur, donde el primero es la componente oceánica y la Oscilación del Sur es la atmosférica. De esta manera, la fase cálida del ENOS coincide con El Niño (o el calentamiento oceánico) y la fase baja o negativa de la OS. Igualmente, la fase fría del ENOS coincide con La Niña (o el enfriamiento oceánico) y la fase alta o positiva de la OS (Pérez, 2011).

El evento ENOS desempeña un papel importante como elemento de forzamiento de la variabilidad climática en el sureste de los Estados Unidos, el norte de México, el Golfo de México, el estrecho de la Florida y el occidente de Cuba (Philander, 1983; Philander y Rasmusson, 1985; Enfield, 1989; Ropelewski y Halpert, 1987; Glantz *et al.*, 1991). En Cuba, su mayor influencia se refleja sobre todo en un incremento de los acumulados de precipitaciones invernales y un aumento de la frecuencia de eventos de tiempo severo durante la temporada invernal (Alfonso, 1995; Cárdenas y Naranjo, 1996); sin embargo, la influencia del ENOS no presenta un comportamiento regular. Naranjo y Centella (1998) plantearon que el impacto del ENOS sobre el área del Caribe se ha incrementado desde la década de los setenta del siglo xx, gobernado por patrones asociados a los cambios de las condiciones climáticas de fondo registrados en esta época.

Sistemas frontales en Cuba

Después de los ciclones tropicales, los frentes fríos pueden considerarse como los sistemas de mayor importancia para Cuba; esta valoración se basa en la alta frecuencia de sus impactos sobre el territorio cubano en la temporada poco lluviosa del año.

La influencia de las masas de aire frío de origen ártico o polar que acompañan a los sistemas frontales provoca un descenso notable de las temperaturas y el contenido de humedad del aire. Si la influencia de estas masas de aire se combina con la ocurrencia local de cielo despejado, vientos débiles o calma,

persistencia de la masa fría por varios días y ciertas condiciones físico-geográficas, pueden llegar a producirse temperaturas mínimas notables (inferiores a los 10 °C) e incluso escarcha en las capas cercanas al suelo y sobre las hojas de los cultivos de menor altura.

Como en las latitudes tropicales el contraste térmico de la zona frontal del frente polar no es tan pronunciado, el Instituto de Meteorología de Cuba clasifica a los frentes fríos, según el tipo y la intensidad, por el campo de viento. De acuerdo con el tipo de frente frío, estos se clasifican en clásicos, revesinos y secundarios.

Según Rodríguez *et al.* (1984), un frente frío *clásico* produce previamente vientos de región sur sobre la mitad occidental de Cuba que, gradualmente, pasan a ser del suroeste, el oeste y el noroeste al norte, girando siempre a favor de las manecillas del reloj; los frentes fríos *revesinos*, al afectar a Cuba, ocasionan un giro del viento con dirección del este, del noreste y, finalmente, del norte, en contra de las manecillas del reloj; los frentes fríos *secundarios* afectan a Cuba poco tiempo (uno o dos días) después del paso de un frente frío y producen un reforzamiento de las condiciones invernales, pero dentro de la influencia del mismo anticiclón continental que siguió a la entrada del frente anterior.

Según las intensidades, los frentes fríos se clasifican en débiles, moderados o fuertes, teniendo en cuenta el viento máximo medio sostenido, medido durante 3 h como mínimo (Rodríguez *et al.*, 1984). Los frentes fríos *débiles* son aquellos cuyos vientos máximos sostenidos no pasan de 35 km/h; los *moderados* poseen vientos comprendidos entre 36 km y 55 km/h; y los *fuertes* tienen velocidades iguales o mayores a 56 km/h.

Materiales y métodos

Todos los análisis se efectuaron entre noviembre y abril, o sea, en la temporada invernal o período poco lluvioso en Cuba; el período seleccionado fue 1980–2011.

El índice de la oscilación ártica (AOi, por sus siglas en inglés) y el índice oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) se obtuvieron de las bases de datos del Centro de Predicción del Clima de los Estados Unidos (CPC), disponibles en la página web www.cpc.ncep.noaa.gov.

El AOi toma valores positivos o negativos. Por norma general, se considera que se está en la fase positiva (AO+) o negativa (AO-) cuando el valor del índice es mayor de 1.0 o menor de -1.0, respectivamente (CPC, 2014).

