

Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente

Characterization of meteorological annual phenomena in Cuba, classified according to the present weather code

Dra. Lourdes Álvarez Escudero[✉], Lic. Israel Borrajero Montejo

Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba

Resumen

Los fenómenos meteorológicos influyen cotidianamente en la sociedad y provocan, tanto efectos adversos, como beneficiosos; de ahí, la importancia de estudiar su comportamiento climático. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la marcha anual de la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos clasificados como “cielos despejados”, “humo”, “brumas”, “neblinas”, “nieblas”, “relámpagos”, “lluvias”, “chubascos” y “tormentas eléctricas” para cada estación meteorológica del país. Los agrupamientos de estaciones con comportamiento similar de su marcha anual se abordaron mediante el análisis de *cluster*, mediante dendrogramas. El estudio de la marcha anual arrojó que los cielos despejados y las brumas son más característicos de los meses del período poco lluvioso; el humo resultó característico de las estaciones de Casablanca y Nuevitás; las neblinas y nieblas fueron propias del período poco lluvioso, con diferencias estacionales más marcadas para las segundas; las lluvias, los chubascos, relámpagos y tormentas resultaron característicos del período lluvioso, a veces, extendido hasta diciembre, como en el caso de los chubascos. En general, las diferencias entre grupos, estuvieron dadas por la menor o mayor ocurrencia por períodos de actividad, y su distribución espacial no respondió a áreas particulares, con la excepción de las lluvias, los relámpagos y tormentas, en los cuales se manifiestan diferencias entre las regiones occidental, central y oriental del país.

Palabras clave: fenómenos meteorológicos, marcha anual, tiempo presente, cielos despejados, nieblas, brumas, chubascos, tormentas, Cuba

Abstract

Meteorological phenomena influence on a society day by day, causing both adverse and beneficial effects, hence the importance of studying their climatic behavior. The current work had as purpose to characterize the annual course of the occurrence frequency of the phenomena classified as “clear sky”, “smoke”, “haze”, “mist”, “fog”, “lightning”, “rain”, “shower” and “thunderstorm” for each meteorological station in the country. Grouping of stations with similar

[✉] Autor para correspondencia: *Lourdes Álvarez Escudero*, Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

Recibido: 25 de enero de 2016

Aceptado: 22 de marzo de 2016

behavior of their annual cycles was made applying cluster analysis, through dendrograms. The study of annual period reveals that the clear skies and fogs are more characteristic of the dry season months, smoke is characteristic of Casablanca and Nuevitas stations. Mists and fogs are also characteristic of the less rainy period with seasonal differences more relevant for the second ones. Rain, showers, lightning and thunderstorms are generally characteristic of the rainy season, extended until December, as in the case of the showers. Generally differences among groups are given mostly by greater or lesser occurrences on each period and their spatial distribution does not relate to particular areas with the exception of rain, lightning and storms where differences show among the western, central and eastern regions of the country.

Key words: meteorological phenomena, annual course, present weather, Clear sky, fog, haze, rain shower, thunderstorm, Cuba

Introducción

Los fenómenos meteorológicos influyen cotidianamente en la sociedad y causan, tanto efectos adversos, como beneficiosos. Las descargas eléctricas, por ejemplo, pueden provocar pérdidas de vidas humanas; de hecho, es el fenómeno que ocasiona más muertes por fenómenos naturales en Cuba y más daños a la economía, a pesar de que las lluvias, los chubascos y precipitaciones asociados con las tormentas son la manera natural de mantener los recursos hídricos del país. Los estudios enfocados con la observación de humo y brumas pueden brindar un indicio acerca de la calidad del aire en una localidad; asimismo, el conocimiento del comportamiento de nieblas y neblinas puede contribuir a una mejor planificación de cultivos cuyo desarrollo esté vinculado con la humedad ambiente.

El fenómeno meteorológico más estudiado es la *tormenta eléctrica*, desde el punto de vista de su climatología ([WRC, 1942a, 1942b](#); [Byers & Braham, 1949](#); [WMO, 1956](#); [Easterling & Robinson, 1985](#); [Changnon, 1988a, 1988b](#); [Dai, 2001a, 2001b](#)), y las manifestaciones severas de las mismas como tornados y granizos. Algunos estudios más recientes, con datos extraídos de las redes de detección de rayos ([Huffines & Orville, 1999](#); [Orville et al., 2002](#); [Lay et](#)

[al., 2007](#); [Ntelekos et al., 2007](#); [Rodger et al., 2009](#)), y fotografías espaciales dadas por los dispositivos OTD y LIS ([Pessi & Businger, 2009](#)), muestran resultados coincidentes con los obtenidos en las observaciones de estaciones de superficie, pero caracterizan también las zonas donde estas no existen. También se ha desarrollado el análisis de las nieblas y neblinas como mecanismo reductor de la visibilidad, sobre todo en su relación con los transportes aéreo, marítimo y terrestre ([Ledesma & Baleriola, 2003](#)). Asimismo, la modelación y el pronóstico de las nieblas para localidades específicas es una temática muy estudiada en la actualidad ([Bergot & Guedalia, 1994](#); [Tardif, 2004a, 2004b](#)).

En sus trabajos, además de las tormentas, [Dai \(2001a, 2001b\)](#), analiza la distribución espacial de las lloviznas, los chubascos y la lluvia; extrae la información de los registros de tiempo presente y encuentra los diferentes comportamientos, muchas veces determinados por la relación entre mares y tierras, y según la época del año.

En Cuba, el estudio más abarcador sobre aspectos climáticos de fenómenos y variables meteorológicas es el presentado por [Lapinel \(1994\)](#), en el cual se describe el comportamiento de distintos fenómenos, con énfasis en las tormentas eléctricas.

De igual modo, para localidades específicas del país se han estudiado las tormentas y los fenómenos reductores de la visibilidad, como nieblas y brumas ([Alfonso, 1980, 1994](#); [Alfonso & Florido, 1993](#)).

[Álvarez et al. \(2005, 2006a\)](#), trabajaron con los datos de tiempo presente actualizados de 63 estaciones con vistas a caracterizar la distribución espacial, la regionalización, la marcha diaria, la tendencia y la relación con la lluvia de las tormentas eléctricas. En este estudio, la marcha anual arrojó que las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas día a día presentan máximos en los meses de verano, y su marcha se diferencia entre las estaciones de la región occidental, donde son unimodales, y la región oriental, donde son bimodales, muy parecidas a la marcha anual de los acumulados de precipitación. Con posterioridad, se efectuó un estudio general de las nieblas y neblinas ([Álvarez et al., 2009, 2011a, 2011b](#)), y se concluyó que ambos fenómenos eran más característicos en invierno, en particular de los primeros meses del año, aunque la diferencia estacional era menos marcada en las neblinas que en las nieblas. Por último, se actualizó el estudio de la distribución espacial de las tormentas eléctricas, con la aplicación de técnicas de interpolación inteligente ([Álvarez et al., 2012a, 2012b, 2015](#)), como parte de esta investigación, se consideró el comportamiento de la marcha anual a partir de la ocurrencia mensual. Mediante un análisis de *cluster* se constató que los meses se agruparon en: verano (junio-septiembre), invierno (enero-abril, noviembre y diciembre) y meses de transición (mayo y octubre), y a partir de esta clasificación, se hallaron grupos de asociación entre estaciones, según la ocurrencia máxima, mínima o media para cada período.

En dos regiones del país se realizaron estudios del comportamiento de diferentes fenómenos a partir de los datos de código de estado de tiempo presente; estas son el ecosistema costero Sabana-Camagüey ([Álvarez et al., 2006b](#)), y Gibara, en la provincia de Holguín, asociados al aprovechamiento de la energía eólica ([Álvarez et al., 2008](#)).

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la marcha anual de la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos clasificados como “cielos despejados”, “humo”, “brumas”, “neblinas”, “nieblas”, “relámpagos”, “lluvias”, “chubascos” y “tormentas eléctricas” para cada estación meteorológica del país.

Materiales y Métodos

Fuentes de información

La base fundamental de información utilizada en el presente estudio son los registros de código de estado de tiempo presente para 68 estaciones en todo el país. La distribución espacial de las estaciones utilizadas se muestra en la figura 1.

Para analizar la marcha anual se utilizará el período 1989-2010 (22 años), tal como se recomendó en un estudio previo de calidad de la información y la marcha interanual ([Álvarez et al., 2014a, 2014b](#)), período en el cual se tiene 84 % de la información posible, afectado fundamentalmente por la falta de información en horarios de la noche y la madrugada, aunque estas faltas no introducen sesgo mensual, sobre todo si se tiene en cuenta que se trabajará con frecuencias para todo el período estudiado. No obstante, con miras a caracterizar los casos particulares en los cuales la falta de información podría introducir sesgo mensual, se procedió a evaluar el porcentaje de información útil mes a mes, valorar los casos en que esta se hallaba por debajo de 90 %, 80 % y 70 % e identificar la causa de estos faltantes.

