

Caracterización de las bajas extratropicales en el occidente de Cuba

Characteristics of the behaviour extratropical cyclones in the western Cuba

Cecilia González-Pedroso[✉], Elier Pila-Fariñas

Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología, CITMA, Cuba

Resumen

La variabilidad de los sistemas meteorológicos como las bajas extratropicales (BE), que afectan al archipiélago cubano en la temporada invernal (TI) son abordados en este trabajo, así como dos de los eventos teleconectivos, El Niño (EN, por sus siglas en inglés) y la Oscilación Ártica (AO, por sus siglas en inglés). Se denota la influencia de éstos en el comportamiento anómalo mensual y estacional de esos sistemas meteorológicos en el occidente de Cuba. En presencia del EN se manifiesta una anomalía positiva en la frecuencia de las BE. Una marcada manifestación en las componentes de los flujos circulatorios meridional y zonal en la troposfera condicionan aquellos procesos con un mayor o menor desplazamiento hacia las bajas latitudes, incidiendo en la frecuencia y desplazamientos de estos sistemas analizados. Valores positivos del índice de la OA, se caracterizan por una expansión del Anticiclón Subtropical del Atlántico que no contribuye a la frecuencia de las BE; mientras que en la fase negativa de la OA, la vaguada polar sobre el centro y oriente de los Estados Unidos, se profundiza y penetra más hacia el sur (hasta bajas latitudes), extendiéndose hasta las inmediaciones de los mares al norte del occidente cubano. Y en consecuencia se manifiesta una anomalía positiva en las fases evolutivas y frecuencia de las bajas extratropicales, que afectan a las provincias occidentales de Cuba, en el periodo diciembre-marzo; corroborándose éste como el más representativo del período invernal en que afectan estos sistemas meteorológicos. Denotándose así la influencia de las oscilaciones estudiadas en la variabilidad que presentan las bajas extratropicales.

[✉] Autor para correspondencia: Cecilia González-Pedroso. E-mail: cecilia.gonzalez@insmet.cu

Recibido: 26 de enero de 2017

Aceptado: 30 de marzo de 2017

Palabras clave: evento teleconectivo, bajas extratropicales, oscilación ártica

Abstract

The variability of the meteorological systems as the extratropical cyclones (EC) that affect to the western Cuban archipelago in the winter season (WS) they are approached in this paper, as well as two of the teleconnections events, El Niño (EN, for their initials in English) and the Arctic Oscillation (AO, for their initials in English). The influence is denoted of these in the monthly and seasonal anomalous behavior of those meteorological systems in the western of Cuba. In presence of the EN a positive anomaly in the frequency of the EC is manifested. A marked significance in the components of the southern and zonal circulatory flows patterns in the troposphere conditions those processes with a little or more displacement toward the lower latitudes, impacting in the frequency and displacements of these analyzed systems. Positive value of the index of the AO, they are characterized by an expansion of the Subtropical Anticyclone of the Atlantic that it doesn't contribute to the frequency of the EC; while in the negative phase of the AO, the polar trough in the center and eastern of the United States, is deepened and it penetrates more toward southern (until low latitudes), extending until the vicinity of the seas northern of the western Cuban. And in it consequence a positive anomaly is manifested in the evolutionary phases and frequency of the extratropical cyclones that affect to the western counties of Cuba, in the period December-March; being corroborated this as the most representative in the winter period, in which they affect these meteorological systems. The influence of the oscillations was also denoted in the variability that present the extratropical cyclones studied.

Key words: teleconnection events, extratropicals cyclones, Arctic Oscillation

Introducción

El desarrollo actual de las diferentes actividades socio económicas necesita cada vez más de conocer con antelación y con cierto grado de detalle, el futuro comportamiento del tiempo; ya no sólo en la escala temporal que cubre los plazos desde muy corto hasta mediano, sino también son requeridas para un rango mayor, en la escala temporal. Como lo son, los pronósticos mensuales, estacionales y las perspectivas del comportamiento de los sistemas meteorológicos, así como las variables

asociadas, que pueden alterar el ritmo de esas actividades e incidir de manera catastrófica sobre un territorio determinado. Por lo que se hace necesario conocer, el pronóstico de ellos para el rango extendido, y en particular, el periodo mensual. Y es en ese contexto que se aborda este estudio.

La base de toda clasificación asociada a la circulación general y en particular en el contexto extratropical/trópico, es el desarrollo de una Climatología Sinóptica (CS), porque ella refleja la relación entre las condiciones de la circulación atmosférica de la gran escala y el ambiente en superficie a

escala regional o local ([Barry & Perry, 1973](#)), y en consecuencia [González & Estévez \(2003\)](#), abordó el estudio cronológico de la troposfera baja para el período 1950 – 2002 (para los meses de abril y mayo), considerando el nivel de 850 hPa, como representativo de esa parte de la columna atmosférica. También [Pila & González \(2011\)](#), y [Jústiz & González \(2013\)](#), abordaron las Climatologías de las Bajas Extratropicales (BE) y los Frentes Fríos Fuertes que afectan a Cuba, respectivamente. Mientras que [Cedeño \(2015\)](#), abordó la asociación de la Oscilación Ártica (AO, por sus siglas en inglés) con los frentes fríos. En esos trabajos se consideró la asociación de la circulación atmosférica a la estructura del ambiente superficial, aplicando una clasificación de los mapas a escala sinóptica, que contempla los enlaces con el ambiente a escala regional o local, ya que el mismo puede ser aplicado para evaluar la intensidad de la relación circulación – ambiente, con fines de pronósticos. En este trabajo, se actualiza el estudio cronológico de las Bajas Extratropicales (BE) hasta la temporada invernal (TI) 2014-2015, se caracterizan las TI y los sistemas mencionados, a través de la Estadística Descriptiva.

La clasificación de los mapas patrones, a través del flujo medio, de forma general presenta características que son consecuentes desde el punto de vista físico. Ese sentido está presente por los ciclos estacionales y la variación en la frecuencia anual, lo que sugiere que las fluctuaciones en alguna medida inciden en la manifestación de un determinado patrón, el que debe producir variaciones en las situaciones meteorológicas, representadas en las diferentes superficies isobáricas. Así como

también se asume que la imposición de las fuertes variaciones zonales en el flujo atmosférico a escala sinóptica, modifica el comportamiento de los diferentes sistemas meteorológicos, en el periodo poco lluvioso en Cuba, principalmente en su región occidental, área geográfica del archipiélago cubano más expuesta a la interacción extratropical/trópico en ese periodo estacional.

Los ciclones extratropicales también desempeñan un papel importante en las condiciones del clima cubano durante el período poco lluvioso del año. La circulación invernal en el archipiélago cubano no solo presenta la influencia de los sistemas meteorológicos provenientes de las latitudes medias (LM) que penetran en los trópicos, sino que también el comportamiento anómalo de esas situaciones pudiera ser una respuesta al forzamiento provocado por la influencia de los patrones circulatorios que provienen del acoplamiento de la baja estratosfera con la columna troposférica, como por ejemplo, el sistema de vientos en la estratosfera ecuatorial, (QBO, por sus siglas en inglés), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación Ártica (AO, por sus siglas en inglés), o la interacción entre ellas. Y/o con otros modos de variabilidad climática (también denominados oscilaciones), como el evento EL Niño/Oscilación Sur (ENOS, por sus siglas en inglés). Las tres primeras oscilaciones presentan dos fases cada una de ellas, la primera alternando vientos del Este u Oeste con una periodicidad casi bienal y las otras dos también se manifiestan por dos fases, una negativa (fría) y otra positiva (cálida), pero sin una regularidad determinada en la escala temporal. Algunos

autores como [Baldwin et al. \(1994\)](#), [Cheng & Dunkerton \(1995\)](#), y [Kitoh et al. \(1996\)](#), corroboran lo expresado, evidenciando en sus investigaciones que el vórtice polar está implicado en algunas de la variabilidad interanual del clima en la superficie de la tierra.

La temporada invernal será el marco de este trabajo en el que se actualizarán los estudios cronológicos de las Bajas Extra tropicales, en el occidente de Cuba. Con el objetivo de su caracterización y determinar la posible influencia de los modos de variabilidad evento "EL Niño" y la Oscilación Ártica, en el comportamiento de esos sistemas meteorológicos, en particular, en la región occidental de Cuba.

Materiales y Métodos

El ciclón o baja extratropical deriva su energía del contraste térmico entre la masa de aire polar y la tropical. Esta temática fue abordada por [Pila & González \(2011\)](#). En ese trabajo se definió un área de estudio comprendida desde 15°N a 40°N y desde 100°W a 60°W, en la cual se analizó la muestra de los posibles casos a estudiar, basado en el criterio de que cualquier BE cuyo centro estuviera fuera de esta área, no tendría influencia alguna sobre Cuba por sí misma, aunque tal vez sí hubiese afectado por el sistema frontal asociado. En esta actualización de la Cronología de las BE se aplicó similar metodología a la diseñada por [Pila & González \(2011\)](#), con relación a incluir en la misma sólo aquellos sistemas que afectaran a Cuba y considerar el mismo dominio.

Se consideraron los datos meteorológicos de la base de datos del NCEP (National Center for Environment Prediction)/NCAR (National Center for Re-Analysis) ([Kalnay](#)

[et al., 1996](#)), tomados de su sitio WEB <http://www.cdc.noaa.gov>,

Criterios selectivos para la actualización de la Cronología de las BE

- *Valores de presión inferiores a los 1013 hPa* sobre cualquier área del territorio cubano, aunque la isobara no esté cerrada pero presente una curvatura ciclónica y pertenezca al sistema.
- *Isobara cerrada*, en este criterio se considera la presencia de al menos una isobara cerrada sobre Cuba (que pertenezca a la circulación del sistema), aunque su valor no sea inferior a 1013 hPa.
- *Influencia directa de la circulación del sistema*, es decir que alguna parte del territorio cubano esté dentro de la circulación del sistema, aunque ésta no la delimite una isobara cerrada o el valor de la presión no sea inferior a 1013 hPa.