El ONI está definido por el CPC (2014) como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (desde 5° N hasta 5° S y entre 120–170° W). Este índice toma valores positivos o negativos que indican condiciones de calentamiento o enfriamiento, las cuales llegan a definir la existencia o no de un evento El Niño o La Niña en función de alcanzar cierto valor umbral (+/- 0.5 °C, respectivamente) mantenido durante un plazo de al menos cinco meses. Los valores del ONI comprendidos entre -0.5 °C y 0.5 °C representan condiciones neutras.

Para la obtención de las fechas de arribo de los frentes fríos se consultaron los siguientes documentos, elaborados por el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología:

1. Cronología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada invernal 1916–1917 hasta la de 1982–1983 (Rodríguez *et al.*, 1984).
2. Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916–1917 hasta 1996–1997 (González, 1999).
3. Cronología actualizada de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada invernal 1916–1917 hasta 2007–2008 (González, 2008).
4. Actualización de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1997 hasta 2011 (González y Estévez, 2012).

Con vistas al análisis de las anomalías de frentes fríos se tomó en cuenta la diferencia entre el valor de la variable y el valor medio climático del mes o la temporada invernal durante el período 1980–2011. Para medir la relación entre el índice de la AO y la cantidad, el tipo y la intensidad de los frentes fríos se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, y se prefijó el nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Resultados

Análisis mensual

Cuando se analiza la frecuencia de frentes fríos por meses de manera independiente durante las fases positiva y negativa de la AO (AO+ y AO-), y se compara con los valores promedios para el período, se aprecia que en todos los casos, durante la fase negativa, ocurre un incremento de la frecuencia de frentes, mientras que durante la fase positiva existe una disminución; abril, marzo, diciembre y enero, respectivamente, son los meses donde estas variaciones son más significativas (Fig. 1).

Sin embargo, cuando se realiza este mismo análisis teniendo en cuenta el tipo y la intensidad de los frentes fríos, se obtienen resultados diferentes. Durante la fase negativa (positiva) de la AO se aprecia un incremento (o una disminución) en los frentes de tipo clásicos (Fig. 2a) con de intensidades débil (Fig.

2d) y moderada (Fig. 2e), mientras que la frecuencia de los frentes de intensidad fuerte (Fig. 2f) y de tipos reversino (Fig. 2b) y secundario (Fig. 2c) no parece estar relacionada con la AO, puesto que la frecuencia de estos puede ser mayor o menor, independientemente de la fase. La excepción de esto último son los frentes fuertes durante marzo, dado que su frecuencia casi se duplica durante la fase negativa de la AO.

Al analizar el coeficiente de correlación de Pearson entre la cantidad de frentes fríos y el AOi por meses, las mejores correlaciones se aprecian en enero, febrero y abril (Tabla 1).

TABLA 1
Coeficiente de correlación de Pearson entre la cantidad mensual de frentes fríos y el AOi mensual

Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
-0.30	-0.27	-0.49*	-0.46*	-0.35	-0.43*

Nota: (*) significativas a 5 %.

Al analizar las anomalías mensuales de arribo de frentes fríos, se aprecia que durante la fase positiva (negativa) de la AO predominan anomalías negativas (positivas) (Fig. 3a y b).

Análisis por temporada invernal

La figura 4 muestra la cantidad de frentes fríos y el AOi por temporada invernal; se aprecia que cuando