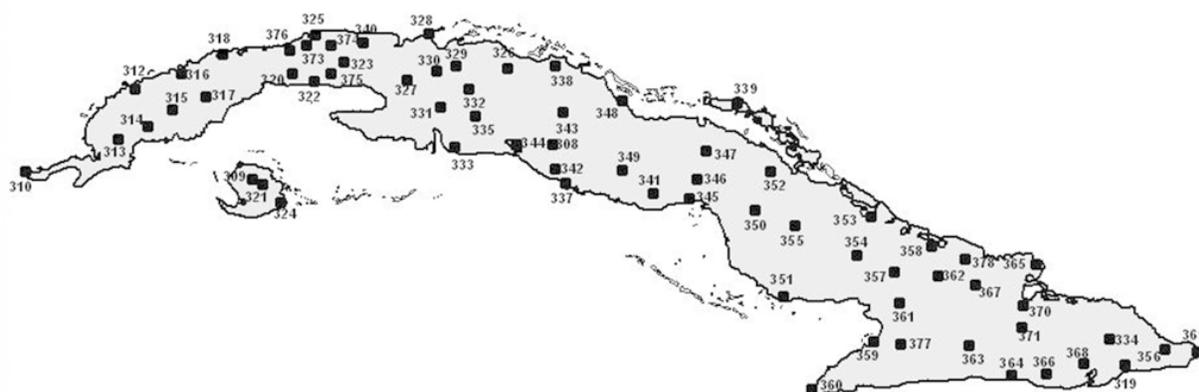


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones utilizadas en el estudio

La causa de datos faltantes más frecuente fue provocada por períodos de cierre de las estaciones, en los cuales, para el mismo año, existían meses con información y otros sin esta. Como resultado del análisis se tomaron las determinaciones siguientes:

- Estación 309: Dado que faltaban meses completos en 2003, trabajar con los años 2004 a 2010.
- Estación 319: Dado que faltaban meses saltados en todo el período hasta 2004, trabajar con los años 2005 a 2010.
- Estación 331: Dado que faltaban casi completos los años de 2005 a 2008, trabajar con los períodos 1989-2004 y 2009-2010.
- Estación 334: Dado que existen meses completos que faltan en 1993 y 1994, trabajar el período 1995- 2010.
- Estación 356: Dado que faltaban meses saltados en todo el período hasta 2000, trabajar con los años 2001 a 2010.
- Estación 372: Esta, en este trabajo, se refiere a la vieja estación La Sabana. Como cerró en 1993 y en el período 1989-1993, presenta muchos meses ausentes o incompletos, por lo cual se tomó la determinación de eliminarla como fuente de información en el estudio. Posteriormente, el código 372 fue asignado a la estación Pedagógico, en la provincia de Holguín, pero, para este estudio, aparecerá con el código 367, que no se había asignado

a ninguna estación cubana, puesto que en la base no puede existir el mismo identificador para dos estaciones.

- Estación 373: Dado que faltaban cinco meses de 2008 y el año 2007 completo, se trabajará con los períodos 1989-2006 y 2009-2010. Por la ausencia de datos en la noche y la madrugada (01, 04 y 22 hora local), la estación se ha visto afectada la mayoría de los años, aunque ello no introduce sesgo mensual.

Para el estudio de la marcha anual se utilizaron los períodos presentados en la tabla 1; existen estaciones que empiezan en años diferentes a 1989 porque su creación fue posterior a este año. Asimismo, la tabla muestra el porcentaje de información útil, que es la relación entre la información disponible y la posible, expresada en porcentaje. Los valores por debajo de 90 % se deben a la ausencia de datos en horarios de la noche y la madrugada, pero no introducen sesgo mensual.

En general, 63.2 % de las estaciones tienen 90 % y más de información útil, 5.9 % lo tiene entre 80 % y 90 %, y 30.9 % está por debajo de 80 %, aunque solo una, la 373, está por debajo de 70, con 67.5 %. Los datos fueron tomados de la Base de Datos Nueva_THOR ([Álvarez et al., 2014b](#)), implementada en MS-ACCESS para su gestión.

Tabla 1. Períodos de estudio y porcentaje de información útil para las 68 estaciones utilizadas en el estudio de la marcha anual de frecuencia de ocurrencia de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente

Estación	Período	% Información útil	Estación	Período	% Información útil
308	2006-2010	99.8	344	1989-2010	94.2
309	2004-2010	99.6	345	1989-2010	72.3
310	1989-2010	99.0	346	1989-2010	98.4
312	1989-2010	95.6	347	1989-2010	98.5
313	1989-2010	95.4	348	1989-2010	99.6
314	1989-2010	78.2	349	1989-2010	98.2
315	1989-2010	99.0	350	1989-2010	77.8
316	1989-2010	98.2	351	1989-2010	86.1
317	1989-2010	96.6	352	1989-2010	79.2
318	1989-2010	99.7	353	1989-2010	88.5
319	2005-2010	98.7	354	1989-2010	74.8
320	1989-2010	91.0	355	1989-2010	99.8
321	1989-2010	97.9	356	2001-2010	99.8
322	1989-2010	79.1	357	1989-2010	94.3
323	1989-2010	75.4	358	1989-2010	98.9
324	1989-2010	76.8	359	1989-2010	95.7
325	1989-2010	99.7	360	1989-2010	98.9
326	1989-2010	99.4	361	1989-2010	71.2
327	1989-2010	99.0	362	1989-2010	72.2
328	2003-2010	99.8	363	1989-2010	97.4
329	1989-2010	71.6	364	1989-2010	98.9
330	1989-2010	98.2	365	1989-2010	97.8
331	1989-2004 2009-2010	78.0	366	1989-2010	98.7
332	1989-2010	98.2	367	1993-2010	93.7
333	1989-2010	98.2	368	1989-2010	99.4
334	1995-2010	99.8	369	1989-2010	99.0
335	1989-2010	81.2	370	1989-2010	74.9
337	1989-2010	90.9	371	1989-2010	76.7
338	1989-2010	99.0	373	1989-2006 2009-2010	67.5
339	1990-2010	99.0	374	1989-2010	75.2
340	1989-2010	81.0	375	1989-2010	77.9
341	1989-2010	96.9	376	1989-2010	70.1
342	1989-2010	79.5	377	1989-2010	79.0
343	1989-2010	99.1	378	1989-2010	73.4

Selección de los códigos asociados a los fenómenos y variable de estudio

Para la identificación de los nueve fenómenos estudiados a partir del código de estado de tiempo presente se tomaron los valores de código, según la tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del *Manual de claves* (OMM, 2010), cuya identificación se recoge en la tabla 2. Los códigos no representados en la tabla 2 se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región analizada.

A diferencia de lo definido en el estudio de la marcha interanual (Álvarez *et al.*, 2014a), se unieron los códigos relativos a *lluvias* sobre la estación y *lluvias lejanas* en aras de ganar en número de casos y representatividad. Además, los otros fenómenos no presentan esta diferencia, incluso las tormentas que se identifican por escuchar el trueno tienen un horizonte mayor que el de los otros meteoros.

La variable de trabajo será la “frecuencia de ocurrencia de observaciones asociadas a determinado fenómeno”, dado como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno sobre el número total de observaciones válidas.

El hecho de trabajar con frecuencias relativas de ocurrencia o probabilidades solventa, en gran medida, la falta de información, puesto que, como se divide por el número de observaciones válidas, la ausencia de datos en algunos períodos puede compensarse aquellos en los cuales sí existe; además, al ser espacios ortonormales siempre son válidas las comparaciones entre diferentes conjuntos de datos (Álvarez, 2006).

Metodología para el análisis de la marcha anual

Para el análisis de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de determinado fenómeno se realizarán los pasos siguientes:

1. Calcular el número de casos por cada fenómeno clasificado para cada mes del año en el período de estudio definido para cada estación, y dividirlo por el número de casos válidos correspondientes para calcular la frecuencia de ocurrencia.
2. Calcular la frecuencia de ocurrencia mensual para todas las estaciones, cada una en su período de estudio, y graficarla, con miras a tener una representación general de la marcha anual del fenómeno.

Tabla 2. Fenómenos meteorológicos utilizados en el estudio y códigos de estado de tiempo presente que los describen

Fenómeno	Códigos de estado de tiempo presente
Cielos despejados	00. 01. 02. 03
Humo	04
Bruma	05
Neblinas	10
Nieblas	11. 12. 28. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49
Relámpago visible	13
Lluvias	14. 15. 16. 21. 23. 24. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69
Chubascos	18. 25. 26. 27. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90
Tormentas	17. 29. 91. 92. 95. 96. 97. 99

3. A partir de la frecuencia de ocurrencia por meses para las 68 estaciones estudiadas, realizar un análisis de *cluster* jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma, que considera las estaciones como variables y los meses como individuos. Se utilizarán distancias euclidianas y el método de enlace, o de promedio pesado de pares de grupos (donde se tiene en cuenta la distancia promedio de todas las posibles distancias entre puntos de uno y otro grupo, de acuerdo con un peso), o el método de Ward (en cada paso de enlace se exige la unión de grupos que minimicen la suma de las varianzas sobre todos los grupos) para el cálculo de las distancias entre grupos, según podían distinguirse mejor las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogerá tal que la distancia entre elementos de un mismo grupo sea menor que la distancia entre grupos o *clusters*.
4. Como en estos casos la mayor diferencia está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno en estudio, para cada estación, por meses, se calculará la frecuencia de ocurrencia normalizada, lo cual permitirá analizar la marcha, más que por su forma, por la ocurrencia o no del fenómeno.
5. Para cada mes de cada estación se clasificará con valores de 1 a 3, según tres intervalos equivalentes de ocurrencia (terciles) obtenidos de la serie de las 68 estaciones para un mes, con lo cual se determinará si con respecto a un mes específico alguna estación posee una ocurrencia baja, media o alta con respecto a las demás estudiadas.
6. Calcular el valor promedio de los terciles para cada grupo de meses definidos según el análisis de *cluster* descrito.
7. Con los valores terciles promedio se realizará un nuevo análisis de *clusters* en el cual se considerarán los terciles promedio como variables y las estaciones como individuos. Se utilizarán distancias euclidianas y el método de enlace de varianza mínima o método de Ward, que es muy robusto para encontrar asociaciones entre grupos.
8. Graficar las marchas anuales promedio por cada grupo con vistas a establecer sus diferencias.
9. A partir de los grupos de estaciones obtenidos, buscar alguna regionalización de los comportamientos anuales mediante su representación en un mapa.
10. Esta metodología tiene como antecedente la utilizada por [Álvarez et al. \(2015\)](#), para el análisis de la marcha anual de las tormentas, con algunos cambios y generalizada para todos los fenómenos estudiados.

