

El Índice de Circulación de Katz. Una aplicación en investigaciones sobre variabilidad climática regional

The Kats Circulation Index: An application in research on regional climate variability

Roberto Aroche Ramírez

roberto.aroche@jinsmet.cu

Ismael Pomares

ismael.pomares@jinsmet.cu

Nélida Varela

nelida.varela@jinsmet.cu

Nancy Masó

lnancy.masó@jinsmet.cu

Nancy Fernández

nancy.fernandez@jinsmet.cu

Centro Meteorológico de Camagüey, Carretera a Nuevitas, Km 71/2 Cuba

Instituto de Meteorología Loma de Casablanca. Habana, Cuba

Recibido: febrero 16, 2012; aceptado: mayo 29, 2012.

Resumen

En el presente trabajo se aplica el índice de circulación de la atmósfera (ICA) de Katz para determinar las principales características de la circulación atmosférica en el Gran Caribe (GC). Se utilizaron los datos de alturas geopotenciales de doce niveles de la tropósfera, correspondientes al período 1958–1998, derivados del Proyecto Reanálisis del NCEP/NCAR. El cálculo del ICA se realizó para cuatro subregiones del GC empleando el *software* CIRC2002.

Fue posible identificar las peculiaridades circulatorias de cada subregión, determinadas por sus diferencias físico-geográficas, así como su potencialidad para el diagnóstico y la predicción climatológicos, en particular, de las precipitaciones atmosféricas. Se logró establecer que los índices subregionales de Katz revelan, por una parte, la mayor variabilidad del transporte meridional con respecto al zonal, aspecto característico de la circulación general de la atmósfera. Finalmente, se determinó que las respuestas circulatorias de cada subregión se manifiestan de dos formas principales: en primer lugar, existe un comportamiento opuesto de cada componente de la circulación, según sea la capa troposférica baja o

media-superior o entre cada par de subregiones Continental-Insular o Atlántica-Golfiana; en segundo lugar, ocurre una mayor intensificación de la componente meridional, en la troposfera baja de la Golfiana, con respecto a la zonal y de los este con relación a los oeste, como ocurre en las subregiones Atlántica e Insular.

PALABRAS CLAVE: Índice de circulación, circulación atmosférica, predicción climática.

Abstract

In this paper the Katz Atmospheric Circulation Index (ICA) was applied to determine the main atmospheric circulation characteristics in the Greater Caribbean (GC).

Data for twelve tropospheric geopotential height levels for the period 1958–1998 were used. It was obtained by Reanalysis Project of NCEP/NCAR. The ICA was calculated with the CIRC2002 software applied to four GC subregions.

The analysis of obtained results allowed us to identify circulatory peculiarities for each subregion according to their geographic characteristics and its potentiality for diagnose and climate predic-

tion, particularly rainfall forecast. It was established subregional Katz index capacity to reveal that the transport variability according to the meridians is greater than according to the parallels, a feature of the atmospheric general circulation.

Finally, it was learned that circulatory responses for each subregion there are two main forms, one relative to the opposite behavior of each component of the circulation relative to low or mid-upper tropospheric layers, or between each subregions pair Continental-Island or Atlantic-Gulfian and a second, reflecting most intensification of the component according to the meridians that according to the parallels, and of the East in relation with West in low troposphere of the Gulfian, as in the Atlantic and the Islands subregions.

KEYWORDS: Circulation index, atmospheric circulation, climatic prediction

Introducción

La predicción del tiempo y el clima, uno de los problemas más complejos en la meteorología, siempre ha estado estrechamente relacionada con el estudio de la circulación general de la atmósfera (CGA) y sus variaciones, tanto espaciales, como temporales. La tendencia hacia un enfoque objetivo de tales estudios impuso a los científicos la necesidad de elaborar criterios cuantitativos que reflejaran las principales características de la circulación atmosférica macroescalar, a nivel hemisférico o de sectores geográficos extensos. Tales criterios se expresaron mediante los denominados índices de circulación de la atmósfera (ICA).

La idea de la utilización de los ICA, definidos para determinar la intensidad de la circulación atmosférica en una banda o cinturón latitudinal específico, alrededor del hemisferio o en un sector de este, tiene su origen en los trabajos de Clayton (1923), citados por Walker (1924). Rossby (1939) expresó numéricamente la intensidad de los vientos del oeste (en latitudes

templadas sobre un hemisferio) como la diferencia de presión media existente entre las latitudes de 35 y 55° N, o como el viento geostrófico correspondiente. Además, Rossby encontró que ese índice estaba relacionado con la forma de circulación general y, en particular, con las posiciones longitudinales y la extensión de los grandes centros de acción (GCA) de la atmósfera.

Entre los más conocidos ICA se encuentran los índices que representan las intensidades de las componentes zonales (este-oeste) y meridionales (norte-sur) en superficie o en cualquier nivel de la atmósfera. De estos, antes de la proliferación de los índices de teleconexión, los que más se han utilizado, tanto en la práctica operativa de la predicción climática, como en las actividades de diagnóstico, son los propuestos por Blinova (en 1943) y Katz (en 1960).

El seguimiento de estos índices ha posibilitado advertir importantes características de los principales centros de acción de la atmósfera; visualizar el desplazamiento hasta las latitudes bajas de las bandas troposféricas medias de los vientos máximos del oeste, característicos de las regiones templadas; describir el estado atmosférico al nivel del mar y de los patrones de circulación atmosféricos asociados con fuertes y débiles oestes de latitudes medias; así como revelar la interacción entre la intensidad de la CGA y los gradientes de temperatura en la troposfera del sector atlántico europeo (Katz, 1960).