También en esta actualización se consideraron las tres zonas evolutivas de las BE ([Figura 1](#)), definidas por [Pila & González \(2011\)](#), considerando el análisis de frecuencia realizado a la muestra obtenida y atendiendo tanto a su localización como a las posibles características y peculiaridades de esas regiones, que pudieran influir en las bajas que se formaron o desarrollaron en ellas. Las tres regiones evolutivas son:

- *Continental*: Aquellas cuyo origen y evolución esté sobre cualquier parte del continente, además se incluyen las que entran al área desde el oeste de los Estados Unidos y otras que se formen en el límite costero occidental, pero que por su desarrollo inmediato se ubiquen y desarrollen sobre la masa continental.

- **Cuenca del Golfo de México:** Todas las que se desarrollen en dicha área, incluyendo aquellas que se formen sobre la línea costera y su posterior desarrollo ocurra sobre las aguas del Golfo. Dentro de estas se incluye la subcategoría de Golfianas para el caso de las que se forman en la Bahía de Campeche e incluso algo más al norte (hasta 26°N), normalmente en la parte occidental del Golfo de México, que tienen como peculiaridad una rápida intensificación y rápido desplazamiento, con trayectorias al primer cuadrante (nordeste al este), lo que las hace típicas de afectación por “Sures” e igualmente de influencia directa sobre el territorio cubano, en el campo de la presión atmosférica.
- **Océano Atlántico:** Se considera a los sistemas extratropicales con génesis o desarrollo en el área del Saco de Charleston, zona adyacente a la costa oriental de los Estados Unidos y las Bahamas, porción suroeste del Atlántico occidental.



Figura 1. Zonas o áreas evolutivas de las BE

En el procesamiento estadístico se aplicó la estadística descriptiva, en busca de elementos que caracterizaran a la muestra

(1950-2015) y que permitieran estratificar la misma a un número menor de casos representativos y delimitar el periodo a los meses de Dic-Ene-Feb-Mar, Este análisis estadístico descriptivo, se basa en el uso de los estadígrafos media, mediana, varianza y desviación estándar. En el caso del análisis a la totalidad de la muestra se obtuvo el valor de frecuencia por temporada, los estadígrafos antes mencionados y los valores correspondientes al cuartil uno y el cuartil tres; igualmente en el caso de la distribución por meses donde se analiza el comportamiento de todo el año y el del período poco lluvioso. En el caso de la división según las zonas evolutivas, además de la cantidad de casos en todo el periodo de estudio, se determinó de forma similar a la muestra completa, el comportamiento por temporada y mensual de cada uno de las áreas establecidas. Para la estadística descriptiva se utiliza fundamentalmente el Microsoft Excel en sus versiones 2003 y 2007, auxiliado además por el STATISTICA 6.0.

Dentro del análisis estadístico descriptivo, se espera determinar la posible relación o la influencia del evento de teleconexión El Niño (EN) y la Oscilación Ártica (OA). En este estudio se considerarán los eventos de intensidad moderados y fuertes, representados por los valores, -1 y -2 respectivamente y los valores mensuales $-1 \leq OA \leq +1$ de las fases positivas y negativas de la OA, tomado del sitio <http://www.cpc.noaa.gov>.

Las diferencias significativas entre las regiones evolutivas de las BE se valoraran por medio del parámetro estadístico Z. La hipótesis de que ambas poblaciones tienen medias iguales se rechazara si $|Z| > 1,96$,

para el nivel de significación prefijado del 5 %, lo que implica que las muestras pertenecerían a dos poblaciones diferentes. El parámetro estadístico Z, se calculará por las expresión:

$$Z = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B)}{\sqrt{\frac{S_A^2}{N_A} + \frac{S_B^2}{N_B}}} \quad Z = \frac{(\bar{X}_B - \bar{X}_C)}{\sqrt{\frac{S_B^2}{N_B} + \frac{S_C^2}{N_C}}} \quad (1)$$

Donde: \bar{X}_A , \bar{X}_B y \bar{X}_C son las medias de las regiones A, B, y C, con las desviaciones típicas S_A , S_B , S_C , respectivamente; N_A , N_B y N_C son la cantidad de casos de cada tipo.

Aplicando la metodología descrita se obtuvo la actualización de la Cronología de las BE que habían afectado al occidente cubano en el período comprendido por las temporadas invernales desde 1950 -1951 hasta 2014 – 2015. Esta cronología base constaba de 964 casos, los que fueron revisados y verificados, mediante el análisis de los mapas de la presión a nivel del mar, para descartar aquellos casos que no tuvieran influencia sobre el territorio cubano, aplicando los criterios de influencia ya definidos en este trabajo. Igualmente se asentó para cada caso la fecha y hora de formación o entrada al área y la de disipación

o salida del área, así como las características ya establecidas para su futura clasificación y agrupamiento.

A partir de aquí se comenzó el procesamiento estadístico descriptivo de los 727 casos finales, para caracterizar y definir el comportamiento climatológico de estos sistemas de manera general y según las agrupaciones hechas en concordancia a su clasificación.

Análisis del comportamiento estacional

Con el fin de determinar el comportamiento estacional de estos sistemas se tomaron los valores de la frecuencia de casos por cada temporada y el valor medio ([Figura 2](#)), a los cuales se les determinaron los siguientes estadígrafos: la media, la varianza y la desviación estándar para conocer el comportamiento estacional de las BE y los estadígrafos de posición de la mediana y los cuartiles uno y tres, para determinar la distribución de esos valores respecto a la muestra seleccionada. También se determinó la moda para conocer los valores de frecuencia mayoritaria, el coeficiente de asimetría y la curtosis para establecer la distribución de las frecuencias respecto a la media y caracterizar el perfil de la distribución ([Tabla 1](#)).

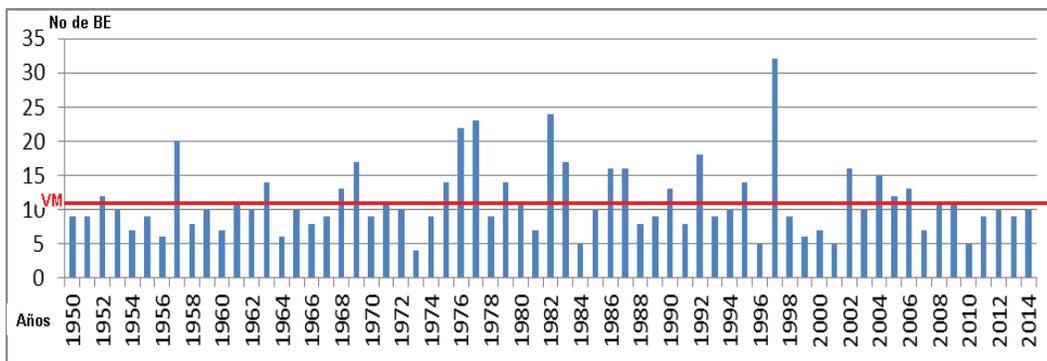


Figura 2. Bajas extra tropicales por año que afectaron a Cuba (1950-2015)

Tabla 1. Estadística descriptiva de toda la muestra de casos

Casos	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	1 ^{er} Cuartil	3 ^{er} Cuartil	Moda	Máximo
727	11.43	10	28.6	5.12	8	13	10	3.82

Mediante la interpretación de los resultados expuestos en esa tabla se puede señalar que en las 65 temporadas invernales analizadas se tiene un promedio de 11 casos de BE que influyen sobre el archipiélago cubano en esa estación poco lluviosa. Con una variación o desviación estándar de 5 casos. Respecto a la distribución de la población de casos, el 75 % de las temporadas han tenido al menos 8 casos, la mitad al menos 10 casos y sólo el 28 % ha superado los 13 casos por temporada, con un máximo de 32 casos en la temporada 1997-1998 y un mínimo de 4 casos en la temporada 1973-1974, siendo el valor más frecuente el de 10 casos, presente en 10 TI. El perfil de la distribución indicado por los valores de la curtosis muestra una curva leptocurtica, con un desplazamiento de la simetría hacia la derecha. Al analizar la

distribución por meses (Figura 3) se prueba la hipótesis planteada de que la mayor frecuencia de casos de BE se presentaba en el periodo poco lluvioso del año, correspondiente a los meses desde noviembre hasta abril, coincidentes éstos con la temporada invernal, lo que permite delimitar el estudio sólo a este período y a los meses que lo conforman para continuar con la caracterización de las BE según su comportamiento respecto a las zonas evolutivas, y la zonas de influencia occidental de Cuba, así como para determinar el comportamiento ínter estacional.

