

Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba

Analysis of the interannual course of phenomena as determined by present weather code for Cuban stations

Dra. Lourdes Álvarez Escudero | *lourdes.alvarez@insmet.cu* | Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología

Dr. Israel Borrajero Montejo | *israel.borrajero@insmet.cu* | Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología

Lic. Maydes Bárcenas Castro | *maydes.barcenas@insmet.cu* | Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología

Recibido: abril 16, 2014; aceptado: agosto 16, 2014.

Resumen

El estudio de los fenómenos meteorológicos representa una gran importancia por la incidencia que estos pueden tener sobre las personas y los intereses socioeconómicos. El objetivo del trabajo es realizar un estudio de homogeneidad a las series de marcha interanual de porcentaje de ocurrencia de observaciones de código de estado de tiempo presente relativos a diferentes fenómenos, allí donde la información lo permita. Los fenómenos que se han de caracterizar son los cielos despejados, el humo, las brumas, neblinas y nieblas, el relámpago visible, las lluvias y lluvias lejanas, los chubascos y tormentas eléctricas, a partir de los registros trihorarios de código de tiempo presente, para 69 estaciones meteorológicas del país, en el período que abarca desde el comienzo del trabajo en las estaciones hasta 2010. El estudio de la marcha interanual del porcentaje de ocurrencia de observaciones relativas a los fenómenos en estudio muestra: un equilibrio entre las observaciones relativas a cielos despejados; un predominio de series decrecientes y homogéneas para nieblas, neblinas y relámpagos; una preponderancia de series decrecientes para las lluvias sobre la estación, lejanas y chubascos; y una supremacía de series crecientes para las brumas y tormentas.

PALABRAS CLAVE: Fenómenos meteorológicos, marcha interanual, análisis de homogeneidad.

Abstract

The study of meteorological phenomena is relevant for their incidence on people, the economy and the environment. The purpose of this work is to carry on a study of homogeneity of inter annual series of percentages of occurrence of current weather state codes corresponding to different phenomena, wherever the available information should allow it. The phenomena to be characterized are those identified as: clear sky, smoke, haze, mist, fog, visible lightning, rain, distant rain, showers and thunderstorms, based on the three hourly records of current weather state codes for 69 meteorological stations on the Cuban territory over a period spanning from the onset of the stations until 2010. The study of the inter annual codes series shows an equilibrium for the observations of clear sky codes, for fogs, mists and lightnings decreasing and homogeneous series predominate, there is a preponderance of decreasing series for rain over the station, distant rain and showers while growing series predominate for haze and thunderstorms.

KEYWORDS: Meteorologic phenomena, inter annual course, homogeneity analysis.

Introducción

El estudio de los fenómenos meteorológicos es de gran importancia para brindar información adecuada, tanto para las personas, como para los intereses socioeconómicos, con vistas a la mitigación de sus efectos adversos o al aprovechamiento de las ventajas que puedan generar.

En general, los fenómenos meteorológicos más estudiados son las tormentas eléctricas, las nieblas, las brumas y los diferentes tipos de lluvia; estos eventos se han estudiado no solo desde el punto de vista de sus características físicas y climáticas (Eldridge, 1969; Morales y Ortega, 1994; Huffines y Orville, 1999; Dai, 2001a, 2001b; Kandalgaonkar *et al.*, 2005; Mohee y Millar, 2010), sino por su distribución espacial (Weather Research Center, 1942a, 1942b; OMM, 1956; Ledesma, 2003; Guijarro y Heredia, 2004; Lay *et al.*, 2007; Jackson *et al.*, 2009) y su modelación y pronóstico (Bergot y Guedalia, 1994; Tardif, 2004a, 2004b; Pessi y Businger, 2009).