Lo referido antes permite ilustrar cómo, desde hace mucho tiempo, la utilización de los ICA ha desempeñado un papel importante en el esclarecimiento de las principales regularidades de la CGA, sobre todo la de las latitudes medias. Sin embargo, la extensión de los ICA a investigaciones y servicios de la zona tropical y sus regiones, ha encontrado dificultades, tanto en lo teórico, como en lo práctico y lo interpretativo.

Es conocido que las investigaciones, primero, de Naranjo (1995) y luego de Aroche *et al.* (1999); Lapinel *et al.* (1998); Lapinel, Aroche, Rivero y otros (1999);

Aroche y Cutié (2003), han enfrentado de manera novedosa y creadora las limitaciones referidas, todo lo cual ha permitido obtener un profundo y útil conocimiento en cuanto a las características del entorno atmosférico de Cuba y su vinculación con procesos generadores e inhibidores de las precipitaciones. No obstante, el tema aún no ha sido agotado, y se requieren nuevas búsquedas y aplicaciones.

Los objetivos del presente estudio consisten, en primer lugar, en la obtención de estimaciones cuantitativas sintetizadoras y representativas de la circulación troposférica sobre la región del Gran Caribe, utilizando presupuestos teóricos similares a los reseñados (en particular, el ICA de Katz) y, en segundo lugar, caracterizar los principales intercambios subregionales de masas de aire, en correspondencia con las peculiaridades del Gran Caribe. Esta región, además de ser relativamente pequeña, se encuentra ubicada en una zona de transición, donde confluyen interacciones entre fenómenos tropicales y extratropicales, interoceánicos y continentales, convectivos y advectivos, entre otros.

Materiales y métodos

El método de cálculo del índice de circulación empleado fue propuesto por A. L. Katz —citado por Zviérev (1977)—, de amplio uso internacional en el pasado reciente (Borobiov, 1962; Gromova, 1962a; Gromova, 1962b; y Pagasian, *et al.*, 1965). En calidad de índice de la intensidad de la circulación atmosférica, Katz adoptó el flujo específico de masa de aire en una capa unitaria en la unidad de tiempo. La variación de este flujo, en el caso de un movimiento geostrófico y en condiciones de constancia de la fuerza de Coriolis, depende de la variación del gradiente medio de la presión atmosférica (o de las alturas geopotenciales) en la región seleccionada en la unidad de distancia. En consecuencia, puede considerarse que los transportes zonales y meridionales (TZ y TM) son proporcionales a la magnitud del gradiente meridional o zonal (Katz, 1960).

La región de estudio se denomina Gran Caribe, definida por la Convención de Cartagena como:

La región que incluye los estados de los litorales del Golfo de México, el Mar Caribe y las áreas del Océano Atlántico que se extienden al sur de los 30° N y hasta las 200 millas náuticas de aquellos estados (UNEP, 1983).

Se seleccionaron cuatro subregiones y doce niveles de la troposfera, teniendo en cuenta las variaciones y características espacio-temporales de los principales sistemas isohípsicos de la circulación atmosférica en la región de estudio, y sus características físico-geográficas. Los límites geográficos de las subregiones se presentan en la figura 1.

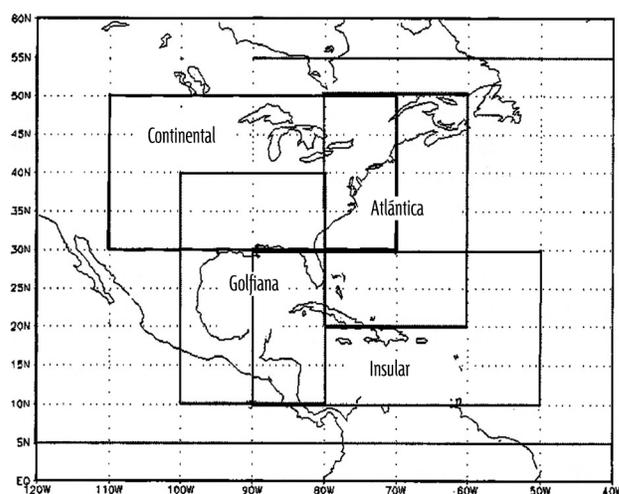


Figura 1. Límites de las regiones de cálculo del ICA de Katz

El algoritmo de cálculo del índice de Katz fue implementado en el programa CIRC2002. Las formulaciones de este algoritmo se describen en el Anexo 4 (Aroche *et al.*, 2002).

Se utilizaron los datos de alturas geopotenciales de doce niveles de la tropósfera, 1 000 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa, 250 hPa, 200 hPa, 150 hPa y 100 hPa, durante el período 1958–1998, correspondientes al período 1958–1998, derivados del Proyecto Reanálisis del NCEP

/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). Este período fue dividido en dos subperíodos: 1958-1979 (P1) y 1977-1998 (P2); el solapamiento de los subperíodos garantiza series de igual longitud temporal relacionadas con la duración del ciclo magnético solar, este último reconocido como influyente en el aseguramiento energético de la circulación general de la atmósfera. Por otra parte, el solapamiento es sumamente pequeño con respecto a la longitud del período e incluye un intervalo de años reconocidos como de transición en los aspectos circulatorios del Caribe y el Atlántico, lo que facilita, de existir, la diferenciación entre los dos subperíodos. La obtención de series temporales para cada punto de esa rejilla se realizó mediante el uso de utilitarios elaborados al efecto sobre la base del sistema The Grid Analysis and Display System (GrADS) (Doty E. B., 1992).