Resultados y Discusión

Los *cielos despejados*, aunque tienen una ocurrencia significativa en todos los meses del año, son más característicos que los de invierno, con máximos en enero y diciembre (Figura 2).

De acuerdo con la metodología expuesta en “Materiales y Métodos”, y para los cielos despejados como primer grupo de códigos, el análisis de *cluster* que utiliza los meses como individuos arroja tres grupos: dos bien diferenciados, uno de estos que agrupa los meses de junio a septiembre y otro que se subdivide en dos, uno que agrupa los meses de enero a abril, noviembre y diciembre, y otro que agrupa a mayo y octubre.

Este comportamiento es similar al encontrado para el período 1989-2008 en el caso de las tormentas (Álvarez *et al.*, 2015), aunque sus curvas de ocurrencia normalizada suelen ser contrarias, es decir, donde una alcanza el máximo, la otra alcanza el mínimo, y viceversa, y en mayo y octubre existe un equilibrio. La figura 3 muestra el resultado del análisis de *clusters*.

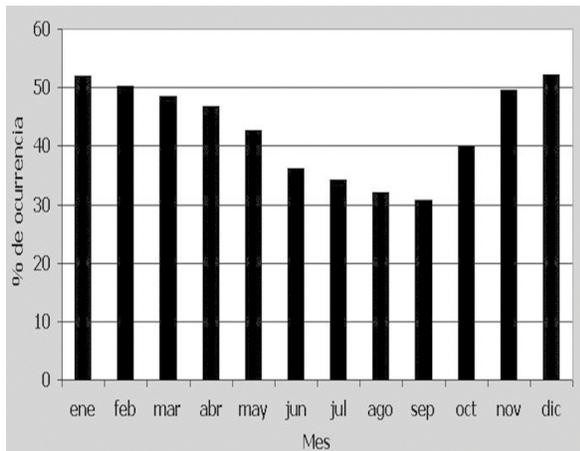


Figura 2. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con cielos despejados para el conjunto de las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

De esta asociación en grupos de meses, se seleccionan tres nuevas variables, correspondientes al promedio de “terciles” calculados de la frecuencia mensual normalizada para cada grupo definido y el análisis de *cluster* practicado a estas variables. Considerando las estaciones como individuos se obtiene lo que presenta la figura 4.

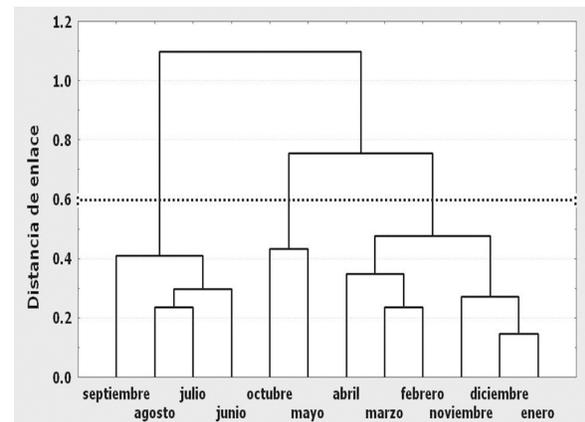


Figura 3. Dendrograma para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con cielos despejados mensuales en el período 1989-2010, teniendo como individuos los meses y como variables las 68 estaciones en estudio

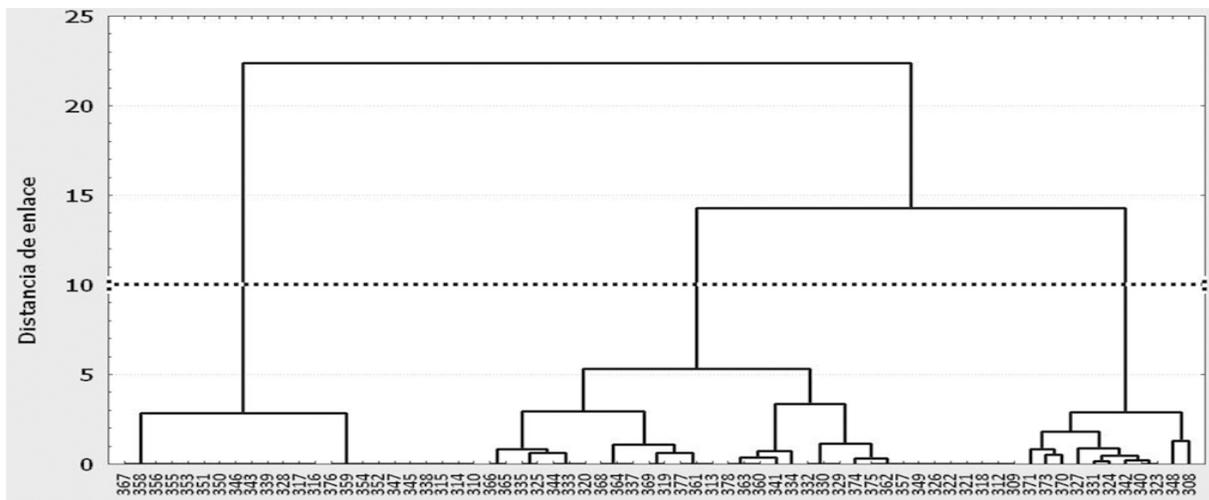


Figura 4. Dendrograma para la frecuencia de ocurrencia de observaciones mensuales con cielos despejados en el período 1989-2010, teniendo como individuos las estaciones meteorológicas y como variables los valores medios de los terciles calculados a partir de la frecuencia de ocurrencia normalizada para los grupos de meses obtenidos en el análisis de *cluster* anterior

Pueden identificarse tres grupos bien definidos. Si se grafican las marchas anuales promedio para todos los individuos de cada grupo, que son las estaciones meteorológicas, se obtiene el comportamiento que muestra la figura 5.

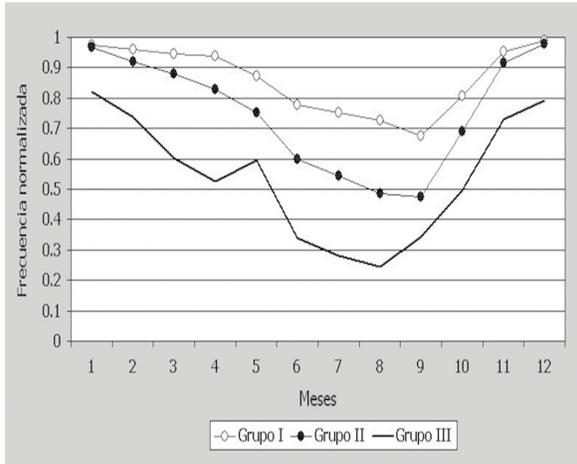


Figura 5. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de cluster del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de los cielos despejados

En esta figura se constata que las curvas, aunque resultan bastante similares en su forma, presentan valores de frecuencia mensuales más bajos o altos, en dependencia del grupo. El grupo I muestra inviernos con gran incidencia, caracterizados por valores altos de enero a abril, noviembre y diciembre, y un decrecimiento no muy marcado, con un mínimo en septiembre. El grupo II es bastante similar al I, pero sus valores empiezan a decaer desde febrero hasta noviembre, y su diferencia entre veranos e inviernos es mucho más marcada, aunque también presenta un mínimo en septiembre.

El grupo III presenta en toda su marcha valores más bajos que sus antecesores; además, exhibe diferencias entre el invierno y el verano, con máximos en los meses extremos de la marcha, un máximo relativo en mayo y un mínimo absoluto en agosto, a diferencia de los otros grupos.

La figura 6 muestra la distribución espacial de las estaciones por grupos. No se distingue una regionalización clara por grupos.

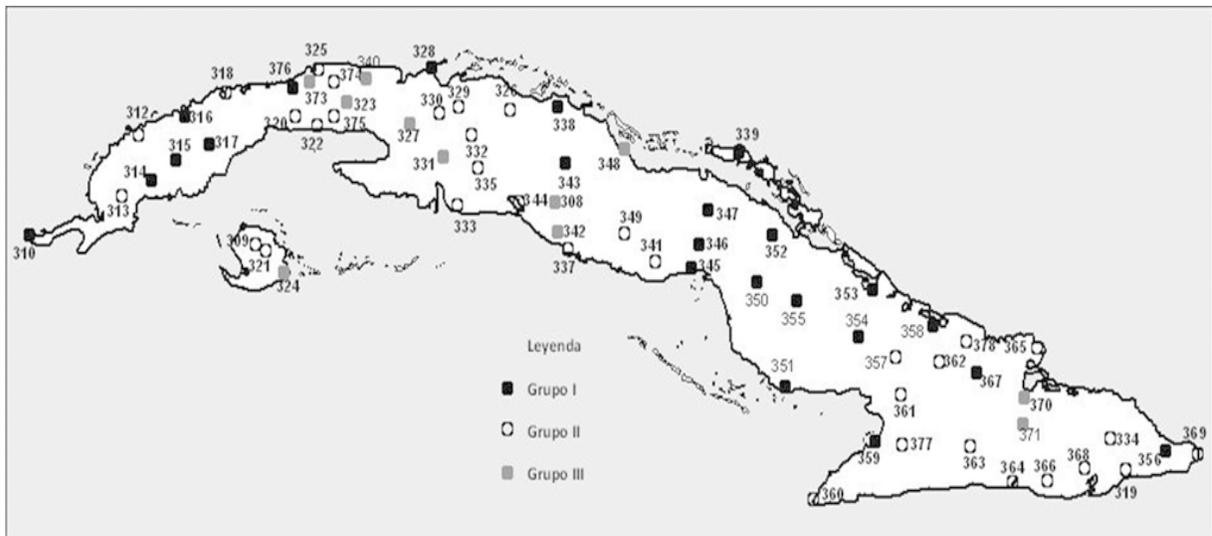


Figura 6. Distribución espacial de las estaciones por grupos clasificatorios de la marcha anual de frecuencia de ocurrencia de cielos despejados

El grupo I parece más característico del centro-sur de la provincia de Pinar del Río y las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey, mientras que el grupo II lo es de Artemisa, el oeste de Matanzas, Villa Clara, Sancti Spiritus, Holguín, centro-norte del Municipio Especial de Isla de la Juventud y la costa sur de la región oriental del país. El grupo III, con menos representatividad, es más abundante en las provincias de Mayabeque, el este de Matanzas, Cienfuegos y el oeste de Holguín.