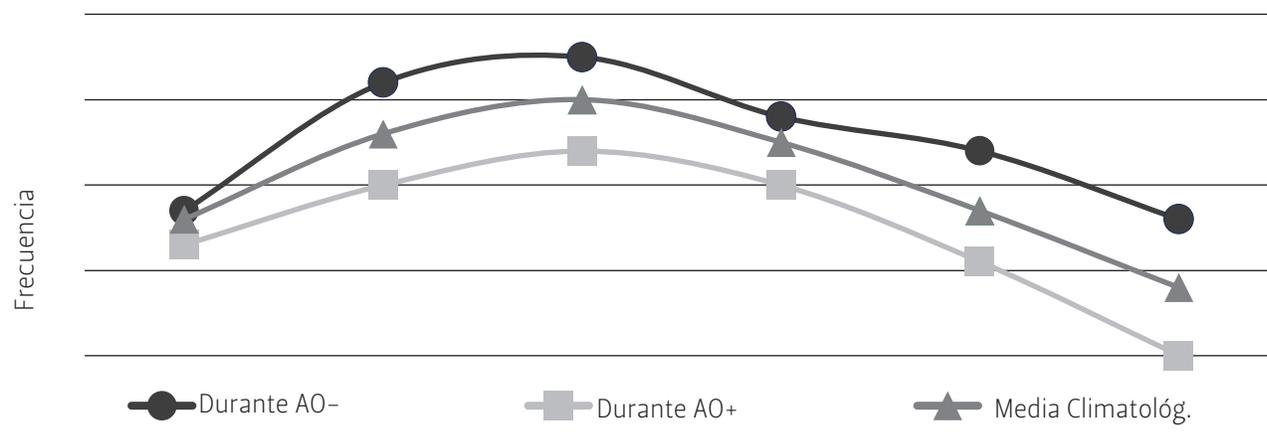


Fig. 1 Frecuencia de frentes fríos durante las fases positiva y negativa de la AO.

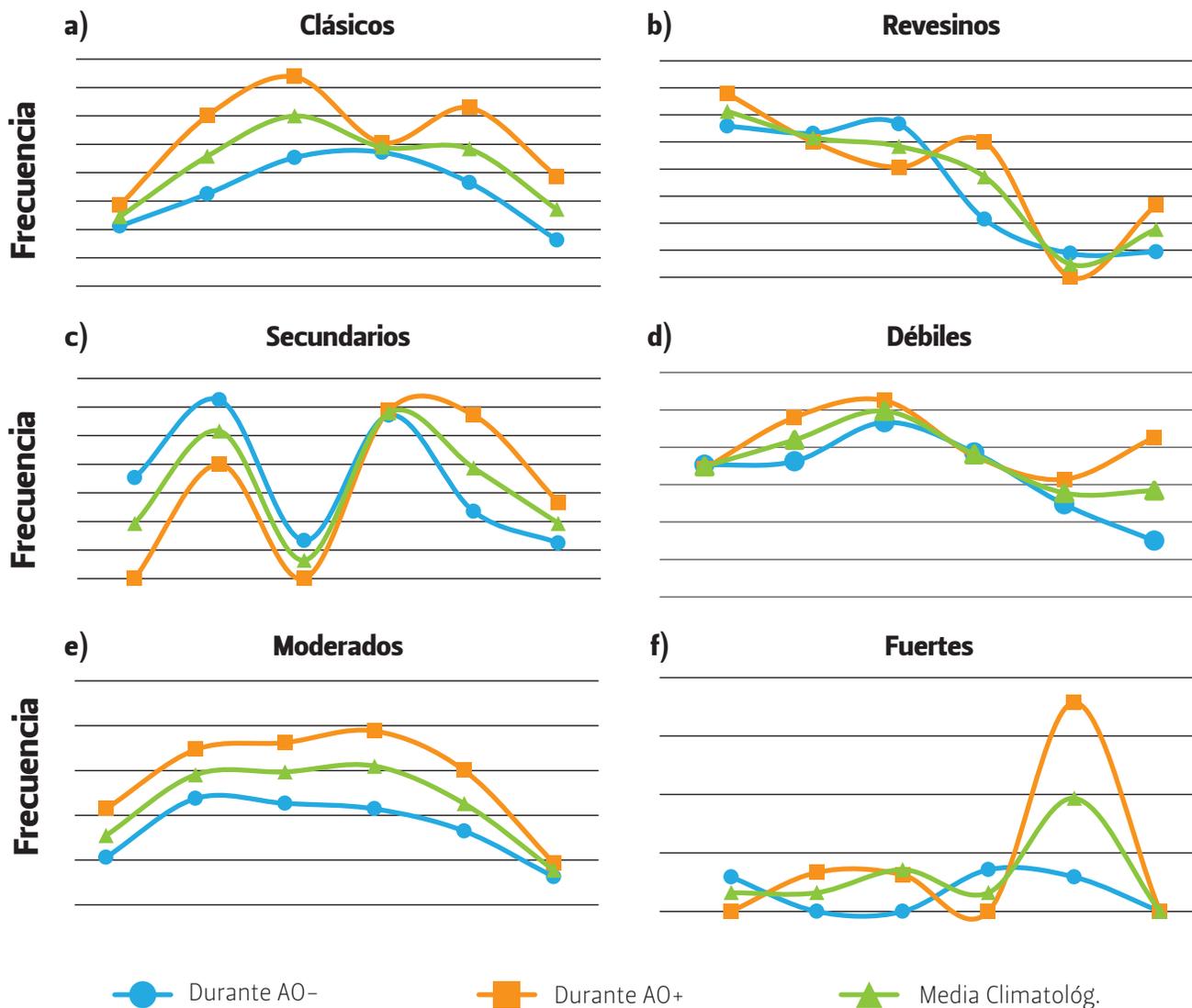


Fig. 2 Frecuencia de frentes fríos por tipo (a) (b) y (c) e intensidad (d) (e) y (f) durante las fases positiva y negativa de la AO (1980-2011).