Independientemente de analizarse los resultados obtenidos para los doce niveles referidos, a los efectos de este artículo, se seleccionaron solo cuatro de estos (100 hPa, 200 hPa, 500 hPa y 850 hPa) como representativos de las principales capas de intercambio de masa y movimiento en la troposfera.

Resultados

Subregión continental

En esta región, el transporte zonal (y sus anomalías) es mucho más intenso que el meridional, y en toda la troposfera es del oeste, con un curso anual unimodal que alcanza su máximo establemente en enero, pero con un mínimo estival que se adelanta con la altura, de septiembre a julio. La intensidad del flujo zonal crece cuasigeométricamente hasta 200 hPa (Fig. 2).

El transporte meridional es más variable en la altura que el zonal, y presenta un curso unimodal en la troposfera baja, pero bimodal en la media y superior. Ambos cursos, estacionalmente, presentan, de forma alternativa, flujos del norte y del sur. En el ni-

vel de 850 hPa, de abril a octubre, el flujo es del sur, y el resto del año es del norte; son períodos en los cuales ocurren sus respectivos valores extremos: en junio, el máximo; y en febrero, el mínimo. El curso bimodal de los niveles superiores se caracteriza por presentar un mínimo estable en julio, con transporte del norte, y otro en enero o febrero, adelantado con la altura; los máximos aparecen en septiembre y mayo en la troposfera media, y en marzo y noviembre, en la superior.

Es preciso señalar que los máximos se diferencian muy poco entre sí por su magnitud; además, muestran una intensificación de los nortes en el período diciembre-abril, lo cual presupone la existencia de celdas verticales de circulación opuestas: una de tipo Ferrel, durante junio-julio, y otra de tipo Hadley, durante noviembre-diciembre, con el establecimiento de características monzónicas.

Al comparar las regularidades descritas, correspondientes a P_1 , notamos que durante P_2 han ocurrido algunos cambios entre los cuales se destacan: En la troposfera baja han disminuido los oestes en el período poco lluvioso (PPLL) y se han incrementado en el lluvioso (PLL). Se produce un corrimiento de un mes para el período de los sures, es decir, se ocasionó un atraso en su inicio, lo que conllevó una extensión de estos hasta noviembre, así como el desplazamiento de su máximo hacia julio. En el nivel de 500 hPa no se experimentaron muchos cambios, excepto que los sures se incrementaron en noviembre. En los 200 hPa, a pesar de notarse estabilidad en la magnitud y estacionalidad de las anomalías de los transportes, ocurrió una ampliación intraestival de los nortes hacia junio y septiembre, y un fortalecimiento de los sures durante el trimestre octubre-diciembre.

Subregión Insular

El transporte zonal continúa predominando en magnitud con respecto al meridional (Fig. 3), pero no es de una sola dirección todo el año, como tuvo lugar