El comportamiento descrito no presenta una regularidad que pueda asociarse a algún mecanismo físico-climático que provoque características diferentes en las distintas regiones mostradas.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que los cielos despejados no abarcan códigos que deban asumirse con preferencia con respecto a otros fenómenos; por ejemplo, la ocurrencia de nieblas tiene prioridad en la información de tiempo presente, aunque estas y los cielos despejados puedan coexistir durante una observación, por lo cual esta distribución espacial podría responder también a la influencia de otros fenómenos.

El *humo* solo es representativo de cinco estaciones, pues solo en estas su frecuencia de ocurrencia es mayor que 0.1 % del total de las observaciones. Las restantes estaciones presentan casos muy aislados en meses y años dispersos dentro de las series o no presentan observaciones con humo; por ello, se analizarán los cinco casos representativos del fenómeno.

La estación que presenta mayor cantidad de casos de humo es Casablanca (325), con 37.6 % del total de observaciones. La figura 7 muestra la marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada de este tipo de fenómeno.

En la figura 7 se observa que, aunque las observaciones con humo ocurren durante todo el año, existe una diferencia marcada entre el verano, con menos ocurrencia, y el invierno, con más ocurrencia, para la estación; los máximos se alcanzan en enero y diciembre, mientras que el mínimo ocurre en agosto. Este comportamiento no debe responder, a criterio de los autores, a una influencia natural, dado que las fuentes productoras de humo para el horizonte visual de la estación de Casablanca no tienen diferencias estacionales en su producción. Es posible que la ocurrencia de otro fenómeno con código preferente frente al humo provoque una reducción de casos en el verano.

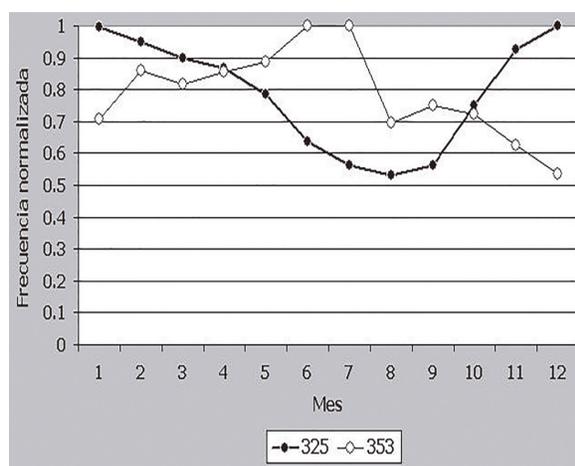


Figura 7. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada de observaciones con humo para las estaciones de Casablanca (325) y Nuevitás (353)

Del análisis de los datos para los veranos en la estación de Casablanca se constata una disminución en la ocurrencia de los casos de cielos despejados y humo, así como un aumento de las brumas y las tormentas, estas últimas con códigos preferentes en relación con las dos primeras.

La estación de Nuevitas (353), con 9.8 % de observaciones con humo del total contabilizado, contrario a Casablanca y a pesar de acumular observaciones con humo durante todo el año, muestra un máximo de ocurrencia en junio y julio, y una disminución progresiva de agosto a diciembre, cuando es mínimo (ver figura 7). Si se compara con la ocurrencia de otros fenómenos, se tiene que presentan marchas aproximadamente contrarias los cielos despejados y los chubascos; este último, resulta un código preferente con respecto al humo. Los cielos despejados podrían ser una consecuencia de la disminución de observaciones con humo o errores en el método de observación.

Las estaciones de Júcaro (345), Venezuela (346) y Santa Cruz (351), con porcentajes de ocurrencia generales de 0.11, 1.75 y 1.73, presentan marchas similares, con una representatividad en los primeros cinco meses del año y una ocurrencia casi nula en los restantes meses (Figura 8), sin que exista una causa conocida para este comportamiento, aunque las ocurrencias absolutas de este fenómeno son muy bajas para estas estaciones, tal como se ha señalado, con un máximo de 6 % del total de observaciones para marzo en la estación 346.

Las *brumas*, aunque tienen una ocurrencia significativa en todos los meses del año, son más características de los meses del período poco lluvioso, con un máximo en abril y valores no marcadamente deprimidos al final del verano, con un mínimo en septiembre (Figura 9). Para el análisis de *cluster* que usa los meses como individuos, este fenómeno presenta tres grupos: dos bien diferenciados, uno de ellos que agrupa marzo y abril, y otro que se subdivide en dos, uno que agrupa de junio a octubre y otro que agrupa a enero, febrero, mayo, noviembre y diciembre.

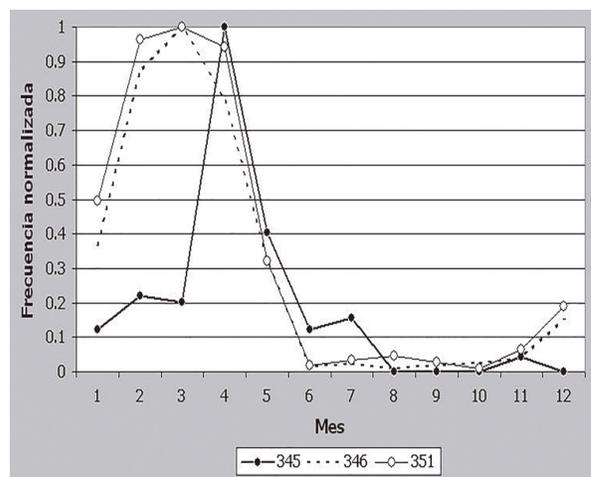


Figura 8. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada de observaciones con humo para las estaciones de Júcaro (345), Venezuela (346) y Santa Cruz (351)

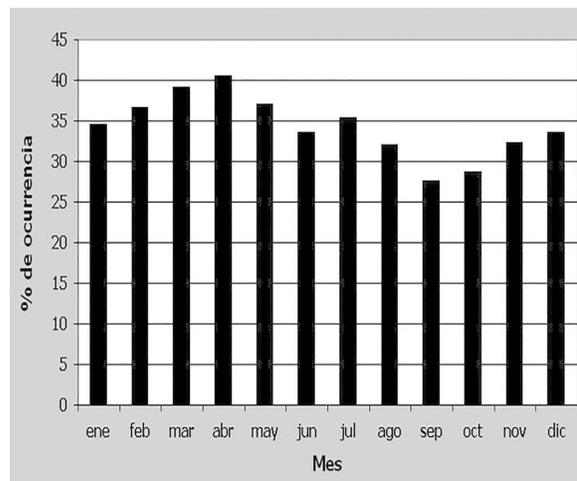


Figura 9. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con brumas para las 68 estaciones en estudio en el período 1989- 2010

Con las variables promedio de terciles para la asociación descrita en grupos de meses, pueden identificarse dos grupos muy bien definidos. Si se grafican las marchas anuales promedio para todos los individuos de cada grupo, que son las estaciones meteorológicas, se obtiene el comportamiento de la figura 10.

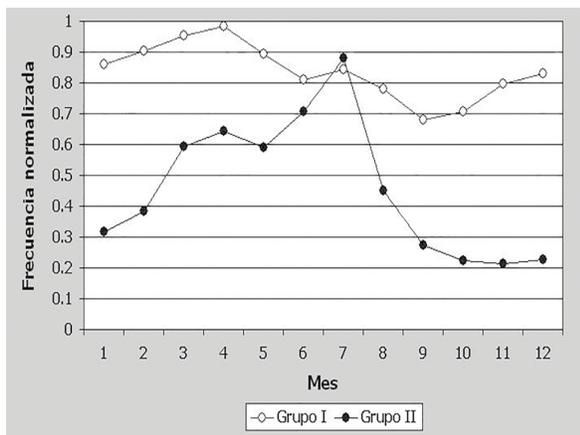


Figura 10. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de las brumas

El grupo I es el que exhibe un mayor número de estaciones (48) y su marcha presenta una ocurrencia bastante pareja durante todo el año, aunque existe una ligera disminución entre junio y noviembre. El mínimo absoluto está en septiembre, y el máximo en abril.

El grupo II, al que pertenecen 19 estaciones, muestra frecuencias de ocurrencia más bajas y su marcha anual presenta cada

mes un crecimiento hasta julio, cuando es máxima, y un mínimo relativo no muy marcado en mayo; a partir de entonces, comienza a disminuir formando una especie de campana. En general, la mayor ocurrencia está entre marzo y julio, a pesar del mínimo relativo en mayo.

La estación de Palo Seco (354) no presentó ninguna observación de bruma en el período de estudio.

La figura 11 muestra la distribución espacial de cada estación por grupos. Se distingue una regionalización, pues, aunque el grupo I presenta el mayor número de estaciones, el grupo II se distribuye en áreas bien definidas: en el este de la provincia de Pinar del Río, y en las provincias de Ciego de Ávila y Camaguey.