De forma similar a la aplicada a la frecuencia por temporada se determinó la estadística descriptiva de los meses del periodo poco lluvioso. El análisis realizado corrobora que la mayoría de los casos de las

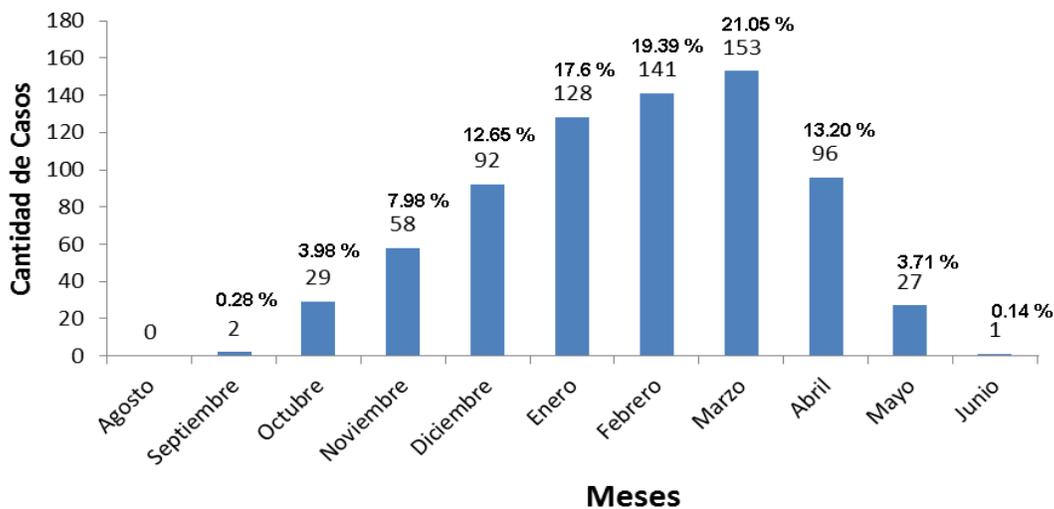


Figura 3. Frecuencia de Bajas Extra tropicales por meses

BE se presentan o afectan a Cuba en el periodo poco lluvioso del año con el 98 % de los casos, con una media que supera los 100 casos, donde en gran parte de este periodo se supera la cantidad de casos y sólo una pequeña parte (25 %) supera los 141 casos por mes. De igual manera es posible afirmar que dentro del periodo poco lluvioso se define como el trimestre más activo el comprendido por los meses de enero, febrero y marzo con el 58 % de los casos para un total de 422 (Figura 3), y es por lo tanto en este trimestre donde se centrará el estudio más profundo del comportamiento y las condiciones de las Bajas Extratropicales.

Análisis del Comportamiento Estacional según las zonas evolutivas

Con respecto a las zonas o áreas evolutivas de las BE, fueron determinados de la cantidad de casos los que pertenecían a cada una de ellas, según las áreas ya definidas (Atlántico, Continente y Golfo de México), esta última subdividida para el caso de las clasificadas como “Golfianas” que aunque proceden de la misma zona evolutiva presentan ciertas peculiaridades. La zona con mayor cantidad de casos resultó ser la zona continental con 412 casos (Figura 4), que es el 56.7 % de toda la data cronológica, seguida por la zona comprendida por el Golfo de México con 278 casos (38.2 %), de ellas 119 clasificadas como Golfianas (16.4 % del total y 42.8 % de los casos del área evolutiva del Golfo de México). En la zona del Atlántico sólo se encontraron 37 casos, equivalentes al 5.1 % del total de BE que ha afectado a Cuba, por lo que esta área no será incluida en el estudio más profundo que dentro del trimestre enero-marzo se abordará, concentrándonos sólo en las otras

dos áreas evolutivas que suman un total de 690 casos.

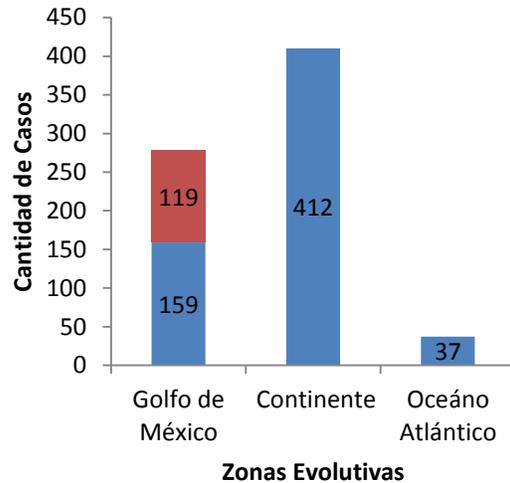


Figura 4. Cantidad de casos por zonas evolutivas (Golfianas en rojo)

Al analizar el comportamiento estacional de la cantidad de casos en cada una de las zonas se denota que en la mayoría de las 65 temporadas analizadas, la mayor cantidad de casos se formó y desarrolló en el área continental, excepto en 23 temporadas en que la zona del Golfo de México fue la que más casos aportó, destacándose las temporadas 1962-63, 1963-64, 1965-66, 1966-67, 2000-2001, 2002-2003 y 2003-2004, y en las que fueron muy superiores éstos últimos a la cantidad de la zona del continente. De igual forma al analizar el aporte de cada zona a cada una de las temporadas (Figura 5), excluyendo la zona del Atlántico por su número pequeño de casos. También es posible afirmar que la zona evolutiva continental en 21 ocasiones ha significado al menos las dos terceras partes de los casos de una temporada, contra sólo 5 veces el área del Golfo de México, la

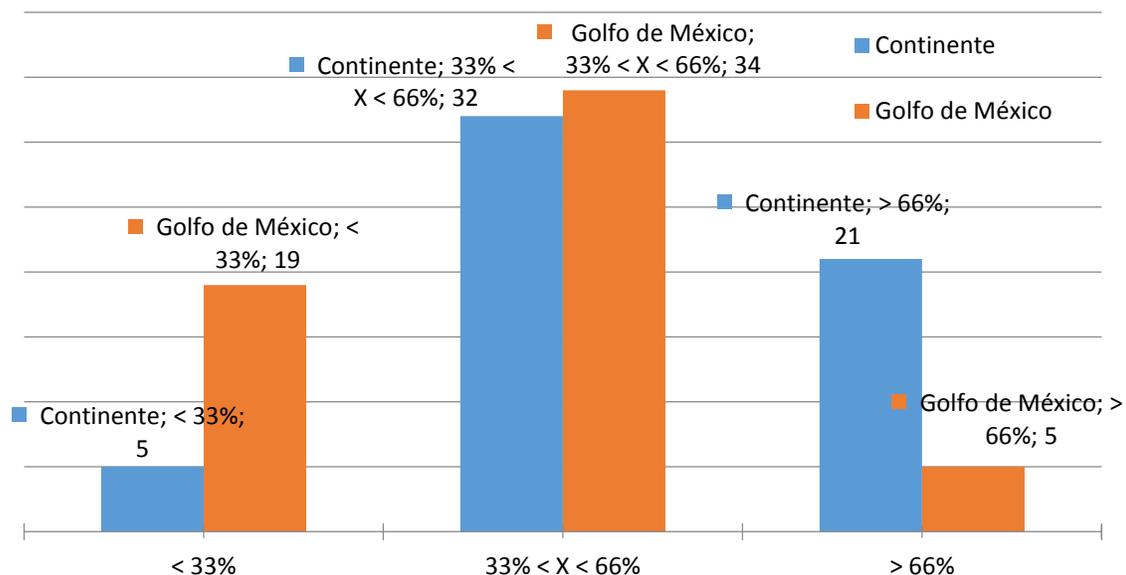


Figura 5. Aporte de zonas evolutivas a la cantidad de casos en una temporada

que se destaca por su aporte interestacional en 39 de ellas, es decir, más de un tercio de las bajas extratropicales con influencia sobre Cuba.

En general se observa un perfil muy similar al comportamiento estacional de la población completa de casos. Cuando se examina el comportamiento estacional de los casos de la zona evolutiva continental ([Tabla 2](#)) se observa que como promedio se dan más de 6 casos por temporada, lo que significa que considerando la media para el periodo y toda la población que es de 11,2 casos, más de la mitad de los casos en una temporada pertenecen a esta área, con una desviación estándar de 3,7 casos por TI.

Además se denota que en un 78.5 % de todas las temporadas se registraron al menos 4 casos, 6 casos o más y solo el 17 % de ellos sobrepasó los 8 casos, con el valor más común de 7 casos durante 9 temporadas invernales, que se hizo máximo en la temporada 1997-98 con 17 bajas extratropicales en esa zona de origen.

De igual manera se analizó el comportamiento de la zona evolutiva del Golfo de México ([Tabla 3](#)), en la que como se esperaba, presenta valores menores que los de la zona continental. Como promedio en cada temporada se forman no menos de 4 casos, y de ellos, al menos 1 se puede clasificar como “Golfiana”. En el 75 % del

Tabla 2. Estadística descriptiva de los casos de la zona evolutiva del Continente

Casos	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	1 ^{er} Cuartil	3 ^{er} Cuartil	Moda	Máximo
412	6.3	5	13,8	3,7	4	7	7	17

Tabla 3. Estadística descriptiva de los casos de la zona evolutiva del Golfo de México (arriba) y las bajas Golfianas (abajo)

Casos	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	1 ^{er} Cuartil	3 ^{er} Cuartil	Moda	Máximo
278	4,3	4	6.61	2,57	3	5	3	12
119	1,86	1,5	2,79	1,67	1	3	1	8

periodo se registraron al menos 3 casos con origen y evolución en el Golfo de México, más de 4 en la mitad y solo un 25 % de las temporadas tuvieron al menos 5 casos, con una moda de 3 casos en 15 temporadas. Sólo en la temporada invernal 1973-1974 no hubo ningún caso en esta zona, y es significativo que en la de 1997-1998 se dio el valor máximo de 12 sistemas ciclónicos invernales. Las BE denominadas “Golfianas”, como subgrupo exhiben un comportamiento similar al de la población del área como un todo, por supuesto con valores menores, destacándose que en la mayor parte del periodo (75 %) hubo al menos un caso de este tipo, a pesar de que se registraron 13 temporadas sin la presencia de ella, sin embargo, el valor más frecuente es el de un caso durante 16 temporadas, con el máximo en la temporada 1982-1983, cuando se registraron 8 de ellos.