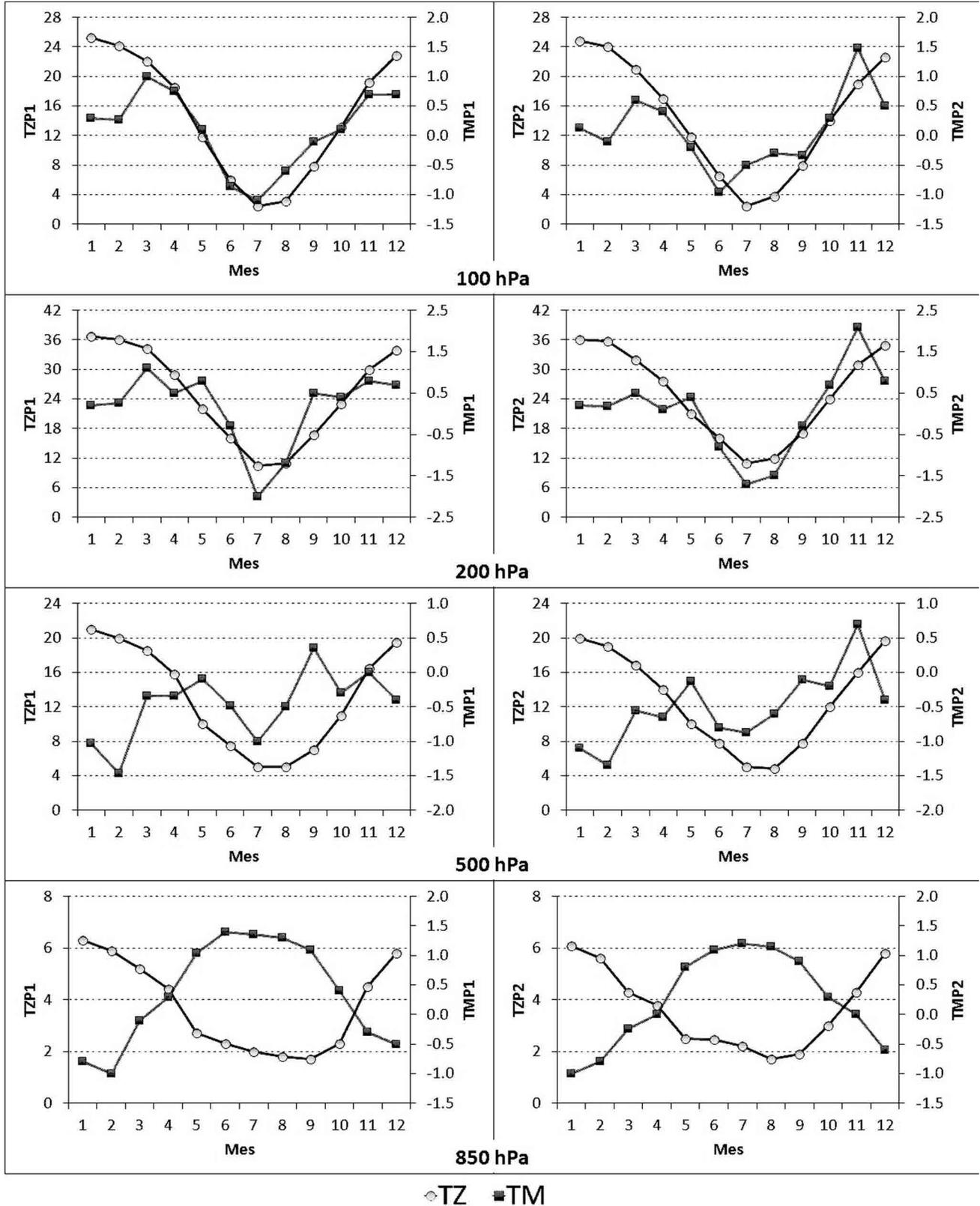


Figura 2. Anomalías estandarizadas del transporte zonal (TZ) y meridional (TM) para la subregión Continental. El panel izquierdo (P1) corresponde al período 1958-1979, el panel derecho (P2) corresponde al período 1977-1998

en la subregión continental; además, su distribución no es monótona en la vertical, la cual ocurre como si existieran, dentro de la misma troposfera, pares de capas no contiguas con regímenes similares. Ese transporte es bimodal en la troposfera baja, pero en la media y la superior es unimodal; mientras que el meridional es bimodal en toda la troposfera. Sin embargo, si tenemos en cuenta la dirección del transporte, entonces, los niveles 850 hPa y 200 hPa se presentan con transportes opuestos. Por otra parte, los niveles 500 hPa y 100 hPa son similares en las características del curso de ambos transportes, aunque las magnitudes sean superiores en el último. Es preciso señalar que en este par de niveles se presentan cambios estacionales en la dirección de los transportes, como si no existiese el nivel de 200 hPa, en el cual ello no ocurre. Asimismo, la estacionalidad de estos transportes zonales y meridionales predominantes en los dos niveles inferiores acopla adecuadamente con la correspondiente al régimen pluviométrico de Cuba, lo cual pone de relieve el papel de las corrientes verticales convectivas profundas, implicadas en los mecanismos generadores de las precipitaciones en la subregión. En el acoplamiento de esos niveles, estas corrientes, al encontrar la tropopausa, como capa estable, transfieren *momentum* a las horizontales y hacen que estas últimas sean superiores en el nivel de 100 hPa, aunque parte de ese impulso deberá transferirse a la estratosfera.

Los principales cambios multianuales tuvieron lugar en las capas medias y superiores, sobre todo reflejadas en el nivel de 200 hPa, donde, a pesar de que la estacionalidad, no se alteró sustancialmente; los transportes respondieron de modo opuesto. Los oestes se debilitaron durante todo el período, llegando a transformarse en estes en agosto, mientras que los nortes se intensificaron en los bimestres mayo-junio, agosto-septiembre y diciembre-enero. En consecuencia, durante tales bimestres se impusieron flujos del noreste en la subregión Insular, lo cual es coheren-

te con lo referido por Aroche *et al.*, 2002a con relación a una mayor influencia durante P₂ del Anticiclón Mejicano complejo (AM). Los niveles de 500 hPa y 100 hPa también presentaron algunos cambios, entre los cuales sobresale el incremento de los oestes todo el año en los 100 hPa, durante marzo-mayo en los 500 hPa, y el debilitamiento de los estes en julio-agosto. Mientras el transporte meridional presentó poca o ninguna variación.

Subregión Golfiana

En el transporte zonal de esta subregión, al menos, en la troposfera baja, sobresale el hecho de que los estes llegan a ser superiores a los oestes (Fig. 4); además, ocupan un período que se extiende de mayo a noviembre, dentro del cual presentan el mínimo absoluto en el bimestre julio-agosto, asociado con la máxima influencia del Anticiclón Azores-Bermudas (AA), responsable de generar los fuertes sures que caracterizan a esta subregión de marzo a septiembre, con su cuña anticiclónica en forma de “pata de palmito” (Aroche *et al.*, 2002a). En los niveles superiores, esa alternancia estacional de estes y oestes se mantiene, pero con la particularidad de que estos últimos se fortalecen y los primeros no solo se debilitan, sino que se circunscriben a los meses de julio-agosto. En esos niveles, el AM determina las características de la circulación en la subregión Golfiana, junto con la vaguada inducida por un sistema binario de anticiclones (VISBA) que genera componentes del norte durante el período estival, lo cual se hace extremo en los 200 hPa y 100 hPa, con la intervención conjunta de la vaguada medio oceánica (VMO). Esto permite que los estes se regeneren de nuevo en el bimestre julio-agosto, el cual debe ser extremadamente seco, y se vinculen, posiblemente, con los procesos generadores de las conocidas sequías intraestivales del GC.