Al igual que con los cielos despejados, el comportamiento descrito para la distribución espacial de la marcha anual de la brumas no se distingue una regularidad que pueda asociarse con algún mecanismo físico-climático que provoque características diferentes en las distintas regiones mostradas.

Las *neblinas*, en general, presentan ocurrencias por debajo de 10 % del total de observaciones mensuales; su marcha anual,

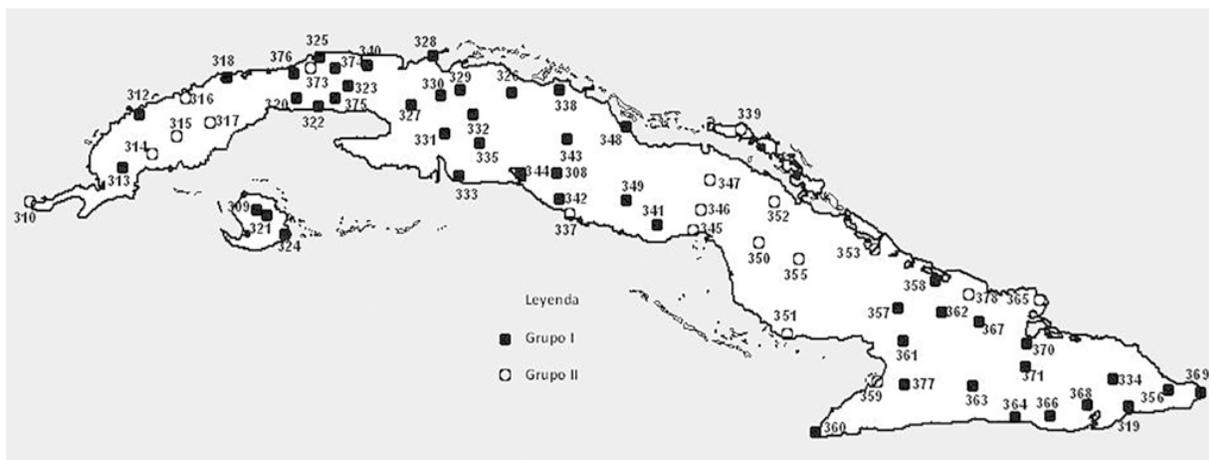


Figura 11. Distribución espacial de las estaciones por grupos clasificatorios de la marcha anual de frecuencia de ocurrencia de brumas

aunque tiene mayoría de ocurrencia en invierno, especialmente en enero, febrero y diciembre, no exhibe una diferencia marcada entre el verano y el invierno.

El mínimo ocurre en mayo, junio y julio. La figura 12 muestra la representación de este ciclo.

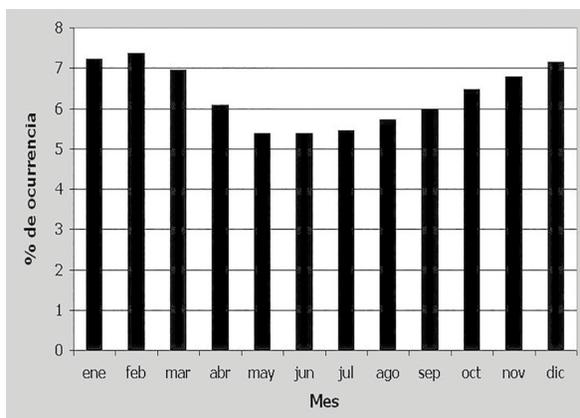


Figura 12. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con neblinas para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

En el estudio de *cluster* donde los meses son los individuos se definieron tres grupos: uno agrupaba de enero a abril; el otro, de mayo a septiembre; y el último, de octubre a diciembre.

El estudio de agrupamientos donde las estaciones eran los individuos arrojó tres grupos: uno de 19 estaciones, otro de 24 y un último de 25. La figura 13 muestra las marchas anuales medias de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo. Conforme al comportamiento de su marcha general, las neblinas exhiben valores más altos en el invierno y más deprimidos en el verano, y los diferentes grupos se diferencian, fundamentalmente, en su ocurrencia en el verano. El grupo I presenta valores de ocurrencia altos casi todo el año, con poca diferencia entre el verano y el invierno, a

diferencia del grupo II, donde los contrastes son bien marcados y la depresión dura hasta final de año; el mínimo absoluto se produce en agosto, mientras que el máximo ocurre en febrero. En el grupo III se distingue una marcha intermedia entre los grupos anteriores, con el verano más deprimido que el invierno y un mínimo absoluto en julio.

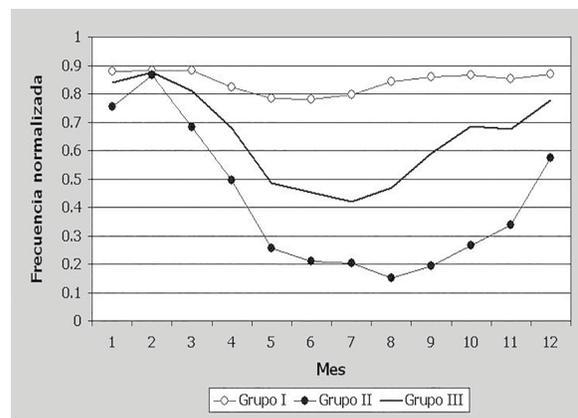


Figura 13. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de las neblinas

La distribución espacial no muestra regiones muy definidas para cada grupo, aunque existen áreas, como la Isla de la Juventud, donde sus tres estaciones pertenecen al grupo II y las provincias de Artemisa y Mayabeque, que en su mayoría pertenecen al grupo I.

Las *nieblas* (Figura 14) son un fenómeno típico del invierno, en lo fundamental, enero, febrero y diciembre. Se trata de un fenómeno de baja ocurrencia, con un máximo mensual de 2.5 % del total de observaciones mensuales para enero, y un mínimo absoluto en julio.

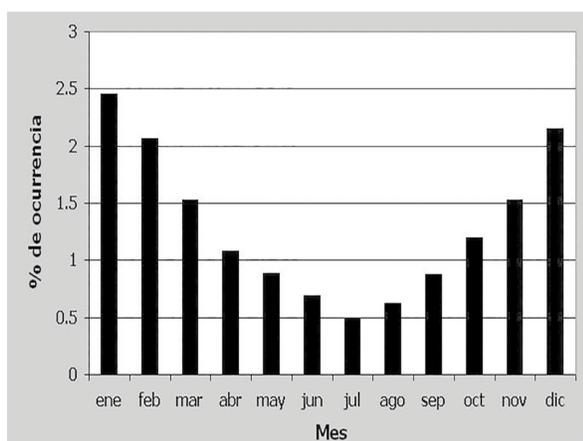


Figura 14. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con nieblas para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

El análisis de *cluster* con los meses como individuos mostró dos grupos bien diferenciados entre período poco lluvioso (enero-abril, noviembre diciembre) y el lluvioso (mayo-octubre). Cuando se evalúan los agrupamientos con las estaciones como individuos se obtienen tres grupos de 34, 13 y 24 estaciones, respectivamente. La figura 15 resume las marchas promedio de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo. En el caso de las nieblas, el grupo I presenta gran ocurrencia en el invierno, sobre todo en los meses del comienzo de año y desciende en el verano. El grupo II, aunque exhibe diferencias entre los períodos lluvioso y poco lluvioso, estas no son tan marcadas y con respecto a los otros dos grupos muestra una mayor ocurrencia en el verano. El grupo III es bastante semejante al grupo I, pero su ocurrencia es menos acentuada en el invierno; de hecho, los valores más significativos de ocurrencia ocurren solo para enero, febrero y diciembre.

La distribución espacial de los grupos de comportamiento de la marcha anual no muestra, en general, una regionalización, pero

existen áreas con un número importante de estaciones pertenecientes al mismo grupo. El grupo I, con ocurrencias altas en el invierno y bajas en el verano, abunda en las provincias de Artemisa, Mayabeque, Matanzas, parte de Villa Clara, el interior de Las Tunas y Holguín.

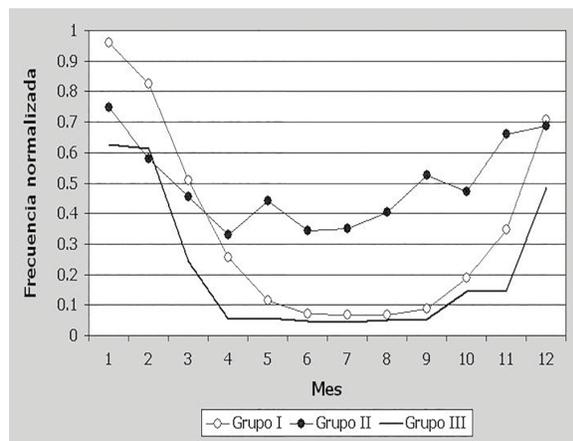


Figura 15. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de las nieblas

El grupo II parece más característico del interior del país, mientras que el grupo III se ajusta a las zonas más costeras.

Para todas las observaciones, la marcha anual de las *lluvias* (Figura 16) muestra un comportamiento parecido al de los acumulados de precipitación en Cuba ([Lapinel, 1994](#)), con mayor ocurrencia en el período de mayo a octubre, y un mínimo relativo (sequía interstival) en julio y agosto, aunque, en este caso, cuando ocurren las lluvias extienden el período de mayor actividad hasta diciembre, y los valores registrados para los cuatro primeros meses del año son del orden, y en algunos casos mayores, que los de los meses de medio verano (julio y agosto). Esto puede estar relacionado con la presencia de frentes fríos en el período poco lluvioso y ser estos sistemas productores de esta forma de lluvia no convectiva.