La zona evolutiva del Océano Atlántico (Tabla 4), como se explicó anteriormente es la que presenta el menor número de casos por lo que los valores de sus estadígrafos son inferiores con respecto a las otras áreas. Con una media de menos de un caso por

temporada, esto evidencia la poca representatividad de esta área.

Comportamiento dentro del periodo poco lluvioso

En el periodo poco lluvioso del año se observa un comportamiento similar al de la población completa (Figura 6), con excepción de la zona del Océano Atlántico; predominando en todos los meses los casos de la zona continental, a pesar de que durante el mes de febrero la diferencia con la zona del Golfo de México es mínima. También es posible determinar que los máximos en cada una de las zonas no ocurren al unísono, ya que la zona del Océano Atlántico, es la única en la que los valores máximos no se presentan en meses consecutivos ni muestran una marcada tendencia. Sin embargo en el caso de las demás zonas estos ocurren en los meses de enero a marzo, coincidente con el trimestre más activo, aunque no están sincronizados. La tendencia dentro de éste trimestre para el caso de la zona continental se ve marcada hacia el ascenso con los meses, denotándose el máximo en marzo, mientras que las BE del

Tabla 4. Estadística descriptiva de los casos de la zona evolutiva del Océano Atlántico

Casos	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	1 ^{er} Cuartil	3 ^{er} Cuartil	Moda	Máximo
37	0,57	0	0,56	0,75	0	1	0	3

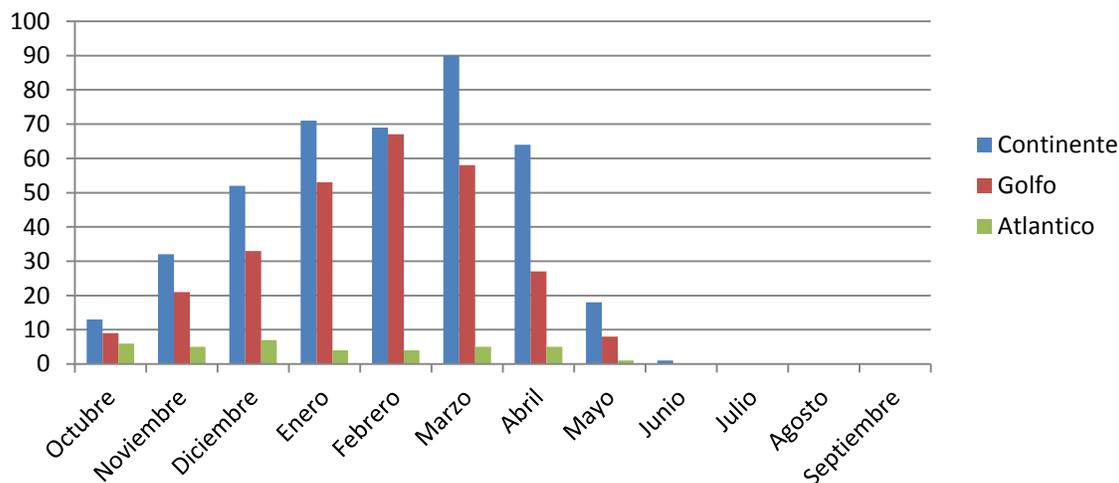


Figura 6. Comportamiento de las zonas evolutivas por meses (periodo poco lluvioso)

Golfo de México lo hacen en febrero, comportamiento que siguen las Golfianas con una diferencia más significativa entre los meses de enero y marzo.

Diferenciación estadística entre las zonas evolutivas

A partir de las configuraciones medias del día de formación o día cero de vida de las dos zonas evolutivas más importantes: (la zona Continental y la del Golfo de México); se tomaron los valores de las variables seleccionadas en cada uno de los puntos de la rejilla del área de estudio y se les aplicó por separado el cálculo de Z, valores que luego fueron representados aplicando el Software Surfer versión 8.02 sobre la misma base cartográfica. A partir de esto se obtuvieron 15 mapas de distribución espacial de Z: tres para cada variable correspondiente a cada uno de los meses del trimestre considerado.

En el caso del mapa con la distribución espacial de Z para la presión a nivel del mar

en el mes de enero (Figura 7) se denota desde la zona fronteriza entre el estado de Texas y México, gran parte de la zona continental hasta Alabama, Tennessee y Kentucky, valores significativos inferiores a -2, con la máxima significación sobre el estado de Oklahoma. Otros valores significativos superiores a 2 cubren desde el sur de México, la Península de Yucatán, la parte sur y este del Golfo de México, la Península de la Florida, las Bahamas hasta la Española, con la zona de máxima significación al este de la Península de Yucatán y el Mar Caribe occidental.

Para la altura de geopotencial al nivel de 850 hPa, en el mes de enero (Figura 8) se observan valores significativos al noreste de la zona continental, sobre Oklahoma, Kansas, Missouri y Arkansas. Otra zona representativa se denota sobre la Península de Yucatán con valores superiores a 2, que se extienden sobre gran parte del Golfo de México, la Península de la Florida llegando hasta la región oriental de Cuba y una amplia región del Mar Caribe. Sobre el Océano

Atlántico también se halla una zona connotativa.

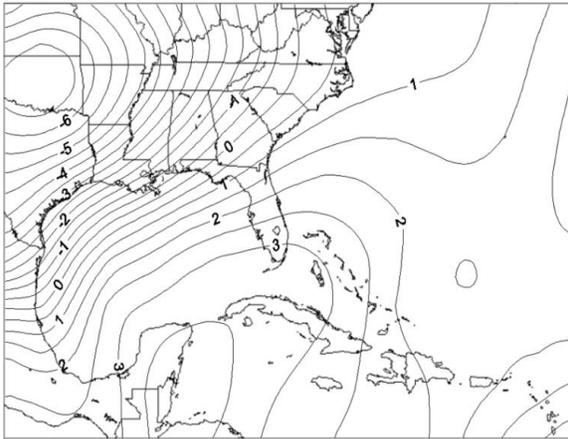


Figura 7. Distribución espacial del estadígrafo Z para la variable presión a nivel del mar en el mes de enero, para la etapa evolutiva

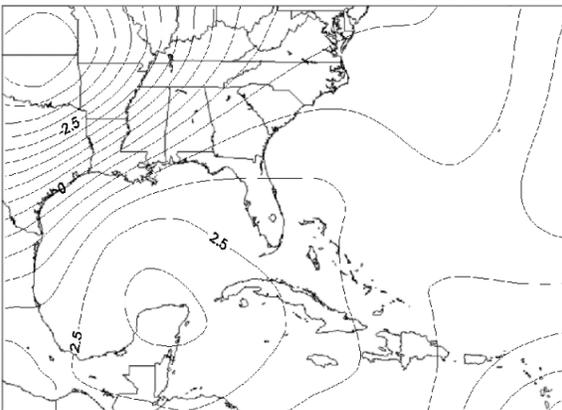


Figura 8. Distribución espacial del estadígrafo Z para la altura de geopotencial en nivel de 850 hPa

En el nivel de 700 hPa ([Figura 9](#)), la diferenciación entre las zonas evolutivas se denota la significación con valores bajos al noroeste del área, y los superiores a 2 que cubren el sur de Texas, estados del sur de los Estados Unidos de América, Golfo de

México, el occidente de Cuba y la Península de Yucatán.

En el caso de la humedad relativa en el nivel de 850 hPa ([Figura 10](#)), las zonas indicadoras se hallan más dispersas, denotándose una en el centro del área continental, otra en el Golfo de México con valores inferiores a -2, y la presencia de otro núcleo con valores similares al este de Cabo Hatteras.

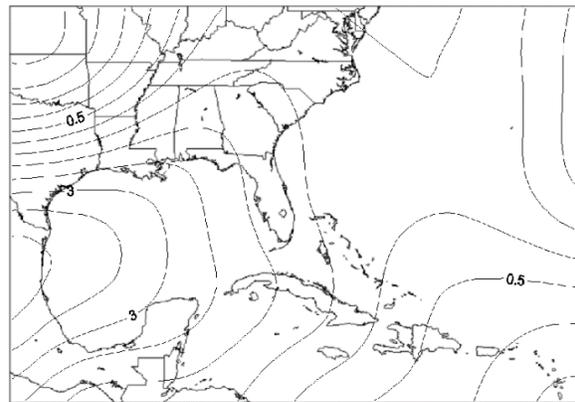


Figura 9. Distribución espacial del estadígrafo Z para la altura de geopotencial en nivel de 700 hPa

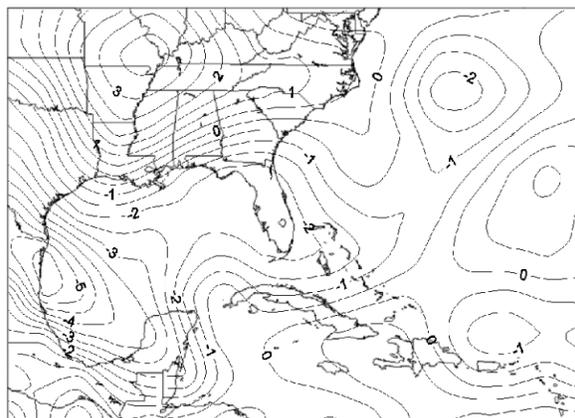


Figura 10. Distribución espacial del estadígrafo Z para la humedad relativa en nivel de 850

Para la temperatura en el nivel de 850 hPa ([Figura 11](#)) en el mes de enero se observa una máxima significación sobre el estado de Texas, con valores superiores a 2 que dominan la mitad occidental del Golfo de México y casi todo el continente; valores inferiores a -2 cubren desde la Península de Yucatán hasta el Mar Caribe occidental.