En Cuba, los fenómenos más estudiados son las tormentas eléctricas (Alfonso y Florido, 1993; Lecha *et al.*, 1994; Pozo *et al.*, 2004; Álvarez, 2006; Álvarez *et al.*, 2005, 2006a; Novo, 2008; Álvarez *et al.*, 2009, 2012a, 2013a) y las nieblas (Alfonso, 1980; Alfonso y Florido, 1993; Lecha *et al.*, 1994; Álvarez *et al.*, 2011a, 2011b) y se centran, por lo general, en tópicos como su ocurrencia, sus comportamientos diurno y anual, su distribución espacial, su marcha interanual y algunos estudios de caso realizados con ayuda del radar y la modelación. Para dos regiones del país se han realizado estudios del comportamiento de diferentes fenómenos, con énfasis en la marcha interanual, 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, asociada al aprovechamiento de la energía eólica (Álvarez, *et al.* 2008). En un estudio similar para las tres estaciones que triangulan la provincia

de La Habana (Álvarez y Borrajero, 2014), se concluyó que la estación de Casablanca cuenta con registros más completos y sin sesgo por falta de información, y que el análisis de las marchas interanuales evidencia un crecimiento para los casos de fenómenos reductores de la visibilidad relacionados con niveles bajos de humedad, un aumento de las tormentas y una disminución de las neblinas, nieblas, lluvias y los chubascos, según la estación.

El presente trabajo se propone como objetivo estudiar la homogeneidad de las series de marcha interanual de porcentaje de ocurrencia de observaciones de código de estado de tiempo presente relativos a diferentes fenómenos, donde la información lo permita.

Materiales y métodos

La base fundamental de información utilizada en está compuesta por los registros de código de estado de tiempo presente de 69 estaciones de todo el país. Los datos fueron tomados de la base de datos Nueva_THOR (Álvarez *et al.* 2012b) y se agregaron los registros correspondientes al período 2009–2010 obtenidos de la base de datos del Centro del Clima del INSMET, datos estos que fueron sometidos a varias validaciones y adaptaciones con miras a lograr uniformidad en los registros de la base.

Para la identificación de los diez fenómenos en estudio a partir del código de estado de tiempo presente se escogieron los valores de código, según la Tabla 4677 (“Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”), del *Manual de claves* (WMO, 1988), cuya identificación se muestra en la tabla 1. Los códigos no representados en la tabla 1 se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio.

La variable de trabajo será el *porcentaje de ocurrencia* de observaciones asociadas a determinado fenómeno,

Tabla 1. Fenómenos meteorológicos y códigos de estado de tiempo presente

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	21, 23, 24, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69
Lluvias lejanas	14, 15, 16
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

expresado (en *tanto por ciento*) como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno con respecto al número total de observaciones válidas. El hecho de trabajar con porcentajes de ocurrencia o probabilidades solventa en gran medida la falta de información, puesto que la ausencia de datos en algunos períodos puede compensarse con los de otros períodos donde sí existe, dado que siempre se divide por el número de observaciones válidas. Además, al ser espacios ortornormales, siempre las comparaciones son válidas entre diferentes conjuntos de datos (Álvarez, 2006).

En caso de resultar años dentro de las series con información válida por debajo de 80 % de la posible, el valor de la frecuencia se sustituyó por el promedio de los valores en los dos años aledaños; si faltó más de un año, el dato se suplió por el valor medio de la serie; y cuando los años con faltante estuvieron en los extremos de la serie, esta se truncó, despreciando esa información.

La metodología en el análisis de homogeneidad para las series estudiadas es la desarrollada por Álvarez y colaboradores (2012a), y los estadígrafos se calculan según lo planteado por Sneyers (1990). La conclusión sobre el comportamiento de los estadígrafos y las series de marcha interanual, en general, se representa de acuerdo con el convenio siguiente:

1. Serie homogénea, representada por “0”.
2. Serie decreciente significativa (10 % de significación), representada por “-1”.
3. Serie decreciente altamente significativa (5 % de significación), representada por “-2”.
4. Serie creciente significativa (10 % de significación), representada por “+1”.
5. Serie creciente altamente significativa (5 % de significación), representada por “+2”.