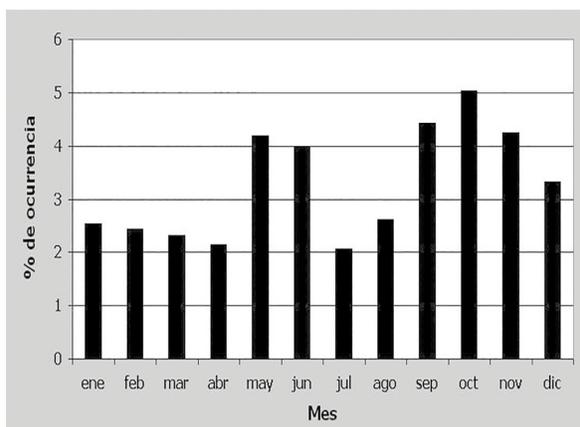


Figura 16. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con lluvias para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

El análisis de *cluster* con los meses como individuos muestra dos grupos bien diferenciados por su nivel de ocurrencia: el primero contempla a enero a abril, julio y agosto, de menor ocurrencia, y el segundo está integrado por mayo, junio y septiembre a diciembre, con mayor ocurrencia. Cuando se evalúan los agrupamientos con las estaciones como individuos se obtienen tres grupos de 25, 23 y 20 estaciones, respectivamente. La figura 17 resume las marchas promedio de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo.

El grupo I para las lluvias presenta una forma similar a la marcha general, pero los valores de frecuencia normalizada son los más bajos de los tres grupos. El grupo II es muy similar al grupo I en los meses de menor ocurrencia, pero en los de mayor ocurrencia sus frecuencias normalizadas son superiores. El grupo III resulta bastante similar al grupo II, pero supera los valores de frecuencia normalizada en los meses de ocurrencia más baja, contrario a las diferencias entre los grupos I y II.

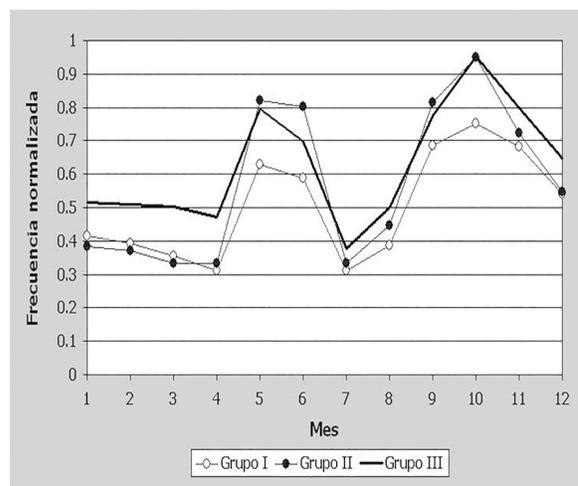


Figura 17. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de las lluvias

En todos los casos, el mínimo absoluto está en julio y el máximo ocurre en octubre.

La distribución espacial de los grupos de comportamiento de la marcha anual (Figura 18) muestra cierta regularidad para las lluvias. En la región occidental predominan los grupos I y III, pero el I en el sur y el III en el norte del territorio; en la región oriental también prevalecen estos grupos, pero el I en el norte y el III en el sur; y en la región central existe mayoría para el grupo II. Este comportamiento podría ser causado por la afectación de frentes fríos a la región occidental y de ondas del este en el sur de la región oriental.

Los *chubascos* (Figura 19) tienen un máximo mensual inferior a 2.5 % del total de las observaciones. Su marcha muestra valores mayores de ocurrencia en los cuatro últimos meses del año, con máximos en octubre y noviembre, y un mínimo en julio.

Sin embargo, el análisis de *cluster* con los meses como individuos muestra dos grupos: el primero está compuesto por enero, octubre, noviembre y diciembre, y el segundo agrupa de febrero a septiembre.

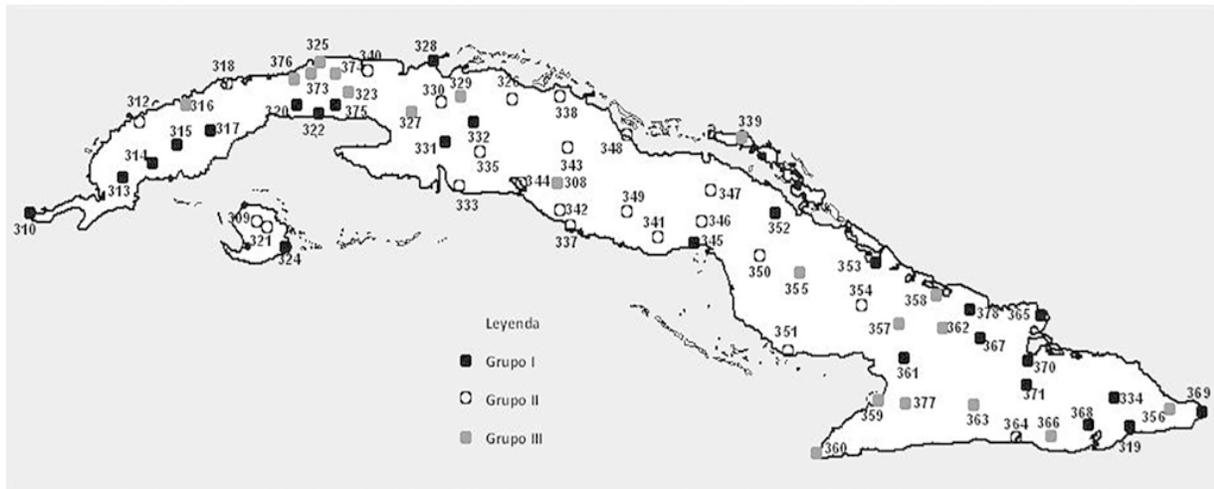


Figura 18. Distribución espacial de las estaciones por grupos clasificatorios de la marcha anual de frecuencia de ocurrencia de lluvias

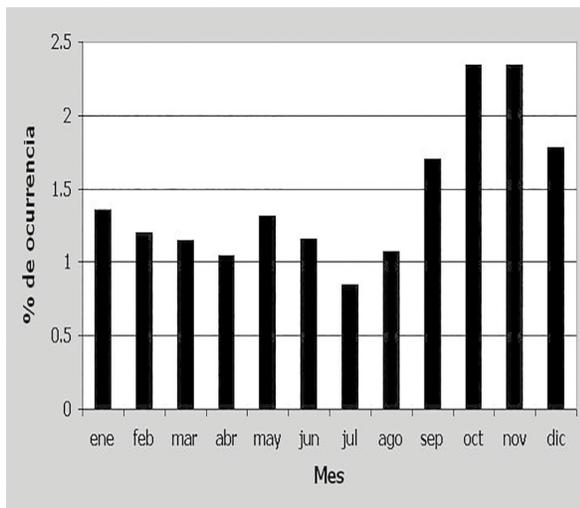


Figura 19. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con chubascos para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

Cuando se evalúan los agrupamientos con las estaciones como individuos se obtienen cuatro grupos de 26, 14, 17 y 11 estaciones, respectivamente. La figura 20 resume las marchas promedio de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo.

La diferencia entre los grupos no es marcada y gira fundamentalmente en valores más bajos o más altos de la frecuencia normalizada.

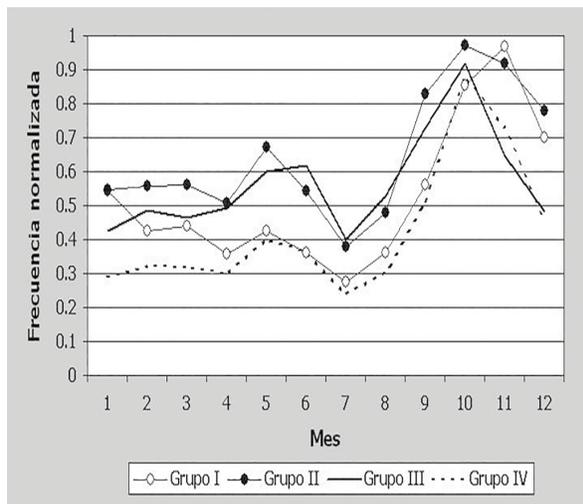


Figura 20. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de los chubascos.

Los grupos I y IV presentan, tanto para los meses de alta, como los de baja ocurrencia, una frecuencia normalizada menor que los grupos II y III, y se diferencian entre sí en los valores para el período invernal.

Los grupos II y III, con valores de frecuencia normalizada más altos, se distinguen por su comportamiento en los dos últimos meses del año.

En todos los casos, el mínimo se localiza en julio y el máximo en octubre, con la excepción del grupo I, en el cual ocurre en noviembre.

La distribución espacial de los grupos de comportamiento de la marcha anual no muestra regularidad para los chubascos; resalta solamente el área del norte de las provincias de Ciego de Ávila, Camagüey y Holguín, donde abundan estaciones del grupo I.

El *relámpago visible* es un fenómeno más apreciable en horas de la noche, por lo cual la ausencia de datos en los horarios de la noche y la madrugada en el período analizado podría conllevar algunas particularidades en el proceso de estudio de su marcha anual. En el mes de máxima ocurrencia, el relámpago puede alcanzar alrededor de 17 % del total de observaciones; su marcha anual general muestra máximos en verano, fundamentalmente entre junio y octubre, con un máximo en septiembre y un mínimo en febrero (Figura 21).