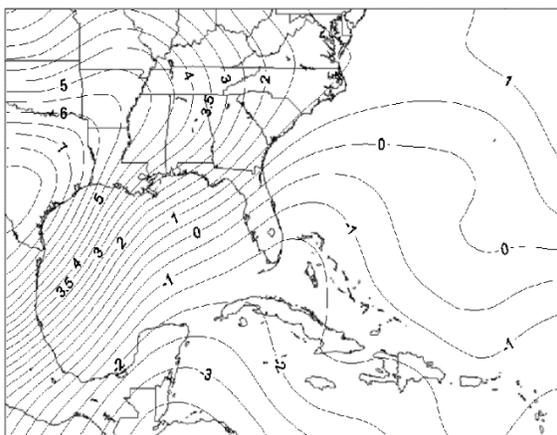


Figura 11. Distribución espacial del estadígrafo Z para la temperatura en nivel de 850 hPa en el mes de enero

El análisis realizado a la distribución del parámetro Z muestra la existente diferencia en el comportamiento de las dos zonas evolutivas principales: la zona Continental y la del Golfo de México, la que muestra no tener una distribución espacial uniforme pero ella sí responde a la posición media de los sistemas extratropicales, en las variables seleccionadas.

Relación del evento de teleconexión El Niño (EN) con las Bajas Extratropicales que afectan al occidente de Cuba, en la temporada invernal (TI).

Diversos autores foráneos han señalado que bajo los efectos del evento ENOS (EL Niño/Oscilación del Sur) se producen una serie de alteraciones en la Circulación

General de la Atmósfera (CGA) como es la presencia del Patrón Pacífico/Norteamérica, mientras que en los estudios nacionales realizados por [Lapinel & Naranjo \(1997\)](#), estos refieren una influencia del ENOS (El Niño/Oscilación del Sur) sobre el número de frentes fríos que afectan al territorio nacional y [González \(1999\)](#), que sugiere una influencia del mismo sobre la prevalencia de esos sistemas invernales, en particular, los frentes fríos de tipo clásico y de intensidad moderada. Considerando todas esas afirmaciones se presume que también pudiera existir una influencia determinada sobre el comportamiento estacional de las bajas extratropicales en presencia del evento EN, además de un desplazamiento más al sur de los sistemas de latitudes medias. Considerando lo expuesto aquí se analiza la relación de las BE durante todo el período considerado en este estudio y el comportamiento del citado evento en el mismo. Esa relación se abordará considerando el "índice del Niño" (ONI) así como para todas las características de las BE, ya definidas, como son: las zonas evolutivas, y el área de influencia occidental cubana. Se relacionan las series del índice ONI con la de las BE, para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, en el periodo comprendido por las 65 temporadas invernales, que abarca desde 1950-1951 hasta 2014-2015. En esas TI se registraron un total de 15 eventos EN, clasificados en las siguientes intensidades: de ellos 9 fueron con ONI moderados y 6 se clasificaron de fuertes, destacándose en ese período los eventos de los años 1982-83 y 1997-98, los que son considerados por algunos autores, como los más intensos del siglo XX. Y se sumó a ellos el evento 2015-2016, del siglo XXI.

Al analizar el comportamiento de la cantidad de BE por temporada invernal con la ocurrencia del EN, clasificados éstos, como moderado o fuerte (Figura 12) se puede observar que en los inviernos en que se dieron los valores más significativos, en su gran mayoría comenzaron durante un año en que hubo influencia del evento EN con carácter moderado o fuerte. Estas temporadas son (*todas ellas con 15 o más BE que influyeron sobre el occidente de Cuba*): 1957-58 (ONI moderado), 1976-77 (ONI moderado), 1982-83 (ONI fuerte), 1983-84 (ONI moderado), 1986-87 (ONI moderado), 1987-88 (ONI fuerte), 1992-93 (ONI fuerte), 1997-98 (ONI fuerte) y 2002-03 (ONI moderado); sin embargo durante la temporada 1969-70 no se registró un ONI con estas intensidades, pero se observaron valores significativos respecto a la cantidad de BE con influencia sobre Cuba. En las temporadas invernales 1982-83 y 1997-98, en las que, los años de inicio coincidieron con los eventos “Niño” más intensos del siglo XX, se registraron los valores máximos de las bajas extratropicales que influyeron en el occidente de Cuba.

La relación inversa no se manifiesta pues la presencia de un evento EN no significa necesariamente que en una temporada exista un aumento significativo en el número de casos como ocurrió en los inviernos de 1951 (ONI moderado), 1965 (ONI fuerte), 1993 y 1994 (ONI moderados). Después del análisis realizado se puede decir que existe una relación entre la cantidad de bajas extratropicales y la presencia de un evento EN con un ONI moderado o fuerte, lo que no sólo condiciona para que se observe un incremento significativo en el número de casos de BE con influencia sobre el occidente cubano. No obstante la estrecha relación de los sistemas extratropicales con los eventos EN, aquí expuesta, no es tan evidente la asociación de los eventos EN más extremos con los máximos en el número de BE. Ya que se han observado valores similares en la cantidad de bajas extratropicales, bajo los efectos de eventos EN, de distintas intensidades y en eventos con valores de ONI con similar intensidad no se ha presentado el mismo incremento en la cantidad de casos por temporada invernal. De lo que se infiere que en esta variabilidad

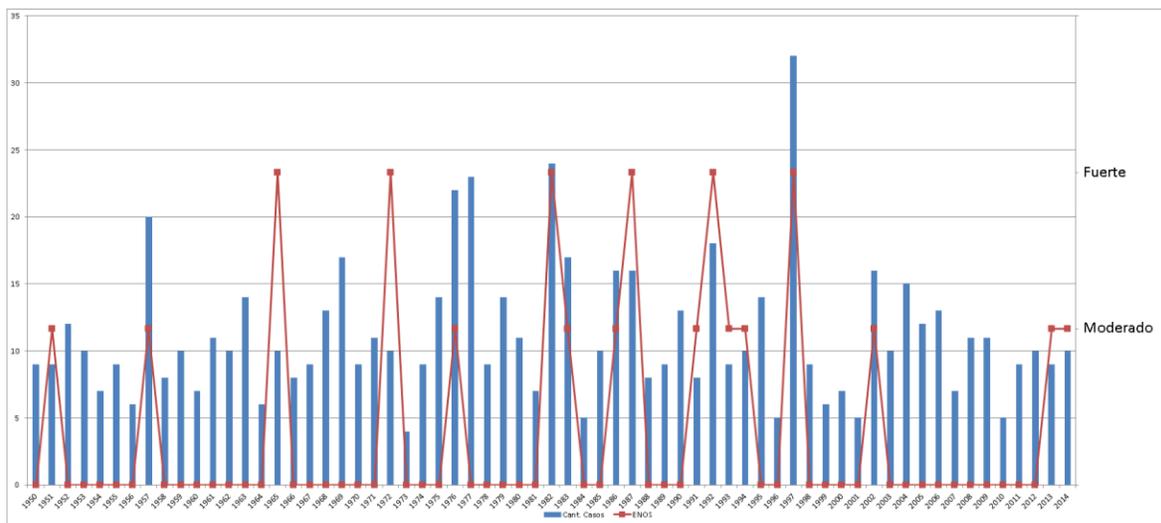


Figura 12. Bajas extratropicales y ONI moderados y fuertes

podieran incidir otras condiciones u oscilaciones de la circulación océano – atmósfera, no abordados aquí.

Influencia del EN sobre el comportamiento estacional según las zonas evolutivas

Si se analiza de forma similar a la utilizada anteriormente, esta vez para determinar una posible relación entre el comportamiento estacional de las BE según sus zonas evolutivas y la presencia del evento EN (Figura 13). Se puede ver que en este caso la relación es menos significativa. En este análisis se toma como valor significativo para la zona evolutiva del continente cuando las BE alcancen un número igual o superior a los 10 casos por temporada invernal, de forma similar, se establece para la zona del Golfo de México el valor de 6 casos. La zona evolutiva del Océano Atlántico no fue analizada dado su pequeña cantidad de casos para establecer este tipo de relación, por lo que no será valorado su comportamiento con la manifestación de un evento EN.