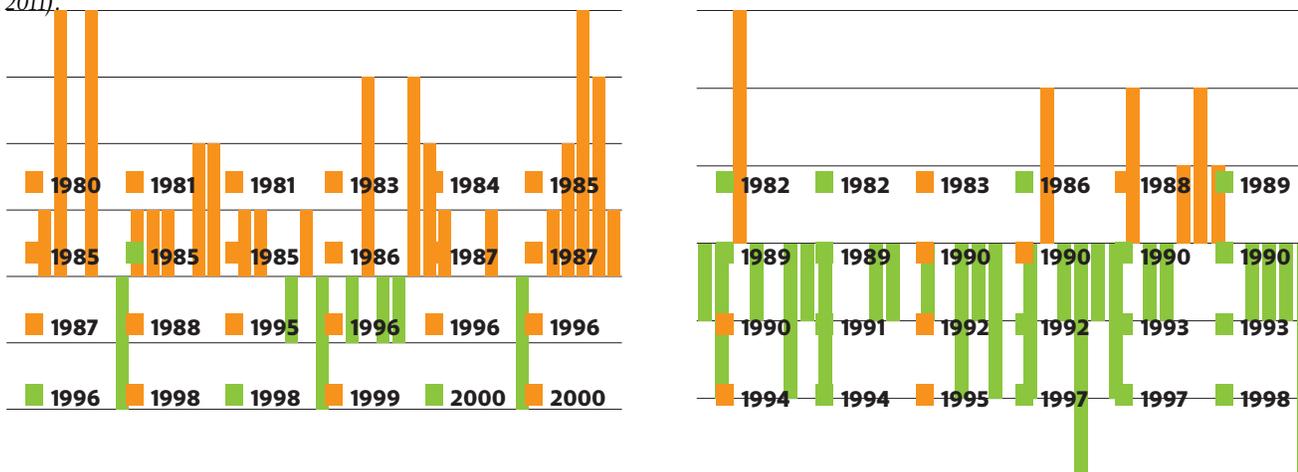


Fig. 3 Anomalías mensuales de frentes fríos durante las fases negativa (a) y positiva (b) de la AO (1980-2011).

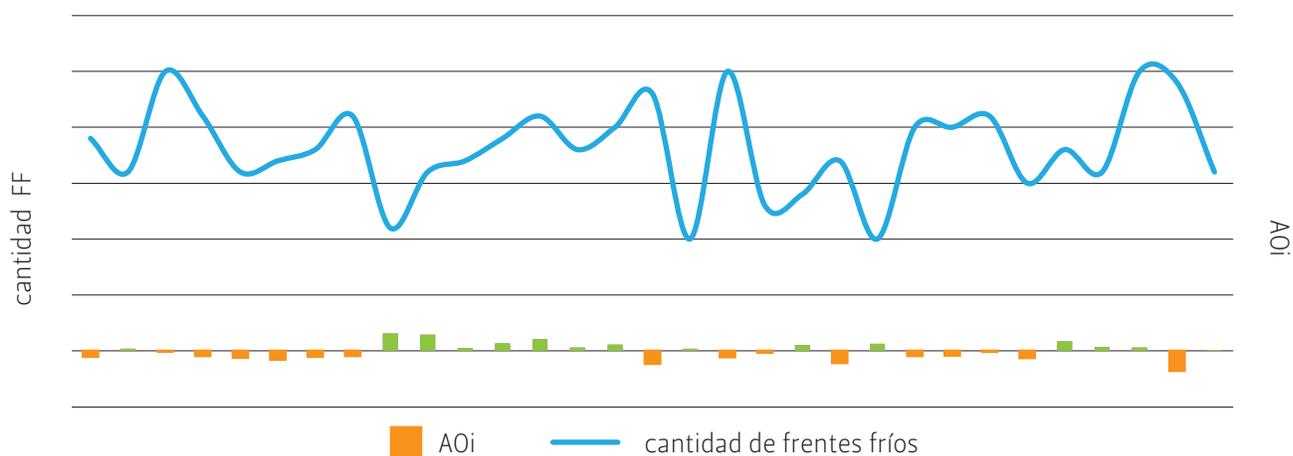


Fig. 4 Cantidad de frentes fríos en la región occidental de Cuba e AOi desde la temporada invernal 1980-1981 hasta 2010-2011.

la AO se encuentra en su fase negativa, por lo general, llegan más frentes fríos a la región occidental de Cuba, y viceversa.