Los datos resultaron insuficientes o muy contradictorios para arribar a una conclusión (no se asigna valor a la representación).

Los análisis se harán con ayuda del programa WINSTAT, el cual se utiliza en el Instituto de Meteorología para estos fines y que fue desarrollado, precisamente, por uno de los autores de este artículo.

Resultados y discusión

Teniendo en cuenta los índices de calidad de las series de registros de tiempo presente, las series por estaciones califican en 98.5 % de los casos como buenas o en categorías superiores. La principal limitante en la información es la falta de datos en períodos largos para los horarios de la noche y la madrugada (Álvarez *et al.*, 2013b)

Las series utilizadas pueden abarcar un período de pocos años u otro de 41 años, por lo cual el análisis de la marcha interanual podría presentar comportamientos muy particulares en diferentes intervalos de información. Para soslayar el problema más grave en la calidad de los datos, que es la ausencia marcada de registros en horarios de la noche y la madrugada, en aquellos períodos donde los datos estaban más completos (2005–2010) se determinó el horario u horarios de mayor ocurrencia del fenómeno y se constituyeron las series para esos horarios. La tabla 2 muestra los horarios de mayor ocurrencia del fenómeno y los horarios utilizados en la elaboración de las series de marcha interanual.

Tabla 2. Horarios de mayor ocurrencia de los fenómenos

Fenómeno	Horarios de mayor ocurrencia	Horarios utilizados para el análisis de marcha interanual
Cielos despejados	01,04, 19 y 22	19
Humo	01, 04, 07, 19, 22	07, 19
Brumas	07, 10, 13, 16, 19	07, 10, 13, 16, 19
Neblinas	01, 04, 07	07
Nieblas	01, 04, 07	07
Relámpago visible	01,04, 19 y 22	19
Lluvias	01, 04, 07, 10, 13, 16, 19, 22	07, 10, 13, 16, 19
Lluvias lejanas	07, 10, 13, 16, 19	07, 10, 13, 16, 19
Chubascos	01, 04, 07, 10, 13, 16, 19, 22	07, 10, 13, 16, 19
Tormentas	13, 16, 19	13, 16, 19

Nota: Todas las horas se refieren a hora local

El análisis de homogeneidad se muestra de forma resumida para todos los fenómenos por estaciones; en cada caso, se describe el proceso y, por último, se detalla el comportamiento de la distribución espacial de este análisis.

La tabla 3 muestra las conclusiones del análisis de homogeneidad para todas las estaciones en estudio y para todos los fenómenos. Se observa que las marchas interanuales para los *cielos despejados* arrojaron 21 series con tendencia decreciente altamente significativa, cuatro decrecientes significativas, dos con tendencia creciente significativa, 20 crecientes altamente significativas, 15 homogéneas, cuatro en las que no pudo arribarse a conclusiones por existir contradicción entre estadígrafos (en particular, el estadígrafo de Walt-Wolfowitz no significativo) y tres con series demasiado cortas para el análisis. Esto evidencia cierto equilibrio entre las series crecientes, decrecientes y homogéneas para este grupo de códigos. En cuanto a la forma de las series según su descriptor, como se constató en el análisis, la mayoría manifestaron cambios abruptos o secciones con una diferencia de ocurrencia marcada, lo que demuestra una tendencia no muy natural marcada por cambios de un año al siguiente. El análisis de los puntos de

cambio para series largas, que localizaban un punto significativo, tanto con el estadígrafo de Mann-Kendall, como con el de Pettitt, mostró, en las series de 1970 a 2010, el año promedio de cambio en 1986, con una diferencia máxima de 12 años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1989 (Mann-Kendall) y 1990 (Pettitt), con una diferencia máxima de 13 años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

La distribución espacial del comportamiento de la marcha interanual de las series para los denominados *cielos despejados* (Fig. 1) arroja series crecientes hacia la región occidental, con la excepción de algunas estaciones de la provincias de La Habana y Mayabeque, y decrecientes en la porción sur de las provincias centrales y el norte-centro de las orientales; asimismo, en general, se observa series crecientes hacia las costas y homogéneas hacia las zonas alejadas de estas.