Para la zona evolutiva continental se tiene que en 9 ocasiones se superó el valor de 10 sistemas por temporada invernal. De ellas, 7 fueron bajo los efectos de eventos EN de distinta intensidad como son los casos de los inviernos de 1957 y 1976 (ONI moderados), y los de 1982, 1983, 1987, 1992, 1995 y 1997 con eventos EN, clasificados con ONI fuertes. Sólo en las temporadas 1975-76 y 1977-78 no se registró la presencia de EN pero si hubo valores significativos de casos con su origen en la zona evolutiva continental. De igual manera se registraron 8 ocasiones con la manifestación de eventos EN moderados o fuertes y no hubo en ellas una cantidad de casos significativos, incluso uno de los valores más bajos, registrado durante la temporada 1965-66 con un sólo caso se presentó bajo los efectos de un evento EN, catalogado como fuerte. Este análisis, arroja que la influencia del EN ocurre de forma similar a la manifestada en la población general, siendo su presencia una condición necesaria para el aumento de los casos de la zona evolutiva continental, pero no suficiente como para que en todas sus

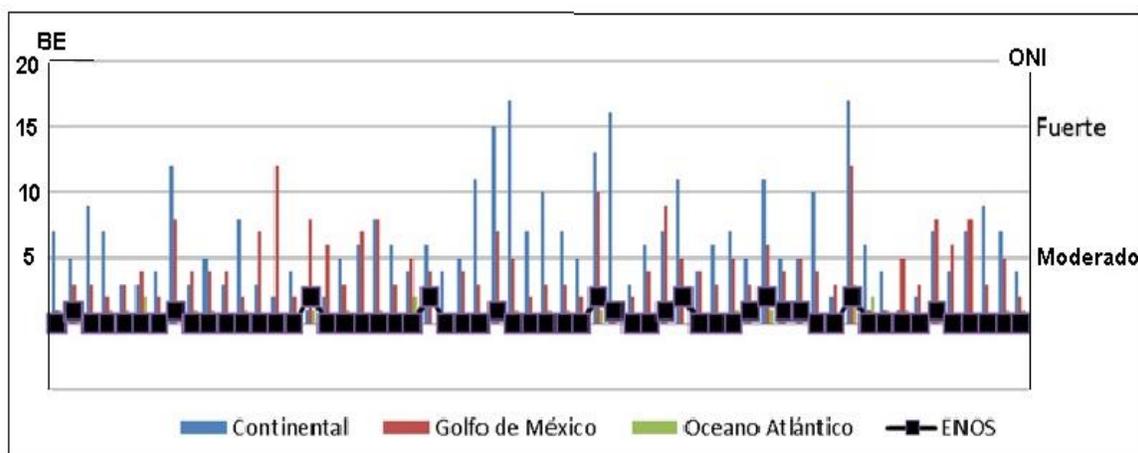


Figura 13. Comportamiento de las zonas evolutivas por temporada (eje primario, izquierda) e intensidad del ONI (eje secundario, derecha)

apariciones haya valores significativos.

Si se realiza el análisis análogo para los casos de la zona evolutiva del Golfo de México, la relación no es tan evidente como en la zona anterior, pues de 12 temporadas en que se registraron más de 6 casos de esta zona, cinco de ellos no ocurrieron bajo los efectos del EN. Esa manifestación pudiera (entre otras causas) estar reflejando la sensibilidad que presenta la zona evolutiva de las BE en el Golfo de México, a las variaciones ante la influencia del evento EN, incluyendo aquellos de intensidad débil, de lo que se infiere que esa zona tiene una mayor relación con el evento EN. La afirmación anterior es consecuente con los resultados hallados en diferentes investigaciones en las que se han abordado la influencia del evento EN en los sistemas meteorológicos en el Golfo de México. Lo que sugiere que en estudios posteriores sobre esta temática, se considere además de los eventos clasificados como moderados y fuertes, aquellos categorizados de débiles. Aunque se estima que en esta zona está presente similar relación a la encontrada en la zona evolutiva continental.

Influencia del EN sobre el comportamiento estacional en las zonas de influencia sobre el occidente de Cuba

Para ampliar este análisis al comportamiento de las BE según las regiones en que éstas hayan influido sobre el territorio cubano ([Figura 14](#)), se usará una forma similar a la ya utilizada para el estudio de la influencia del EN en las trayectorias, y es determinando el valor a partir del cual se tomará una temporada como significativa. En este caso ese valor se corresponderá al de la media más la mitad de su desviación estándar, es así que para la región occidental de Cuba, el valor quedará fijado en 13 casos. Se estima que de existir una relación, ésta indique que bajo los efectos del EN se produce un aumento de la cantidad de sistemas que influyan sobre el territorio cubano en concordancia con lo planteado en el epígrafe anterior.

En la región con mayor cantidad de casos, que es la occidental, se observan valores superiores a los 13 sistemas invernales por temporada en 13 eventos, de

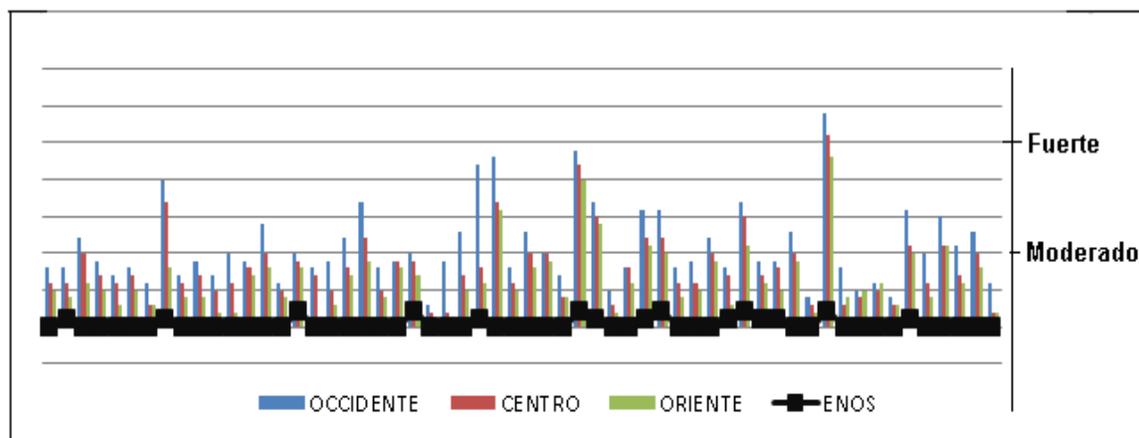


Figura 14. Comportamiento de las zonas de influencia por temporada (eje primario, izquierda) e intensidad del evento ENOS (eje secundario, derecha)

estas 9 bajo los efectos del evento EN, lo que indica una posible relación directa entre el aumento de la influencia sobre esta región del territorio cubano y la presencia del EN, al menos, como una condición necesaria, pues se denota que la relación inversa no se cumple, y no parece haber una dependencia con respecto a la intensidad de los mismos. También se denota en la región occidental la relación con los valores significativos de las BE en las temporadas 1969-1970, 1977-1978 y 2004-2005, en las que no estuvo presente el evento EN, al menos, de intensidad moderado o fuerte. Aunque no se descarta que esos valores pudieran estar relacionados o reflejar la influencia de otras oscilaciones atmosféricas estacionales no abordadas en este estudio, lo que motiva a considerarlas en estudios posteriores de posible realización sobre esta temática.

Relación del comportamiento estacional de las Bajas Extra tropicales (BE) en el occidente de Cuba con el Índice de la Oscilación Ártica (IOA)

En la relación de las Bajas Extartropicales con el índice de la OA, se aplicó el criterio de $+1 \leq IOA \leq -1$. Y se consideraron los meses de mayor influencia de las BE en el occidente de Cuba, es decir, diciembre, enero, febrero y marzo.

En la [figura 15](#), se muestra la relación de las BE con el índice de la OA en el periodo de estudio, en la que se aprecia los valores significativos de las BE (22 y 23 casos), en las temporadas invernales 1976 y 1977, respectivamente, en las que los valores del IOA, fueron negativos (-1.0 y -1.3).

En la [figura 16](#), se refleja la relación de las BE en el trimestre (ene-feb-mar) con el IOA, en la que predominan los valores superiores al climático de las BE (para ese periodo), y asociados a ellos los índices negativos de la OA.

Diciembre

En una muestra de 21 casos con índice de la OA que cumplen el criterio predeterminado, se denotó que en dos casos (2002 y 2012) en que se presentaron en el occidente cubano un total de cuatro BE, en el mes que se analiza, estuvo presente la fase negativa de esa oscilación. Predominando esa fase en 11 casos (52.4 %) de los 21 analizados. Se señala también que en todos los casos (10) de la fase positiva (47.6 %), el número de BE no superó el valor de uno. Se denota además que con valores negativos del índice, se presentaron uno y dos casos de esos sistemas meteorológicos. Sin embargo, es significativo, que en 5 ocasiones estuvo ausente la influencia de las BE en el occidente cubano. Ese valor nulo estuvo asociado a tres fases negativas y dos positivas de la OA ([Figura 17](#)).

Enero

Se analizaron 14 casos en el mes de enero ([Figura 18](#)), con la representación de un 50 % cada una de las fases (positiva y negativa) de la OA.

El análisis a la relación establecida arrojó que también en el mes de enero los valores más significativos de las BE (4 y 5) se manifestaron bajo el ambiente de la fase negativa de la Oscilación Ártica. Mientras que en la fase positiva, la frecuencia de ellas osciló entre uno y dos. Y sólo con ese tipo de

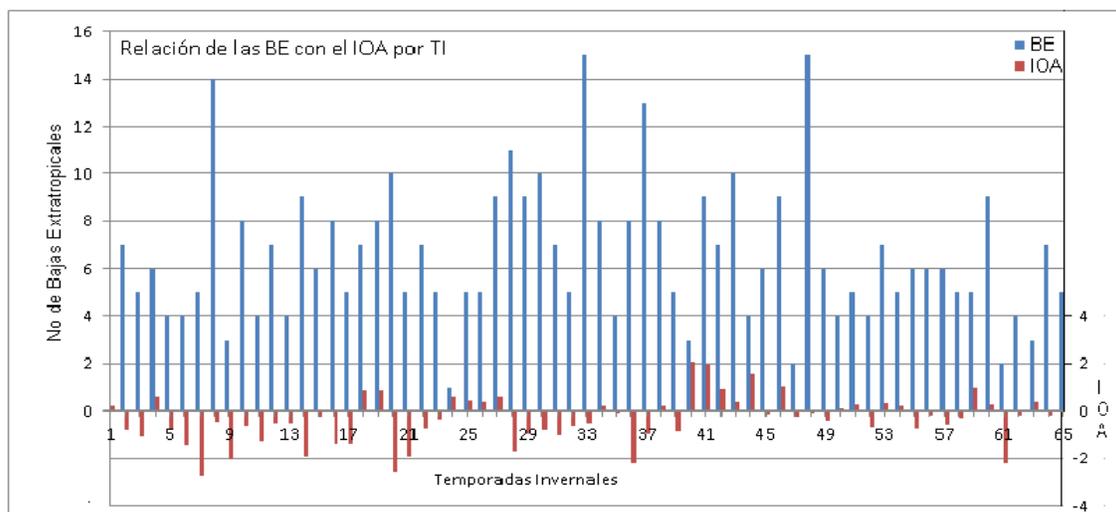


Figura 15. Relación de las BE con el IOA, en el periodo de estudio (65 TI)