Durante el P₂ se observó que en el nivel de 850 hPa se produjo un fortalecimiento en los oestes durante el PPLL y un debilitamiento de los estes en el PLL,

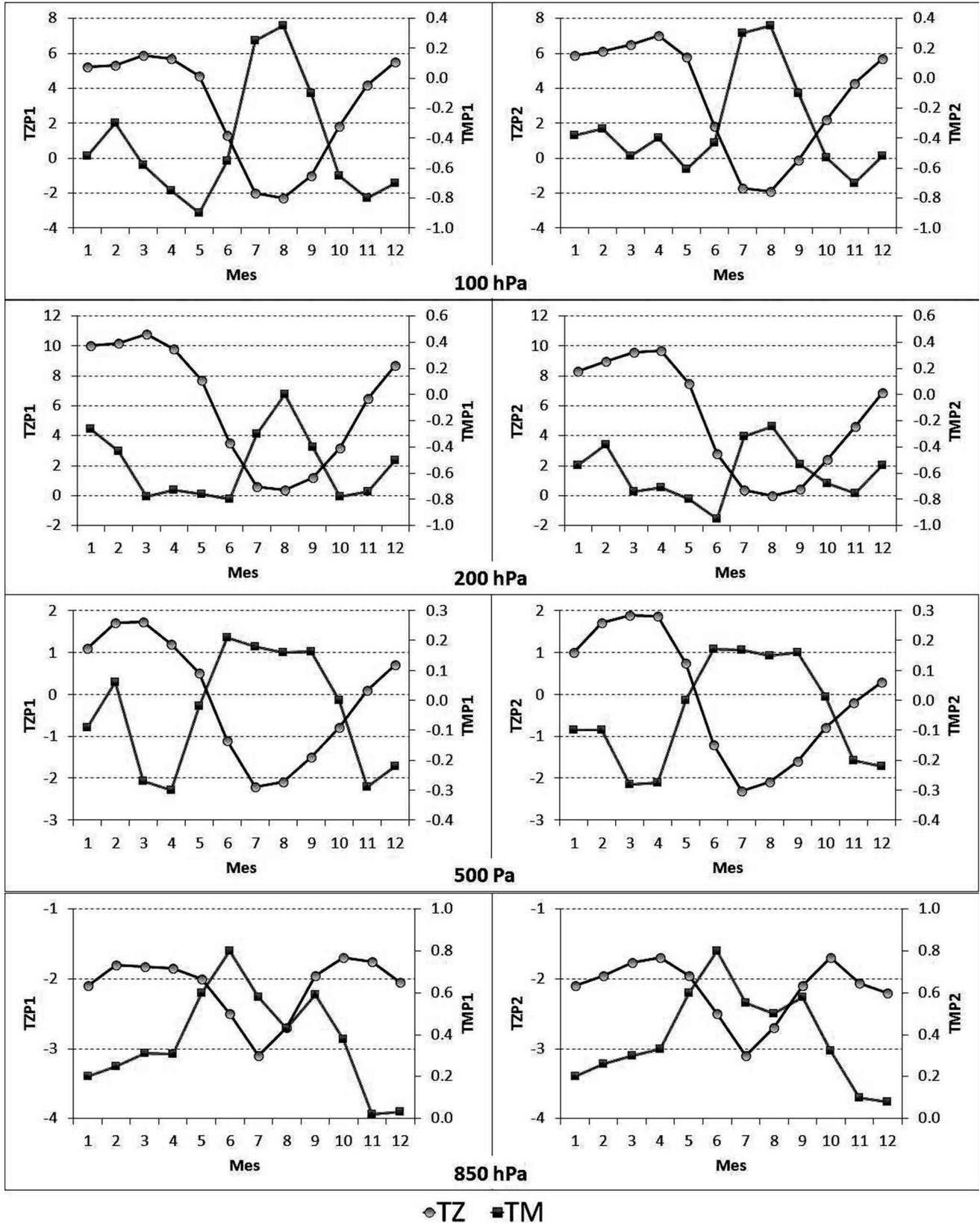


Figura 3. Similar a la Figura 1 pero para la subregión Insular.