Lo anterior se confirma cuando al estratificar la muestra de frentes fríos según la fase de la AO y se calculan los estadígrafos correspondientes (Fig. 5). El promedio de frentes fríos por temporada es 18.1; sin embargo, durante la fase positiva desciende hasta 16.4, mientras que durante la fase negativa aumenta hasta 19.7. El número máximo de frentes por temporada (25) no se afecta con el cambio de fase, pero el mínimo aumenta de 10.0 hasta 13.0 durante la AO negativa.

El coeficiente de correlación de Pearson entre la cantidad de frentes fríos por temporada invernal y el AOi es -0.40 (correlación significativa a 5 %).

La figura 6 muestra las anomalías de frentes fríos durante las fases positiva (b) y negativa (a) de la AO; se constata que durante la fase negativa (positiva) predominan anomalías positivas (negativas).

Sin embargo, existen algunas excepciones donde ocurre lo contrario; en este sentido, las más significativas resultan la temporada 1998-1999, con AOi negativo y un total de 13 frentes fríos (cinco menos que el promedio), y la temporada 2008-2009, con AOi positivo y un total de 25 frentes fríos (siete más que el promedio).

Cuando se analiza el coeficiente de correlación de Pearson entre la cantidad de frentes fríos por tipo e

intensidad y el AOi por temporada invernal, se aprecian las mejores correlaciones en los frentes clásicos y de intensidad moderada (Tabla 2).

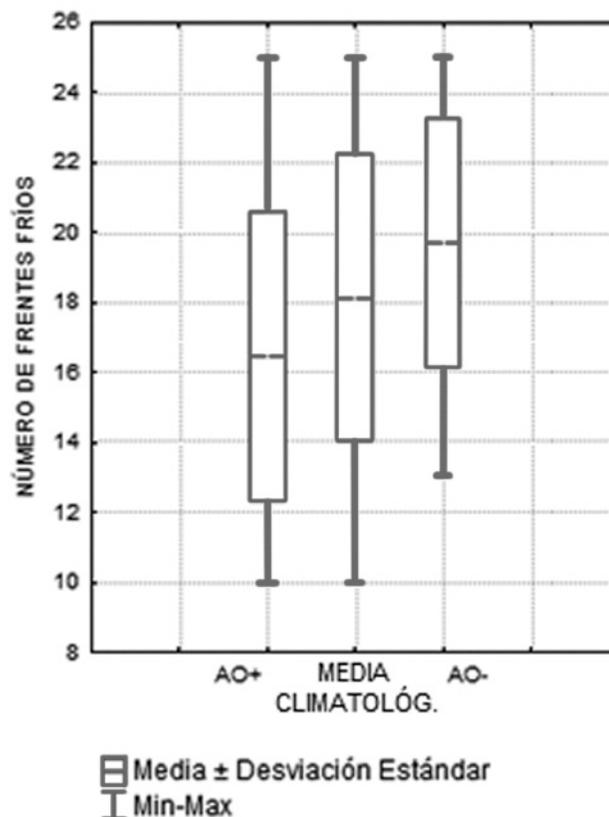


Fig. 5 Estadígrafos aplicados a la serie estratificada de frentes fríos.