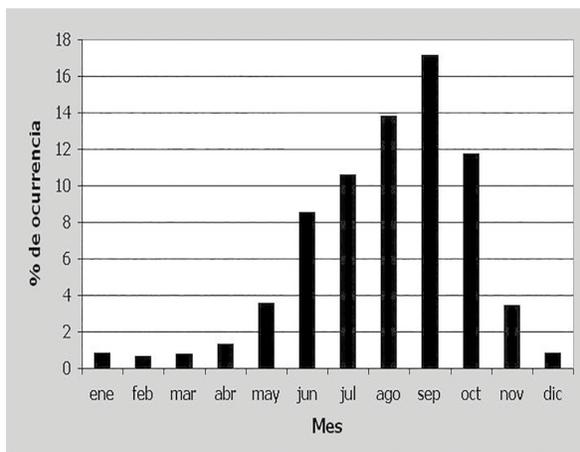


Figura 21. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con relámpago visible para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

El análisis de *cluster* con los meses como individuos presenta dos grupos: el primero está compuesto por enero a mayo, noviembre y diciembre, y el segundo agrupa de junio a octubre. Cuando se evalúan los agrupamientos con las estaciones como individuos, pero usando los terciles medios calculados a partir de las frecuencias normalizadas, no pueden diferenciarse grupos de forma concluyente, por lo cual se procedió a realizar el análisis de *cluster* con las propias frecuencias normalizadas, y se identificaron dos grupos de 42 y 26 estaciones, respectivamente. La figura 22 presenta las marchas promedio de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo.

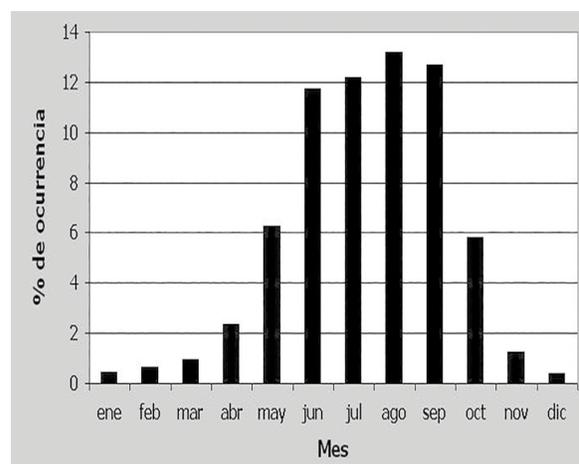


Figura 22. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificados en el análisis de *cluster* utilizando las propias frecuencias normalizadas para los grupos de meses en el caso del relámpago visible

La diferencia entre los grupos no es marcada y su principal discrepancia es que en los meses de junio a agosto el grupo I tiene valores de ocurrencia superiores al grupo II, mientras que en los meses de octubre a diciembre, el grupo II es ligeramente mayor que el grupo I.

La distribución espacial de los grupos de comportamiento de la marcha anual muestra dos regiones diferenciadas: la mitad occidental del país, hasta la provincia de Ciego de Ávila, incluyendo la Isla de la Juventud, donde son mayoría las marchas asociadas con el grupo I, y la mitad oriental, en la cual predominan las del grupo II.

En el sur de las provincias de Granma y Santiago de Cuba existen algunas estaciones del grupo I. Este comportamiento podría estar vinculado con la mayor ocurrencia de tormentas en julio y agosto para la parte occidental; de modo que en su distribución anual no se observa un mínimo relativo en esos meses (Álvarez, 2006; Álvarez et al., 2015).

Las *tormentas* son características del período lluvioso del año, con un máximo en agosto (Figura 23). En el mes de mayor ocurrencia se contabiliza alrededor de 13 % de las observaciones válidas.

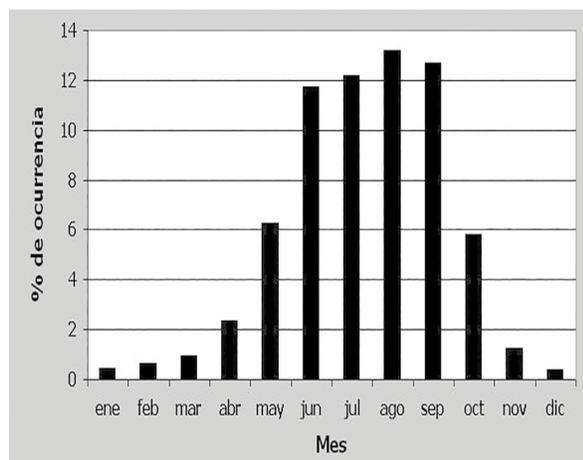


Figura 23. Marcha anual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormentas para las 68 estaciones en estudio en el período 1989-2010

El análisis de *cluster* con los meses como individuos muestra tres grupos: el primero está compuesto por junio a septiembre; el segundo, que agrupa de enero a abril, noviembre y diciembre; y el tercero, integrado por los meses de transición mayo y octubre. En este caso, existe una coincidencia con estudios anteriores (Álvarez et al., 2015), en los cuales se obtuvieron agrupaciones similares. Cuando se evalúan los agrupamientos con las estaciones como individuos, pero usando los terciles medios calculados a partir de las frecuencias normalizadas, se identificaron dos grupos de 47 y 21 estaciones, respectivamente. La figura 24 muestra las marchas promedio de frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo.

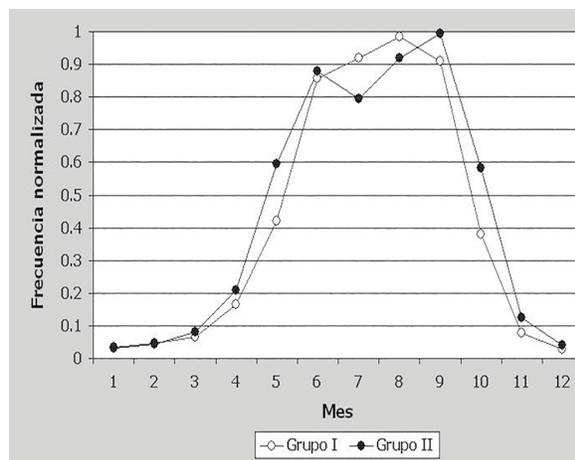


Figura 24. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia normalizada para cada grupo identificado en el análisis de *cluster* del valor medio de los terciles para grupos de meses en el caso de las tormentas

La diferencia fundamental entre los dos grupos es la presencia, para el grupo II, de un mínimo relativo en julio, lo cual hace que la distribución sea bimodal, y un máximo absoluto para septiembre. A diferencia de esto, el grupo I presenta una distribución unimodal, con un máximo marcado en agosto.

La distribución espacial de los grupos de comportamiento de la marcha anual (Figura 25), al igual que para el relámpago visible, exhibe dos regiones diferenciadas: la mitad occidental del país, hasta la provincia de Ciego de Ávila, incluyendo la Isla de la Juventud, donde son mayoría las marchas asociadas con el grupo I, y la mitad oriental, en la cual predominan las del grupo II. En el sur de las provincias de Granma y Santiago de Cuba existen algunas estaciones del grupo I.

En general, este comportamiento se relaciona con la influencia que la Alta Permanente de las Azores- Bermudas ejerce sobre la mitad oriental del país, sobre todo en su parte norte, que inhibe los procesos convectivos de formación de nubes de tormenta en julio y agosto ([Lapinel, 1994](#)).

Conclusiones

- ◆ De los fenómenos estudiados, los cielos despejados y las brumas presentan una ocurrencia mensual mayor; son característicos del período poco lluvioso y las diferencias por grupos de estaciones están dadas por la mayor o menor ocurrencia por períodos de actividad.

- ◆ El humo muestra una ocurrencia mayor en las estaciones de Casablanca, en La Habana, en las cuales ocurren máximos en el período poco lluvioso del año, y Nuevitas, en Camagüey, donde las frecuencias son mayores en el período lluvioso. En el resto de las estaciones cubanas, las observaciones con humo están por debajo de 2 % o son nulas.

- ◆ Las neblinas y nieblas presentan una ocurrencia mensual baja y son características del período poco lluvioso, con diferencias estacionales más marcadas para las segundas.

- ◆ Las lluvias muestran valores máximos en el período lluvioso del año, con una baja relativa en julio y agosto, y las diferentes agrupaciones de estaciones se distinguen por la mayor o menor ocurrencia en mayo, junio y octubre. La distribución espacial de estas agrupaciones exhibe áreas comunes distintas para las regiones occidental, central y oriental del país.

- ◆ Los chubascos son mayoría en el último cuatrimestre del año; las marchas anuales de los grupos de estaciones identificadas se diferencian poco, con contrastes puntuales en el nivel de ocurrencia.

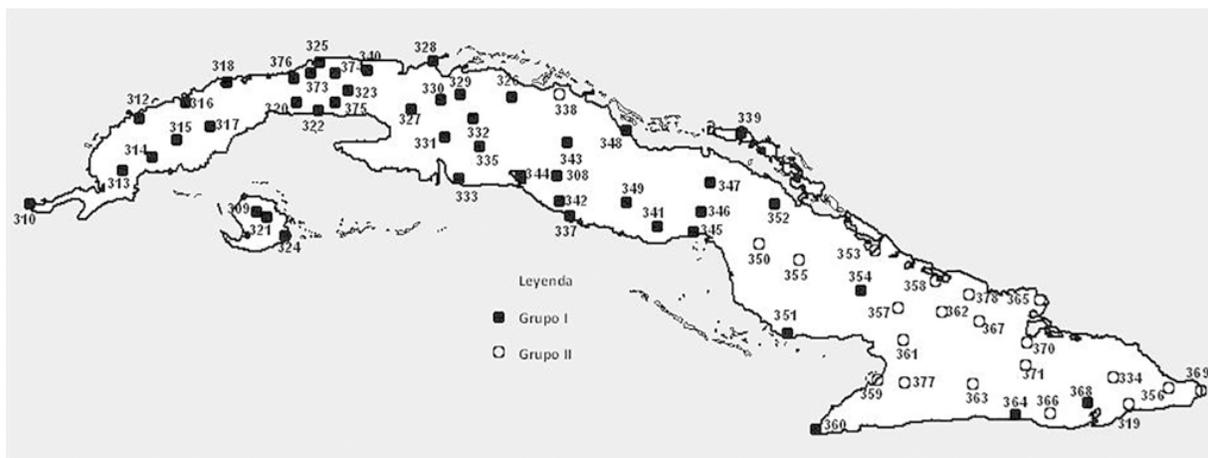


Figura 25. Distribución espacial de las estaciones por grupos clasificatorios de la marcha anual de frecuencia de ocurrencia de las tormentas

El relámpago visible es característico del período lluvioso, y sus diferencias entre grupos de estaciones están dadas por la mayor o menor ocurrencia en junio, julio y agosto.