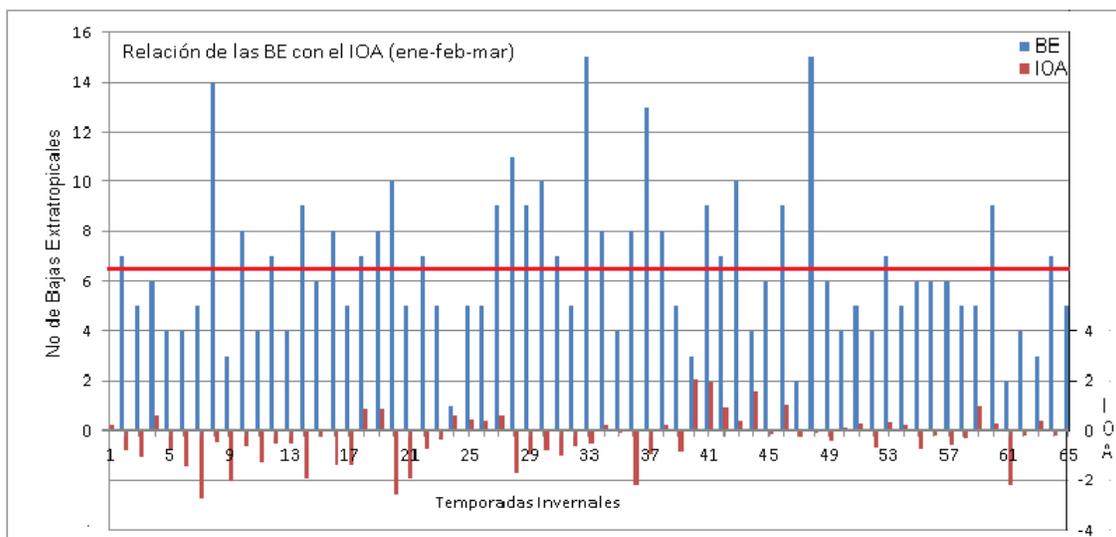


Figura 16. Relación de las BE con el IOA, en los meses de enero-febrero-marzo

fase alcanzó el número de tres en el año 1993, año en que también se manifestó un evento EN moderado, corroborándose que esa oscilación es la que ejerce el mayor y más potente forzamiento en la variabilidad del clima y el tiempo en el área tropical.

Similar criterio corrobora lo expuesto por otros autores foráneos y nacionales. Y se denota además que un índice positivo de la OA de + 3.1 en el año 1989, no incidió en una mayor frecuencia de las BE, reafirmando lo expuesto en el párrafo anterior.

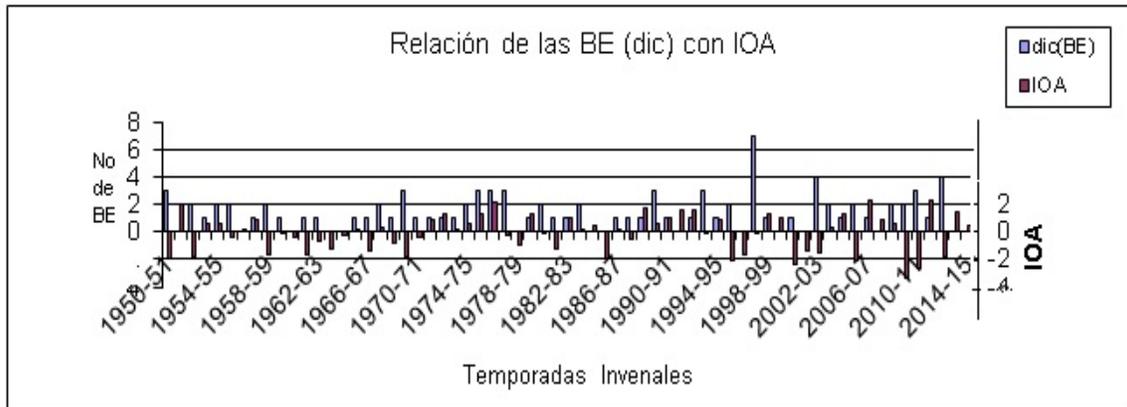


Figura 17. Relación de las BE con el IOA, en el mes de diciembre

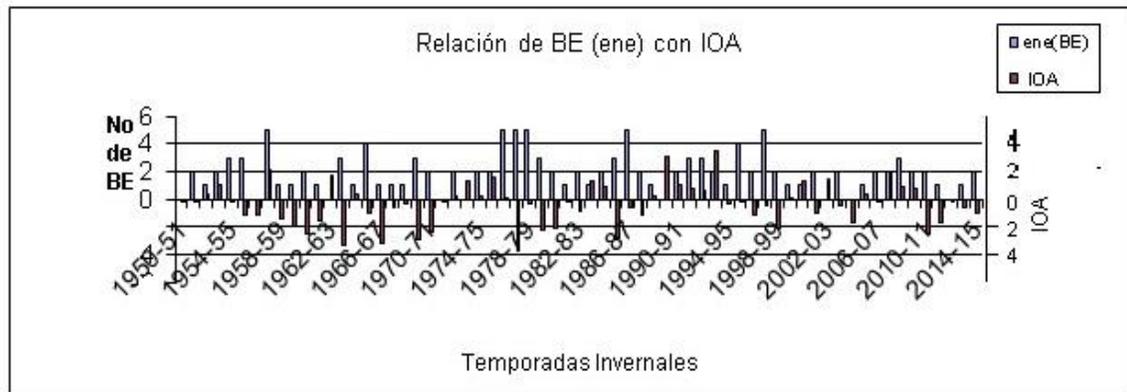


Figura 18. Relación de las BE con el IOA, en el mes de enero

Febrero

El análisis realizado a los 19 casos del mes de febrero (Figura 19), arrojó un ligero predominio de la fase negativa (10 casos) en la pequeña muestra tratada. Aquí se denota que en la fase positiva de la OA se manifestó un discreto incremento en el número de las BE, que ahora es tres, en un caso. Pero se debe recordar que en la distribución mensual de ellas, se manifiesta en los meses de febrero y marzo la frecuencia más alta de esos sistemas invernales. Por lo que en concordancia a lo expresado y con esa

distribución inter estacional, el forzamiento de la OA, pudiera estar limitado a una o dos BE.

En el significativo número de BE (8) en el mes de febrero de 1983, no sólo intervino el forzamiento de la OA a través de su fase negativa, sino también la presencia del evento ENOS, clasificado de fuerte y uno de los más notables del siglo XX, por la magnitud que alcanzaron las anomalías reportadas en los eventos hidrometeorológicos registrados.

El valor nulo de estos sistemas se manifestó en cuatro casos, los que estuvieron

asociados a una fase negativa (1985) y las otras tres positivas (1997,2000 y 2011). Y en los cinco restantes casos con fase positiva, el número de BE no sobre pasan de dos.

Marzo

En el mes de marzo (Figura 20) como ya se había mencionado se incrementa la actividad de las BE, notándose un mayor número de casos para el análisis de la posible influencia de la OA. Un número total de 35 casos fueron relacionados con el

comportamiento mensual de las BE, de ellos 21 con valores negativos del IOA, que representa el 60 % de esa muestra, mientras que la fase positiva estuvo asociada a los restantes casos (14≈ 40 %). En la figura 20 se observa que el valor más significativo de las BE (6) como en los meses anteriores está presente y asociado al valor negativo del IOA, el que se manifestó en marzo de 1969.

En casi todos los casos con valores positivos del IOA sólo se presentaron hasta dos BE y en el año 1986, alcanzó el de tres, pero una vez más se aprecia el marcado