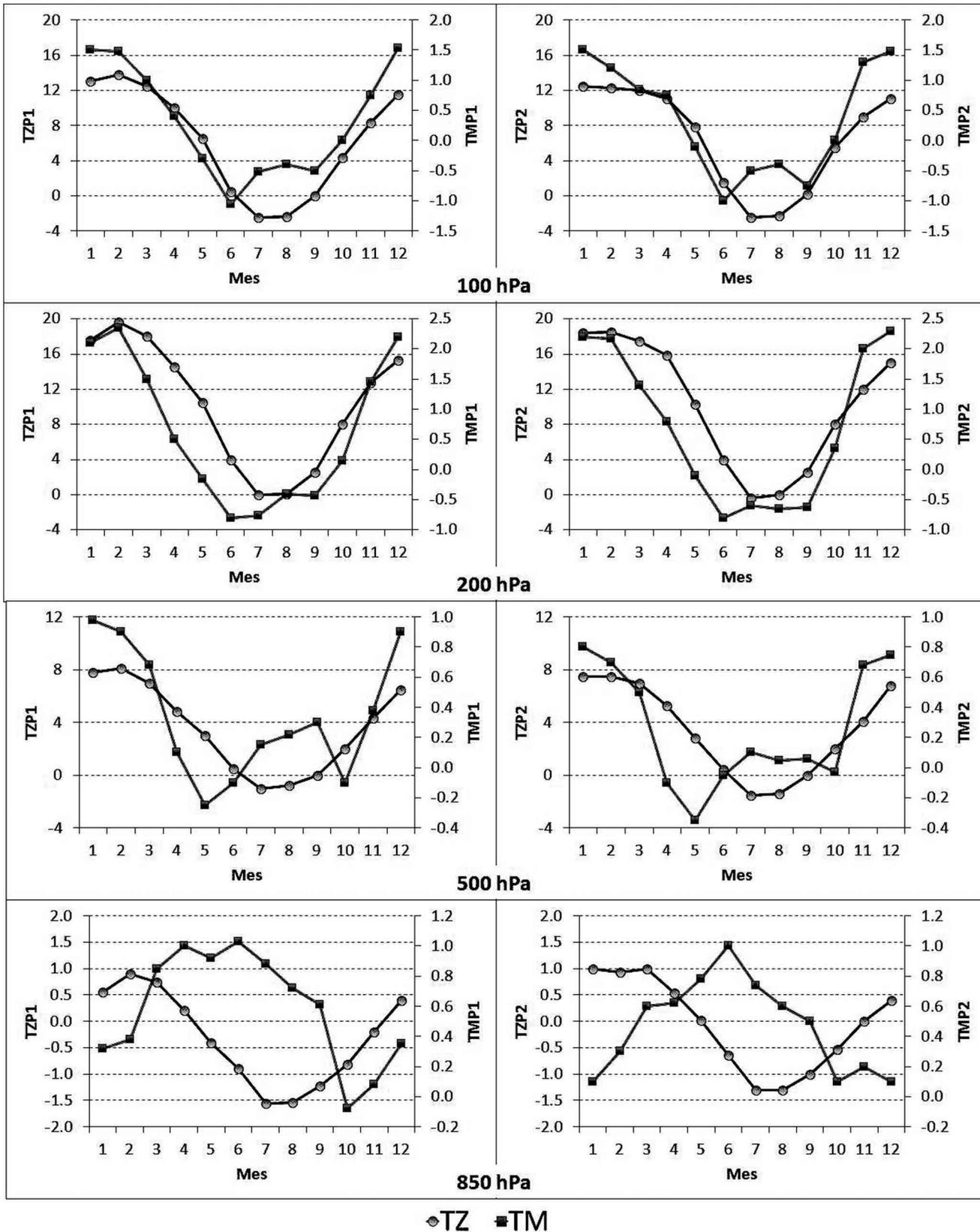


Figura 4. Similar a la Figura 1 pero para la subregión Golfiana

junto con una contracción temporal de dos meses para estos. El transporte meridional estuvo caracterizado por un debilitamiento de los sures durante el período agosto-abril. Sin embargo, en 200 hPa no hubo corrimiento estacional ni en TZ ni en TM; pero, en el primero, se debilitaron los oestes en febrero-abril, y en julio-agosto llegaron a convertirse en flujos del este. El transporte del sur se intensificó en el bimestre octubre-noviembre, así como en abril, y el del norte lo hizo durante agosto-septiembre, lo cual corresponde a una ubicación más al NE del AM.

Con relación a la variación multianual de la circulación en esta subregión, sucedió que las capas bajas y altas de la troposfera respondieron de modo opuesto y de manera inversa a la Atlántica, lo cual, posiblemente, contribuya a que las variaciones en los regímenes de diferentes variables meteorológicas no respondan de igual modo, según sean representativas del occidente o del oriente en el subsistema climático del GC que se analice.

Subregión Atlántica

Esta subregión se caracteriza por presentar altos valores de anomalías de los índices de circulación, aunque ligeramente inferiores a los de la continental; es una subregión donde los transportes meridionales pueden llegar a ser superiores a los zonales (Fig. 5). El transporte zonal presenta unimodalidad en toda la troposfera, con un máximo en febrero, en los tres niveles atmosféricos más bajos; y en enero, en los 100 hPa. Mientras que el meridional es bimodal.

La variación anual de TZ es similar a la ocurrida en la subregión Continental: un máximo de los oestes en febrero y un mínimo en septiembre, los cuales se adelantaron en la altura, para ocurrir en enero y julio en los 100 hPa, particularidad que debe tener cierta utilidad predictiva. Con respecto a TM existe una mayor variabilidad interestacional, puesto que en los 850 hPa presenta un máximo principal en junio, con transporte del sur, y un mínimo principal en

abril, con transporte del norte. Entretanto, los extremos secundarios se presentan en febrero y diciembre, respectivamente, pero ambos con flujos del sur; es decir, mayo aparece como un mes de transición fuerte. Tiene lugar una inversión de los transportes en las capas bajas y altas de la troposfera, en particular, reflejada en los niveles de 850 hPa y 200 hPa, que corroboran de nuevo lo referido en Aroche *et al.* (2002a) con respecto a la circulación de Hadley. Esta última es generada por el Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte (AA), también conocido como de Azores-Bermudas, un centro de acción cuasipermanente de circulación, que domina en buena medida el tiempo y el clima en el sureste de Norteamérica, el Gran Caribe, el oeste de Europa y el noroeste de África. Sus cambios estacionales se reflejan en modificaciones de su posición, estructura e intensidad, y provocan variaciones sustanciales en los diferentes elementos del clima de las regiones señaladas y, en particular, en el archipiélago cubano.