Dada la ausencia o la muy baja ocurrencia de observaciones en gran parte de las estaciones del país, el *humo* solo pudo analizarse para 14 estaciones. La serie de marcha interanual de porcentaje de ocurrencia de observaciones con humo para la estación de Casablanca, calculada a partir de los registros de los horarios 07 y 19 hora local (Fig. 2), presenta un comportamiento calificado como *alto-bajo-medio*, con una depresión brusca de los valores entre 1982 y 1995, y una recuperación hacia el final de la serie, aunque no con valores tan altos como los iniciales. El comportamiento podría explicarse por la desactivación de algún centro industrial en la zona alrededor de la estación hasta donde llega su horizonte visual, aunque no se tiene referencia de ese hecho. La disminución pronunciada en 1993 y 1994 podría estar relacionada con la baja económica del Período Especial. En cualquier caso, el estudio del humo puede aportar una idea sobre la calidad del aire en la ciudad y su comportamiento con el paso de los años.

Tabla 3 Conclusión del análisis de homogeneidad de las series de marcha interanual de porcentaje de ocurrencia de observaciones para cada fenómeno identificado y para cada una de las estaciones en estudio

No. de la estación	Nombre de la estación	Cielos despejados	Humo	Brumas	Nieblas	Nieblas	Relámpago	Lluvias	Lluvias lejanas	Chubascos	Tormentas
308	La Piedra										
309	Amistad Cuba Francia										
310	Cabo San Antonio	+2	-2	-2	-2	0	-2	+2	0		
312	Santa Lucia	+2	+2	0	0	-2	-2		-2		
313	Isabel Rubio	+1	0	0	-2			-2	0	0	
314	San Juan y Martínez	+2	-2	+2		0	-2	-2	+2	+2	
315	Pinar del Río	+2	-2	0	-2	-2		-2	-2	-2	
316	La Palma	+2	-2	0	-2		-2	0	0	0	
317	Paso Real de San Diego	0	-2	0	-2	0	+1	-2	0	+2	
318	Bahía Honda	0	+2	+2				-1			
319	Valle de Cuajerí	0	+2	-2			-2	+2	0		
320	Güira de Melena	0	+2		0				0	-1	
321	La Fe	+1	+2	-2	0	-2	-2	-2	0	+2	
322	Batabanó	+2	-2	0	+2	+2			-1	0	
323	Güines	-2	+2	0	0			-2			
324	Punta del Este		+2	-2	+2		-2	-2		+2	