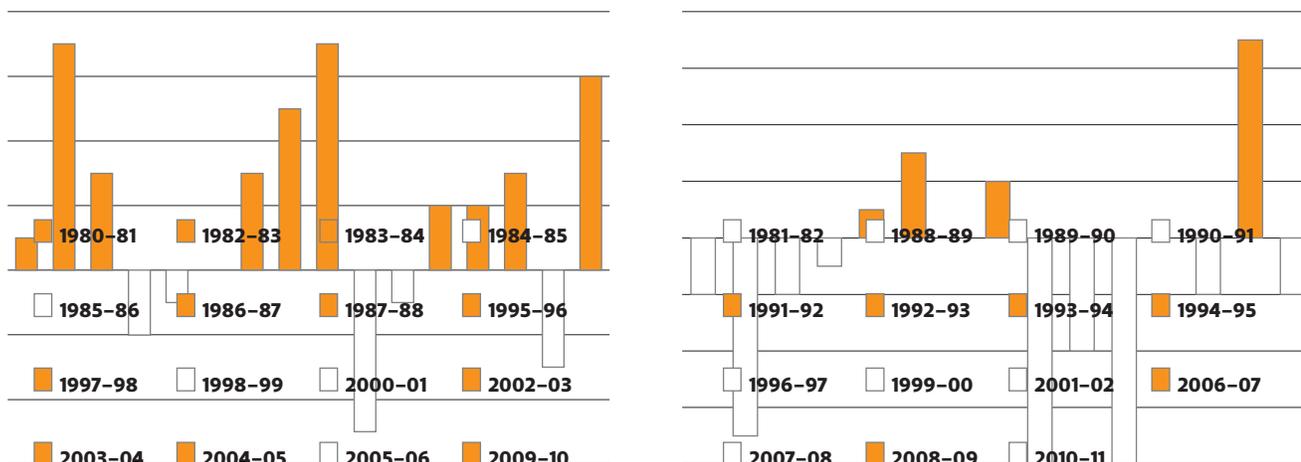


Fig. 6 Anomalías de frentes fríos por temporada invernal durante las fases negativa (a) y positiva (b) de la AO desde 1980-1981 hasta 2010-2011.

TABLA 2

Coefficiente de correlación de Pearson entre la cantidad de frentes fríos por temporada invernal y el AOi

Según tipo			Según intensidad		
Clásicos	Revesinos	Secundarios	Débiles	Moderados	Fuertes
-0.51*	0.20	-0.05	0.03	-0.52*	-0.01

Nota: (*) significativas a 5 %.

Influencia de El Niño-Oscilación del Sur

La figura 7 muestra la influencia combinada del evento ENOS y la AO en el comportamiento de los frentes fríos en la región occidental de Cuba.

La tabla 3 muestra los resultados encontrados al examinar la figura anterior, en la cual se utilizaron los términos siguientes: *siempre* (cuando ocurrió 100 % de las veces) y *casi siempre* (cuando ocurrió entre 80 % y 99 % de las veces).

Discusión

Durante la fase negativa de la AO aumenta la cantidad de frentes fríos que llegan a la región occidental de Cuba, en especial, aquellos de tipo clásico e intensidad moderada. Estos resultados confirman lo planteado por Zárata (2013), puesto que durante esta fase se intensifica la frontogénesis en el continente norteameri-

cano dada la penetración más al sur de la corriente en chorro subtropical y la débil influencia o retirada del Golfo de México de la cuña del anticiclón del Atlántico Norte, que contribuyen a la afectación de los frentes fríos al occidente de Cuba. Mientras que durante la fase positiva ocurre lo contrario debido a que se mantiene la frontogénesis en el continente norteamericano, pero no así la penetración meridional de la vaguada polar hasta latitudes más bajas, lo cual dificulta el arribo de los frentes fríos a la región occidental cubana que, de conjunto con la presencia de la cuña del anticiclón del Atlántico Norte en la región noroccidental del Mar Caribe o el golfo de México, provoca una disminución en el desplazamiento de los frentes fríos sobre el área y, por consiguiente, de su arribo a Cuba.

Sin embargo, lo anterior no es una regla que se cumple en la totalidad de las temporadas invernales analizadas; una posible explicación de ese comportamiento apunta a la influencia del evento ENOS sobre la variabilidad del clima cubano, pues se conoce que la mayor variabilidad en la zona tropical deviene de las anomalías térmicas en el Pacífico ecuatorial central y oriental (Alfonso, 1995; Cárdenas y Naranjo, 1996; Naranjo y Centella, 1998).