En esta subregión, el transporte es del norte solo durante el bimestre marzo-abril, en todos los niveles, excepto en 100 hPa, donde se extiende hasta junio. Es de notar que si en todos los niveles el mínimo principal es en abril, esa estabilidad no la presenta el máximo principal, el cual pasa a ocurrir en julio, en los 500 hPa; en octubre, en los 200 hPa; y en enero, en los 100 hPa.

Durante P_2 , el período de transporte meridional del norte se corrió hacia el verano (agosto), ubicando su máximo en el bimestre mayo-junio; mientras que el transporte zonal, manteniendo su estacionalidad, incrementó sus oestes en junio y septiembre, disminuyéndolos durante febrero y marzo. Esta situación refleja el desplazamiento hacia el este y el giro anticiclónico de la VMO (descrito en Aroche *et al.*, 2002a). Además, en los 850 hPa se incrementaron los transportes del sur durante el PPLL y se debilitaron en el PLL, muy en correspondencia con la posición y la influencia mutua del sistema binario anticiclónico

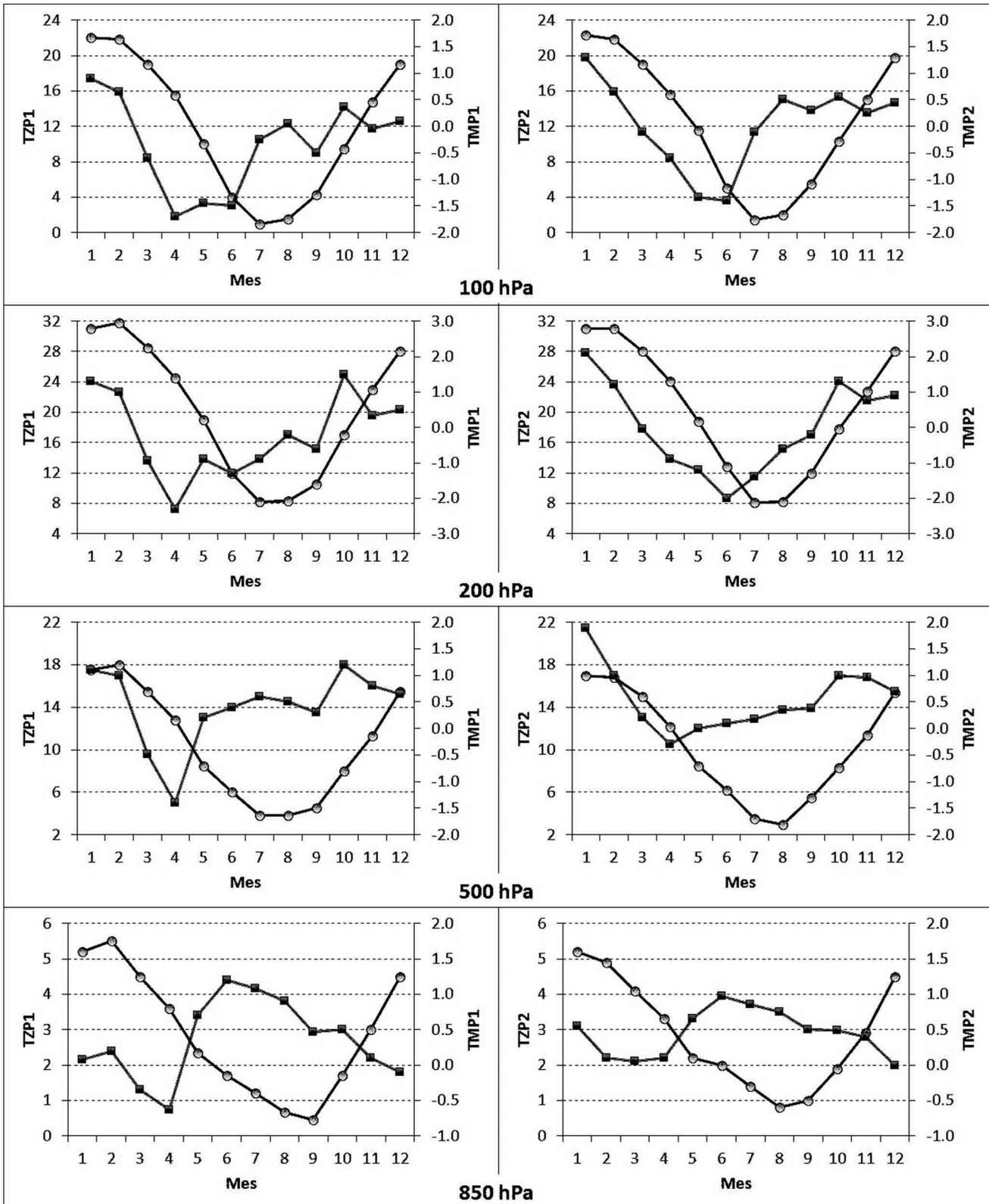


Figura 5. Similar a la Figura 1 pero para la subregión Atlántica

AM-Anticiclón de las Bermudas (AB).