325	Casablanca	-2	0	+2	0	-2	-2	-2	+2	+2	
326	Santo Domingo	+2		-2	-2	0	-2	+2	+2	+1	
327	Unión de Reyes	0	0	+2		0	-2	+2		+2	
328	Varadero										
329	Indio Hatuey	-2	+2	0	0	-2		0			
330	Jovellanos	0	+2	+1	0		-2	-2		+2	
331	Jagüey Grande	+2	+2	-2	-2		-2	-2	+2	-2	
332	Colón	0	+2	0	0	0		-2	-2	+2	
333	Playa Girón	-1	+2	-2		+2		-2	-2	0	
334	Palenque Yateras	-2					-2		-2		
335	Aguada de Pasajeros	-2	+2	-2	0	0	0	0	-2	0	
337	Trinidad	-2	+2	-2	-2		-1	-2	-2	+2	
338	Sagua la Grande	-2	+2	0	0	0	0	+1	-2	0	
339	Cayo Coco	+2	-2	-2			-2	0	-2	-2	
340	Bainoa	+2	-2	0	0	+2		+2		+2	
341	Jíbaro	-1	+2	-2			0	-2	0		
342	Topes de Collantes	-2	+2	+2	-2	0	-2	-2		+2	
343	El Yabú	0	+2	-2		0	0	0	0	+2	
344	Cienfuegos	-2	+2	0		-2	0	-2	0		
345	Júcaro	+2	-2	-2	-2	-2	0	-2	-2	0	0
346	Venezuela	+2	0	-2	-2		-2	-2	-2	-2	
347	Camilo Cienfuegos	+2	-2	-2		-1	-2	-2	-2	-2	
348	Caibarién	-2	+2	-2	+1		-2	0	0	+2	
349	Sancti Spiritus	-2	+2	0	+2	+2	-2	-2	0	+2	
350	Florida	0	0	-2	0	0		0		+2	
351	Santa Cruz	0	+2	0	-2	0	-2	0	-2	-2	-2
352	Esmeralda	-2	0	0	+2	+2	0	0	0	+2	
353	Nuevitas	+2	+2	0	-2	0	-2	+2	-1	+2	+1
354	Palo Seco		-2	-1	-2	0		-2	-2	-2	
355	Camagüey	0	0	-2	-1	0		0	0	+2	
356	Jamal	+2	-1	-2	-2						
357	Las Tunas	-2	+2	+2	+2	0	-1	0	0		
358	Puerto Padre	0	+2	+2		-2		0		+2	
359	Manzanillo	0	+2	+2	+2	-2		-2	-2	+2	
360	Cabo Cruz	-2	0	0	-2	0	0	-2	+2		
361	Jucarito	-2	+2	+2	+2		0	0	-2	-2	
362	La Jiquima	-2	+2	-2		0	+2	+2	-2	-2	
363	Contra maestre	-2	+2	+2	-2	-2	+2	-2	-2	+2	
364	Santiago de Cuba	+2	0	-2		-2	+2	-2	-2	0	
365	Punta Lucrecia	0	+2	+2		-2	0	0	+2		
366	Gran Piedra	-2	+2	0	0			-2	-2	+2	
367	Pedagógico de Holguín	0	+2	-2		-2	+2	-2			
368	Guantánamo	+2	-2	-2	+2	-1	-2	-2	0	+2	
369	Maisí	-2	1	0		0	0	-2	0	+1	
370	Guaro	-1	+2	+2		-2	-2	-2			
371	Pinares de Mayarí	-2	+2			-2	+2	0	-2	+2	
372	La Sabana		-1								
373	Santiago de las Vegas	-2	+2	+2	-2	0	0	+2	-2	+2	
374	Tapaste	+2	+2	0	0	-2	-2	0	-2	0	
375	Melena del Sur	-1	+2	+1		+1		0	+2	+2	
376	Bauta	+2	+2	-2	-2		-2	0	0	-2	
377	Veguita	+2	0	0	+2		0		0		
378	Velazco		0	0	+2			+1		+2	