Las tormentas son máximas en su ocurrencia en el período lluvioso del año; se diferencian en grupos de estaciones las de las regiones occidental y central con respecto a las de la región oriental en el carácter unimodal o bimodal de sus distribuciones.

Referencias

- Alfonso, A. P. 1980. *Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud*. Informe Científico-Técnico, no. 134, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 25.
- Alfonso, A. P. 1994. *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba: cronología*. La Habana, Cuba: Academia, 168 p., ISBN: 978-959-02-0060-1, Google-Books-ID: JIoxNQAACAAJ, Available: <https://books.google.com/cu/books/about/Climatolog%C3%ADa_de_las_tormentas_locales_s.html?id=JIoxNQAACAAJ&redir_esc=y>, [Consulted: October 25, 2016].
- Alfonso, A. P. & Florido, A. 1993. *El clima de Matanzas*. La Habana, Cuba, p. 113.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I. & Álvarez, M. R. 2015. “Estudio de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas”. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2): 3–15, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I.; Álvarez, M. R.; Aenlle, F. L. & Bárcenas, C. M. 2012a. “Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1): 89–99, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I.; Álvarez, M. R.; Aenlle, F. L.; Rivero, L. I.; Iraola, R. C.; Rojas, D. Y. & Hernández, G. M. 2012b. “Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano”. *Revista de Climatología*, 12: 1–21, ISSN: 1578-8768.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I.; Álvarez, M. R. & León, L. A. 2011a. “Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos nieblas y neblinas a partir del código de estado de tiempo presente”. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, (12): 31–46, ISSN: 1729-3790.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I. & Bárcenas, C. M. 2014a. “Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2): 56–69, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, E. L.; Borrajero, M. I. & Bárcenas, C. M. 2014b. “Análisis de la calidad de series largas de registro de código de estado de tiempo presente para las estaciones de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(1): 3–9, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, L. 2006. *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 149 p.
- Álvarez, L.; Borrajero, I. & Álvarez, R. 2006a. “Análisis de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, de tormentas con lluvia y de días con tormenta para el territorio cubano”. *Revista Cubana de Meteorología*, 13(1): 83–94, ISSN: 0864-151X.

- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R. & Aenlle, L. 2008. *Análisis preliminar de la variable estado del tiempo presente para cuatro estaciones relacionadas con el desarrollo eólico en Cuba*. 24, Ecosolar, Available: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar24/HTML/articulo06.htm>>, [Consulted: October 27, 2016].
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L. & Amaro, L. 2006b. “Análisis preliminar del comportamiento de fenómenos meteorológicos significativos en el ecosistema costero Sabana-Camagüey”. *Revista Cubana de Meteorología*, 13(2): 27–41, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L.; Pérez, B.; Fernández, N.; Pérez, M.; Muñiz, L.; Rodríguez, L.; Rodríguez, M.; Iraola, C.; Costales, O.; Cayón, H. & López, L. 2005. *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Informe final de Resultado Científico, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 93.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Rivero, I.; Carnesoltas, M.; Calnick, A.; Guevara, V.; Limia, M.; León, A. & Rojas, Y. 2011b. “Distribución espacial de los fenómenos neblinas y nieblas en Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 17(2): 58–67, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R. & Rojas, Y. 2009. “Estudio preliminar del fenómeno niebla a partir del registro de fenómenos y su relación con la variable código de estado del tiempo presente”. In: *V Congreso de Meteorología*, La Habana, Cuba: GEOTECH, pp. 1456–1466, ISBN: 978-959-7167-20-4.
- Bergot, T. & Guedalia, D. 1994. “Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part I: Numerical Model and Sensitivity Tests”. *Monthly Weather Review*, 122(6): 1218–1230, ISSN: 0027-0644, 1520-0493, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122<1218:NFORFP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122<1218:NFORFP>2.0.CO;2).
- Byers, H. R. & Braham, R. R. 1949. *The Thunderstorm. Report of the Thunderstorm project*. Washington, D.C.: U.S. Govt. Print. Off., 287 p.
- Changnon, S. A. 1988a. “Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part I: Temporal Aspects”. *Journal of Climate*, 1(4): 389–398, ISSN: 0894-8755, 1520-0442, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0389:COTEIT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0389:COTEIT>2.0.CO;2).
- Changnon, S. A. 1988b. “Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part II: Spatial Aspects”. *Journal of Climate*, 1(4): 399–405, ISSN: 0894-8755, 1520-0442, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2).
- Dai, A. 2001a. “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations”. *Journal of Climate*, 14(6): 1092–1111, ISSN: 0894-8755, 1520-0442, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2).
- Dai, A. 2001b. “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations”. *Journal of Climate*, 14(6): 1112–1128, ISSN: 0894-8755, 1520-0442, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2).

- Easterling, D. R. & Robinson, P. J. 1985. "The Diurnal Variation of Thunderstorm Activity in the United States". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(10): 1048–1058, ISSN: 0733-3021, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1985\)024<1048:TDVOTA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1985)024<1048:TDVOTA>2.0.CO;2).
- Huffines, G. R. & Orville, R. E. 1999. "Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96". *Journal of Applied Meteorology*, 38(7): 1013–1019, ISSN: 0894-8763, 1520-0450, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1013:LGFDAT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1013:LGFDAT>2.0.CO;2).
- Lapinel, P. B. 1994. *El clima de Cuba*. La Habana, Cuba: Academia, 186 p., ISBN: 978-959-02-0006-9.
- Lay, E. H.; Jacobson, A. R.; Holzworth, R. H.; Rodger, C. J. & Dowden, R. L. 2007. "Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network: WWLLN-LT VARIATION IN GLOBAL LIGHTNING". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D13), ISSN: 0148-0227, DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2006JD007944>, Available: <http://doi.wiley.com/10.1029/2006JD007944>, [Consulted: October 25, 2016].
- Ledesma, M. & Baleriola, G. 2003. *Meteorología aplicada a la aviación*. 12th ed., Madrid: Thomson Paraninfo, 602 p., ISBN: 978-84-283-2840-1.
- Ntelekos, A. A.; Smith, J. A. & Krajewski, W. F. 2007. "Climatological Analyses of Thunderstorms and Flash Floods in the Baltimore Metropolitan Region". *Journal of Hydrometeorology*, 8(1): 88–101, ISSN: 1525-755X, 1525-7541, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM558.1>.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2010. *Manual de claves. Claves internacionales*. vol. 1.1, Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial, 533 p., ISBN: 978-92-63-30306-6, OMM-No. 306, Available: <http://observacion-atmosfera.at.fcen.uba.ar/practicas/Documento%20OMM%20-%20Claves.pdf>, [Consulted: October 25, 2016].
- Orville, R. E.; Huffines, G. R.; Burrows, W. R.; Holle, R. L. & Cummins, K. L. 2002. "The North American Lightning Detection Network (NALDN)—First Results: 1998–2000". *Monthly Weather Review*, 130(8): 2098–2109, ISSN: 0027-0644, 1520-0493, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<2098:TNALDN>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<2098:TNALDN>2.0.CO;2).
- Pessi, A. T. & Businger, S. 2009. "Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(4): 833–848, ISSN: 1558-8424, 1558-8432, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JAMC1817.1>.
- Rodger, C. J.; Brundell, J. B.; Holzworth, R. H. & Lay, E. H. 2009. "Growing detection efficiency of the world wide lightning location network". In: Nakagawa, M. & Luding, S. (eds.), *AIP Conference Proceedings*, USA: Springer, pp. 15–20, Available: http://webflash.ess.washington.edu/publications/rodger_WWLLN_TLE_final_23Jan09.pdf, [Consulted: October 25, 2016].

- Tardif, R. 2004a. "Characterizing fog occurrences in the northeastern united states using historical data". In: *XI Conference on Aviation, Range, and Aerospace*, Boston, Massachusetts: American Meteorological Society, Available: <<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81650.pdf>>, [Consulted: October 25, 2016].
- Tardif, R. 2004b. "On the impact of vertical resolution in the numerical forecasting of fog". In: *XI Conference on Aviation, Range, and Aerospace*, Boston, Massachusetts: American Meteorological Society, Available: <<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81651.pdf>>, [Consulted: October 25, 2016].
- WMO (World Meteorological Organization). 1956. *World distribution of thunderstorm days*. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 17 p., Available: <<https://books.google.com/cu/books?id=uxLnjwEACAAJ>>, [Consulted: October 25, 2016].
- WRC (Weather Research Center). 1942a. *Climate and Weather of Southeaster Asia. Part I: India. Burma and Southern China*. Washington, D.C.: Weather Research Center, V. U. S, Government Printing Office, 130 p.
- WRC (Weather Research Center). 1942b. *Climate and weather of the British isles*. vol. 6, Washington, D.C.: Weather Research Center, Directorate of Weather, Headquarters Army Air Forces, 126 p.