Conclusiones

La aplicación del ICA de Katz en el Gran Caribe permitió verificar lo adecuado de delimitación, cobertura y orientación de las subregiones de estudio, al menos, desde el punto de vista que los índices subregionales de Katz revelaron. Por una parte, la mayor variabilidad del transporte meridional con respecto al zonal, aspecto característico de la circulación general de la atmósfera, y, por la otra, identificar las peculiaridades circulatorias de cada una de estas impuestas por sus diferencias físico-geográficas, cuya mejor representación tiene lugar en las subregiones Continental e Insular. Ambas cuestiones resultan de gran utilidad en el diagnóstico y la predicción climatológicos, en particular, de las precipitaciones,

Las diferencias en las características circulatorias de cada subregión se manifiestan de dos formas principales: la primera, consiste en el comportamiento opuesto de cada componente de la circulación, según sea la capa troposférica baja, media superior, o entre cada par de subregiones Continental-Insular o Atlántica-Golfiana; la segunda, está dada por la mayor intensificación de la componente meridional, en la troposfera baja de la Golfiana, con respecto a la zonal, y de los estes con relación a los oestes, como ocurre en las subregiones Atlántica e Insular, respectivamente. Todo ello permite presuponer la existencia de un equilibrio en la distribución de la masa troposférica a la escala de la región de análisis con su manifestación en la organización de celdas meridionales y zonales de circulación que varían estacionalmente. Esto, sin duda, es una particularidad relevante para la detección de anomalías circulatorias y la concepción de pronósticos climáticos estacionales.

Bibliografía

- AROCHE, R. Y V. CUTIÉ (2003): “Los transportes troposféricos de masa y su asociación con la ocurrencia de anomalías pluviométricas extremas en Cuba”, en *Sociedad Meteorológica de Cuba*, INSMET, (CD), Ciudad de la Habana, *X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, II Congreso Cubano de Meteorología*, Ciudad de La Habana, ISSN 959-270-014-1,
- AROCHE, R., N. MASÓ, N. FERNÁNDEZ, B. LAPINEL, L. NARANJO, A. CENTELLA, C. FONSECA, N. VARELA, I. POMARES, V. CUTIÉ Y Y. GIMENO (2002a): Monografía: Variabilidad multianual de los campos de circulación sobre el Gran Caribe y sus repercusiones sobre el régimen pluviométrico en Cuba. Programa Ramal de Investigación del INSMET, Proyecto 49 201 204. ICT, p. 80.
- AROCHE, R., N. VARELA E I. POMARES (2002b): Circ2002, un nuevo *software* para el cálculo del Índice de Circulación de Katz. Programa Ramal de Investigación del INSMET, Proyecto 49 201 204. ICT (inédito).
- AROCHE, R., N. VARELA, B. LAPINEL, I. PÉREZ E I. HERNÁNDEZ (1999): Subsistema para el cálculo de índices de circulación de Katz en las variantes de las intersecciones o de rejillas de la información barométrica de cualquier región o nivel de la atmósfera, ICT, Proyecto 013 01 017. Programa Nacional de Cambios Globales.
- BLINOVA, E. H. (1943): Teoría hidrodinámica de las ondas de presión, ondas térmicas y centros de acción de la atmósfera, DAH de la URSS, t. 39, vol. 7.
- CLAYTON, H. H. (1923): *World Weather*. New York Mac Millan, p. 293.
- DOTY, E. B. (1992): Using the Grid Analysis and Display System (GrADS). COLA, Calverton, MD.USA, p. 97.
- GROMOVA, G. G. (1962a): Características de los procesos zonales y meridionales en la Siberia Oriental y partes aledañas del Océano Pacífico, Trabajos del Instituto Central de Pronósticos, vol. 19, pp. 104-112.

- _____ (1962b): “Particularidades de la circulación atmosférica sobre Siberia Oriental y partes aledañas del Océano Pacífico”, *Meteorología e Hidrología*, vol. 6, 28–32 pp.
- KALNAY, E. *et al.* (1996): “The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis Project”, *Bulletin of the American Meteorology Society*, vol.77, no. 3, pp. 437–471.
- KATZ, A. L. (1960): *Cambios estacionales de la circulación de la atmósfera y el pronóstico a largo plazo*, Editorial Hidrometeorológica del Leningrado, p. 270.
- LAPINEL, B., R. AROCHE, M. SARDINAS Y N. VARELA (1998): *Los índices de circulación y su relación con los procesos de sequía*, Informe Científico Técnico. Instituto de Meteorología, Cuba, p. 20.
- LAPINEL, B., R. AROCHE, R. RIVERO *et al.* (1999): *Caracterización de factores circulatorios, hídricos y energéticos asociados al comportamiento anómalo del régimen de lluvias en Cuba*, Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología, Cuba. p.121.
- NARANJO, L. R. (1995): Uso de los Índices de Circulación para la caracterización de las condiciones atmosféricas en las inmediaciones de Cuba, Reporte de Investigación Grupo Nacional de Pronóstico a largo plazo, INSMET, CITMA, p. 50.
- PAGASIAN, X. P., A. A. PABLOVSKAYA Y M. B. SHABIELNIKOVA (1965): *Interacción de los procesos troposféricos y estratosféricos del hemisferio norte*, Editorial Hidrometeorológica de Leningrado, p. 129.
- ROSSBY, C. G. *et al.* (1939): “Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and displace of the semi-permanent centres of action”, *J. Mar. Res.*, no. 2, pp. 38–55.
- WALKER, G. T. (1924): “Correlation in seasonal variations of weather, IX: a further study of world weather”, *Mem. Indian Meteor. Dept.*, p. 24, pp. 275–332.
- ZVIERIEV (1977): *Meteorología sinóptica*, Editorial Hidrometeorológica de Leningrado (en ruso), p.712.