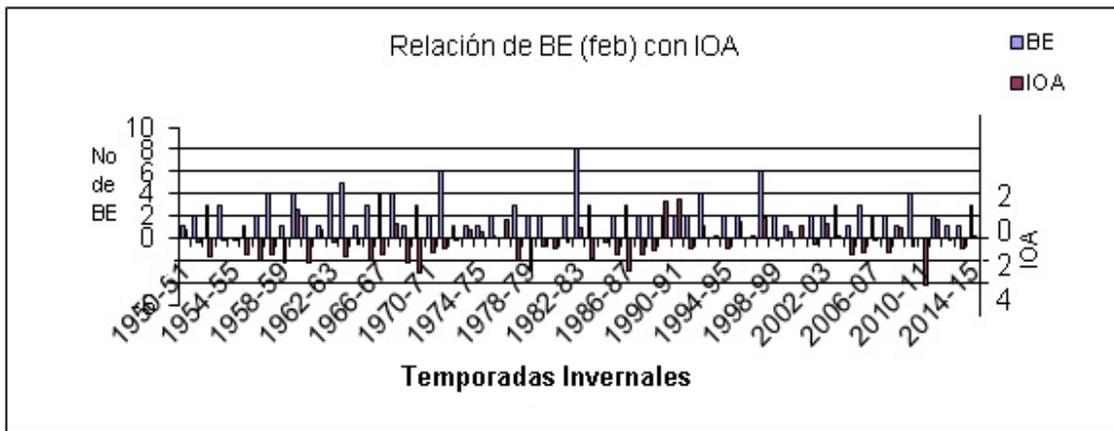


Figura 19. Relación de las BE con el IOA, en el mes de febrero

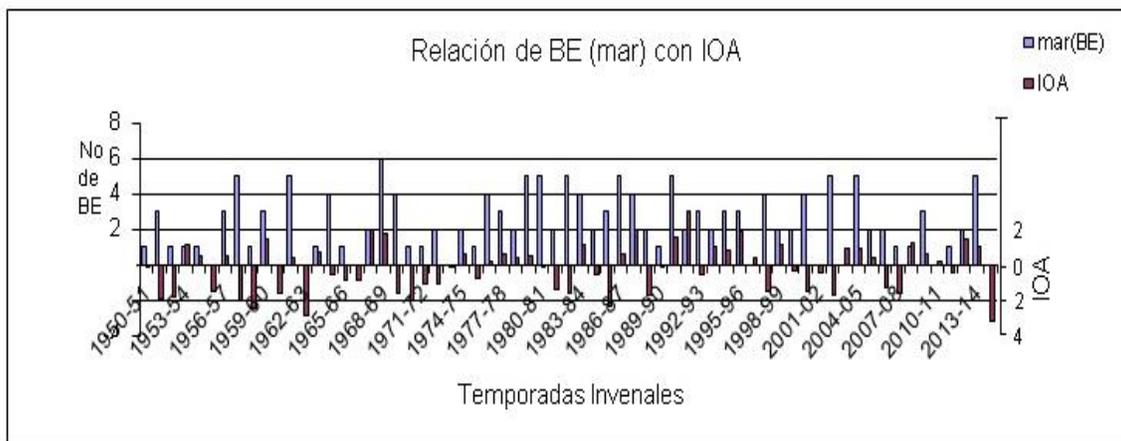


Figura 20. Relación de las BE con el IOA, en el mes de marzo

forzamiento del evento EN, primando en las anomalías circulatorias en el área tropical, en el periodo invernal. Dado que en ese año se manifestó un evento EN clasificado de moderado. Se registraron dos marzo con ausencia de las BE, en los que se manifestó la fase positiva de la OA, representada por valores positivos de su índice. Esos meses se corresponden con los años 1967 y 2015. En el 17.1 % de los casos con valores negativos del IOA se presentaron cinco BE.

En resumen, al relacionar los índices ONI e IOA con las BE, en el periodo interestacional más activo (Dic-Ene-Feb-Mar) de esos sistemas meteorológicos, en el occidente cubano, el análisis realizado arrojó que:

- Los valores significativos en la frecuencia de las BE en cada uno de los meses del periodo de estudio, se manifiestan al amparo de la OA, en su fase negativa.
- En presencia del EN, a este evento cálido en el Pacífico ecuatorial central y oriental, se asocia el forzamiento predominante, aún en la fase negativa de la OA.
- Se manifiesta el incremento de las BE, en los meses de febrero y marzo, y por ende, se denota un discreto incremento debido al forzamiento de la OA.
- En los casos de estudio en los que se relacionan las BE con el IOA negativo, se presenta una frecuencia superior a la media mensual de estos sistemas invernales.
- La cifra de dos BE superior a la media mensual se denota en presencia de valores negativos del IOA.

Las diferentes relaciones analizadas de las BE con las oscilaciones EN y OA, en el periodo seco del año, muestran que el evento

EN continua siendo el de mayor peso en el forzamiento tropical, de manera que cuando está presente la fase negativa o positiva de la OA y la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial central y oriental, arroja anomalías positivas, asociadas a un evento EN, predomina este último forzamiento en las condiciones del tiempo y el clima en el occidente cubano. Y esas condiciones se manifiestan a través de los anómalos procesos circulatorios que se presentan en la temporada invernal.

Conclusiones

Los resultados alcanzados en este trabajo satisfacen los objetivos propuestos, entre los que se hayan:

- La actualización del estudio cronológico de las Bajas Extratropicales, que al desarrollarse permitió determinar el comportamiento estacional e interestacional de esos sistemas meteorológicos, así como la variabilidad que ellas presentan bajo el forzamiento del evento ENOS y la Oscilación Ártica. Al determinar sus regiones de formación, se corroboró que esos sistemas se presentan con mayor frecuencia en la temporada invernal y que su influencia sobre el occidente de Cuba se incrementa con el avance de los meses en el periodo invernal, alcanzando un máximo en el mes de marzo.
- En la Cronología actualizada se registraron 727 sistemas, que de ellos, el 91.8 % ocurrió en el periodo poco lluvioso del año y el 58,1 % en el trimestre enero-marzo. Se determinaron con diferencias significativas las zonas evolutivas más importantes de las BE que afectan a Cuba y ellas fueron la zona Continental y la del Golfo de México, con el 56.4 % y 38.2 % de los casos, respectivamente. La influencia de las BE sobre el occidente de Cuba presentó un comportamiento del 94.91 %.

- Se obtuvo la climatología sinóptica de las bajas extratropicales que han afectado a Cuba en el periodo comprendido desde la temporada invernal de 1950-1951 hasta la de 2014-2015, basada en la Cronología de las Bajas Extra tropicales.
- La Climatología Sinóptica aquí desarrollada muestra las configuraciones medias de las distintas variables y campos meteorológicos, en la etapa evolutiva de las bajas extratropicales, en los niveles de la troposfera baja y media.
- Se determinó la relación entre la ocurrencia del evento EN y los valores significativos en la cantidad de bajas extratropicales que influyen sobre Cuba, así como en su origen y regiones que afecta. Y se valoró la influencia de la Oscilación Artica en el comportamiento de las bajas extratropicales en Cuba.
- Los diferentes análisis realizados a la influencia de las oscilaciones EN y OA, sobre los sistemas meteorológicos que afectan al occidente cubano en el periodo seco del año, muestran que el evento EN continua siendo el de mayor peso en el forzamiento tropical, de manera que cuando está presente la fase negativa o positiva de la OA y las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial central y oriental, son positivas, predomina sobre las condiciones del tiempo y el clima en el occidente cubano, la influencia derivada del forzamiento del evento EN. A través de los anómalos procesos circulatorios que se manifiestan en la temporada invernal, ya mencionados en este artículo.

Recomendaciones

- Mantener actualizado de forma sistemática este estudio cronológico de las bajas extratropicales que afectan al archipiélago cubano.
- Que los resultados obtenidos en este trabajo sean aplicados a los estudios de variabilidad

climática sobre Cuba, en la temporada invernal.

- Que los resultados aquí alcanzados sirvan de base a estudios posteriores sobre esta temática.

Referencias

- Baldwin, M. P.; Cheng, X. & Dunkerton, T. J. 1994. "Observed correlations between winter-mean tropospheric and stratospheric circulation anomalies". *Geophysical Research Letters*, 21(12): 1141–1144, ISSN: 1944-8007, DOI: [10.1029/94GL01010](https://doi.org/10.1029/94GL01010).
- Barry, R. G. & Perry, A. H. 1973. *Synoptic Climatology: Methods and Applications*. London: Methuen, 555 p., ISBN: 978-0-416-08500-6.
- Cedeño, R. Y. 2015. "Oscilación ártica y temperaturas en el occidente de Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2), ISSN: 0864-151X, Available: <http://www.met.inf.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=REVISTA&TB2=/contenidos/biblioteca/revistas/2015/Vol21%20No2.htm>, [Consulted: April 2, 2017].
- Cheng, X. & Dunkerton, T. J. 1995. "Orthogonal Rotation of Spatial Patterns Derived from Singular Value Decomposition Analysis". *Journal of Climate*, 8(11): 2631–2643, ISSN: 0894-8755, DOI: [10.1175/1520-0442\(1995\)008<2631:OROSPD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<2631:OROSPD>2.0.CO;2).
- 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): 15–19, ISSN: 0864-151X.
- González, C. & Estévez, G. 2003. "Resumen de la Temporada Invernal 2002-2003 en

- Cuba”. *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba*, 9(1), Available: <http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v09_n01/espanol/temporada%20inv1.htm>, [Consulted: April 2, 2017].
- Jústiz, Á. A. C. & González, P. C. 2013. “Circulación Troposférica asociada a los Frentes Fríos Fuertes que afectaron a Cuba en el período 1950-2008”. *Revista Cubana de Meteorología*, 19(1), ISSN: 0864-151X, Available: <<http://www.met.inf.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=REVISTA&TB2=/contenidos/biblioteca/revistas/2013/Vol19%20No1.htm>>, [Consulted: April 2, 2017].
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Jenne, R. & Joseph, D. 1996. “The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3): 437–471, ISSN: 0003-0007, DOI: [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).
- Kitoh, A.; Koide, H.; Kodera, K.; Yukimoto, S. & Noda, A. 1996. “Interannual variability in the stratospheric-tropospheric circulation in a Coupled Ocean-Atmosphere GCM”. *Geophysical Research Letters*, 23(5): 543–546, ISSN: 1944-8007, DOI: [10.1029/96GL00158](https://doi.org/10.1029/96GL00158).
- Lapinel, B. & Naranjo, N. 1997. *Tormentas locales severas, grandes precipitaciones y sequías, en: Variaciones y cambios del clima en Cuba*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 10 p.
- Pila, F. E. & González, C. 2011. “Climatología Sinóptica de las Bajas Extratropicales que influyen en el archipiélago cubano”. *Revista Cubana de Meteorología*, 17(2): 71–86, ISSN: 0864-151X.