Al coincidir la fase negativa de la AO con El Niño, se registran importantes anomalías positivas de frentes

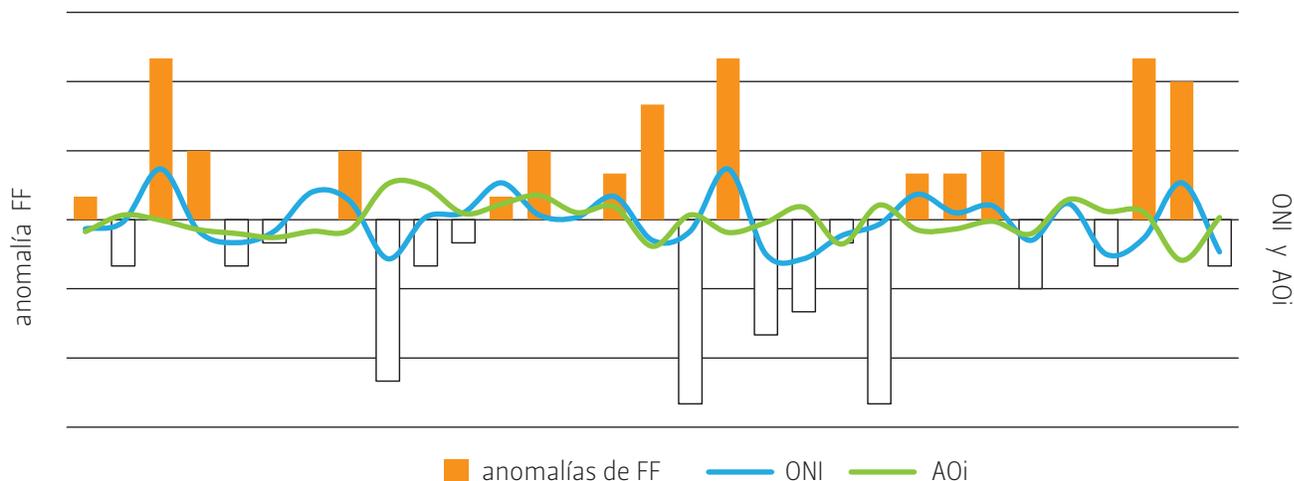


Fig. 7 Anomalías de frentes fríos por temporada invernal e índices ONI y AO.

TABLA 3

Influencia del ENOS y la AO en el comportamiento de las anomalías de frentes fríos durante la temporada invernal en la región occidental de Cuba

Combinaciones	Comportamiento de las anomalías
AO- sin ENOS	Siempre anomalías positivas (entre 1 y 2)
AO- y ENOS (fase cálida)	Siempre anomalías positivas (entre 0 y 7)
AO- y ENOS (fase fría)	Casi siempre anomalías negativas (entre -1 y -5)
AO+ sin ENOS	Casi siempre anomalías negativas (entre 0 y -8)
AO+ y ENOS (fase cálida)	Siempre anomalías positivas (entre 0 y 2)
AO+ y ENOS (fase fría)	Casi siempre anomalías negativas (entre -2 y -7)

fríos en el occidente de Cuba, mientras que cuando coincide con La Niña, las anomalías pasan a ser negativas. Si la fase positiva de la AO coincide con El Niño, se registran discretas anomalías positivas, pero cuando coincide con La Niña, se registran anomalías negativas.

Conclusiones

1. Durante la fase positiva (negativa) de la AO disminuye (aumenta) el número de frentes fríos que arriban a la región occidental de Cuba, en particular, los de tipo clásico e intensidad moderada.
2. Las mejores correlaciones entre la fase de la AO y el comportamiento de los frentes fríos se obtuvieron en enero, febrero y abril.

3. Al analizar la influencia del evento ENOS se encontró 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.

Referencias bibliográficas

- ACOSTA, H. (2014). La Oscilación del Atlántico Norte y el comportamiento de la temporada invernal en la región occidental de Cuba. Tesis de diploma, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, Facultad de Medio Ambiente, Cuba.
- ALFONSO, A. (1995). Tormentas locales severas: Tendencias recientes, Biblioteca INSMET, 12 pp.
- BALDWIN, M. Y DUNKERTON, T. (1999). "Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere", Journal of Geographical Sciences, 104, 30937-30946.
- CÁRDENAS, P. Y NARANJO, L. (1996). Eventos El Niño-Oscilación del Sur: Impactos sobre los elementos climáticos y del tiempo. Reporte de investigación, Biblioteca INSMET, 37 pp.
- CÁRDENAS, P. Y NARANJO, L. (1998). Papel de índices teleconectivos y el ENOS en la predictibilidad de la lluvia en Cuba. Reporte de investigación, Bi-

- biblioteca INSMET.
- CPC. (2014). Climate Prediction Center, Washington, los Estados Unidos de América. Disponible en el sitio web: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ao.shtml>
- ENFIELD, D. (1989). "El Niño, past and present", *Reviews of Geophysics*, 27(1), 159–187.
- FONSECA, C. (2008). *La Oscilación del Atlántico Norte, los índices de circulación atmosférica y la lluvia en Cuba*. Tesis de doctorado, Instituto de Meteorología, Cuba.
- GLANTZ, M., KATZ R. Y NICHOLS, N. (1991). *Teleconnections linking worldwide climatic anomalies*, Cambridge University Press, New York, 1–12.
- GONZÁLEZ, C. (1999). "Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916–1917 hasta 1996–1997", *Revista Cubana de Meteorología*, 6 (1).
- GONZÁLEZ, C. (2008). *Cronología actualizada de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada invernal 1916–1917 hasta 2007–2008*. Disponible en el sitio web: www.met.inf.cu.
- GONZÁLEZ, C. Y ESTÉVEZ G. (2012). "Actualización de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1997 hasta 2011", *Revista Cubana de Meteorología*, 18 (1).
- HERNÁNDEZ, B. (2002). "El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) y los frentes fríos que arriban a la región occidental cubana", *Revista de Investigaciones Marinas*, 30 (2).
- HURRELL, J. (1995). "Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation Regional Temperatures and Precipitation", *Science* 269, 676–679.
- JÚSTIZ, A. (2010). *Circulación troposférica asociada a los frentes fríos fuertes que han afectado a Cuba en el período 1950–2008*. Trabajo de diploma, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, Facultad de Medio Ambiente, Cuba.
- LORENZ, E. (1951). "Seasonal and irregular variations of the Northern Hemisphere sea-level pressure profile", *Journal Meteorological*, 8, 52–59.
- NAMIAS, J. (1950). "The index cycle and its role in the general circulation", *Journal Meteorological*, 7, 130–139.
- NARANJO, L. y CENTELLA, A. (1998). *Recent trenes in the climate of Cuba*, *Royal Meteorological Society Weather*, 53.
- PÉREZ, R. (2011). *Conferencias de Meteorología Tropical (inédito)*. 133 pp.
- PHILANDER, S. (1983). "El Niño/Southern Oscillation Phenomena", *Nature*, 302, 295–301.
- PHILANDER, S. G. 1989. "El Niño, La Niña and the Southern Oscillation", *International Geophysics Series*, Academic Press, Inc., vol.46, 293 pp.
- PHILANDER, S. y RASMUSSEN E. (1985). *The Southern Oscillation and El Niño*. *Advances in Geophysics*, 28A, 197–215.
- RODRÍGUEZ, M., GONZÁLEZ, C. y QUIÑÓNEZ, J. (1984). *Cronología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada 1916–1917 hasta la temporada de 1982–1983 (67 temporadas)*. Reporte de investigación no. 9, Academia de Ciencias de Cuba. 16 p.
- ROPELEWSKI, CH. y HALPERT M. (1987). "Global and regional scale precipitation patterns associated with the 'El Niño' Southern/Oscillation", *Monthly Weather Review*, 115, 1606–1626.
- ROSSBY, C., et al. (1939). "Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action", *Journal of Marine Research*, 2, 38–55.
- RUBIERA, J. (1984). *Enero–Marzo de 1983: Un análisis del período invernal más severo registrado en Cuba*. *Memorias del I Seminario Taller de Desastres Naturales*, UNDRO, La Habana.
- RUBIERA, J., Y CAYMARES, A. (1998). "Eventos del tiempo severo inducidos por el ENSO en la temporada invernal cubana", *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 27 (3), 845–855.
- THOMPSON, D. (2000). "Annular Modes in the Ex-

- tratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability", *Journal Climate*, 13, 1000-1016.
- THOMPSON, D. y HEGERL, G. (2000). "Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part II: Trends", *Journal Climate*, 13, 1018-1036.
- THOMPSON, D. y WALLACE, J. (1998). "The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields", *Geophysical Research Letters*, 25, 1297-1300.
- VAN LOON, H y ROGERS, J. (1978). "The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: general description", *Monthly Weather Review*, 106, 296-310.
- WALKER, G. y BLISS, E. (1932). *World Weather V. Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4, 53-83.
- WALLACE, J. (2000). "North Atlantic Oscillation / Annular Mode: Two paradigms- One Phenomenon", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126, 791-805.
- ZÁRATE, E. (2013). "Climatología de masas invernales de aire frío que alcanzan Centroamérica y el Caribe y su relación con algunos índices árticos", *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 12 (1).
- Sitios web consultados
<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>