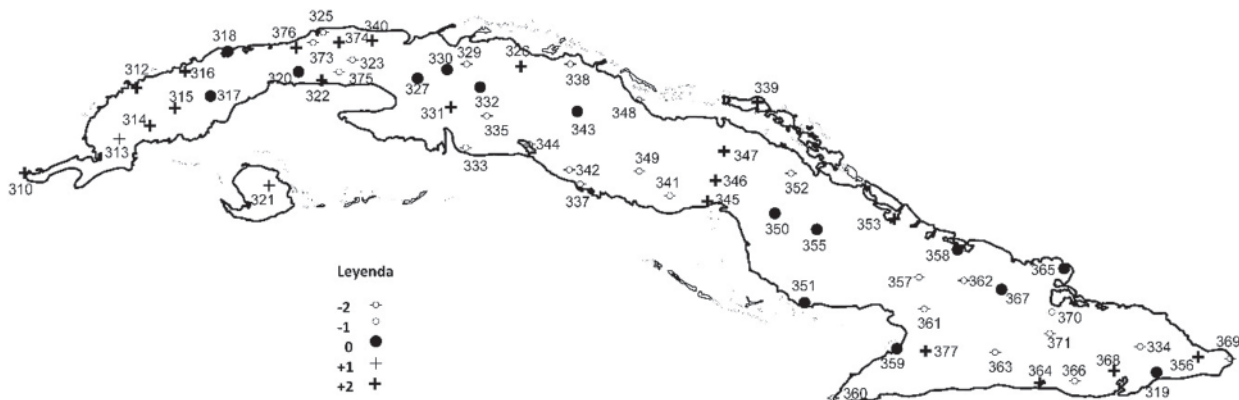


Fig. 1 Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a los cielos despejados para las estaciones en estudio.

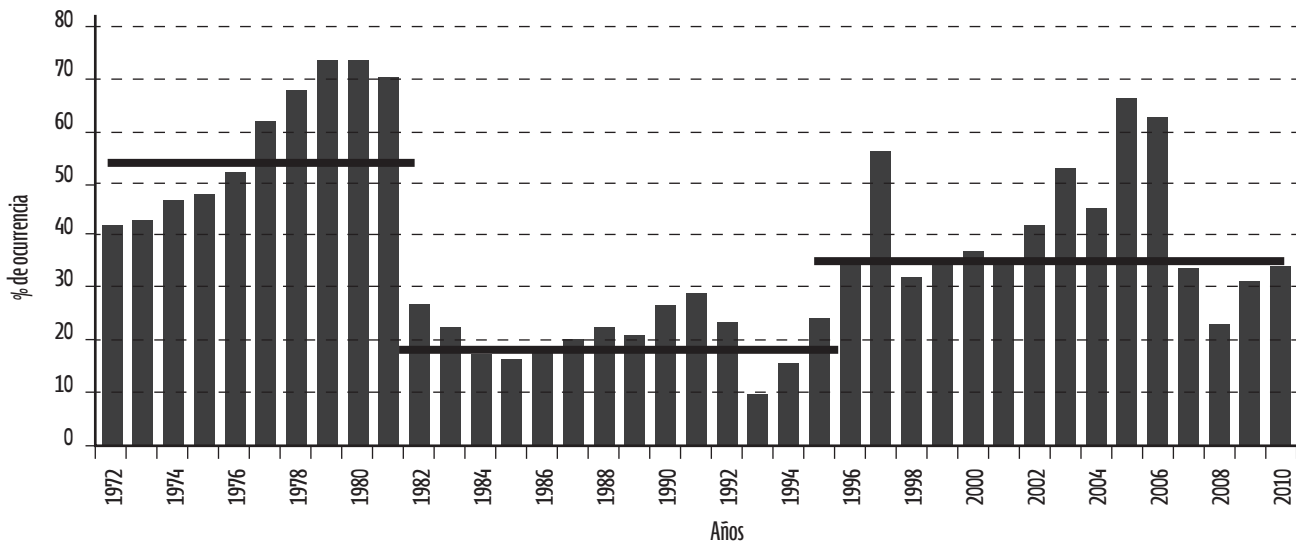


Fig. 2 Marcha interanual del porcentaje de ocurrencia de observaciones con humo para la estación de Casablanca (1972-2010).

La Estación de Santa Cruz (351) presenta un comportamiento similar al de su similar en Nuevitas, pero su serie es más corta; Venezuela (346) se muestra fluctuante y su serie es homogénea; mientras que Júcaro (345) exhibe una conducta contraria a la de Nuevitas y Santa Cruz, con valores significativos al principio de la serie y muy bajos o nulos al final, por lo cual su tendencia es decreciente altamente significativa.

A diferencia de la estación de Casablanca, la de Nuevitas (353) presentó un comportamiento distinto en su marcha interanual y, de forma “abrupta pronunciada”, pasó de no haber observaciones relativas a humo a la existencia de varios años consecutivos con valores significativos.

Las marchas interanuales de las *brumas* arrojaron 13 series con tendencia decreciente altamente significativa, dos decrecientes significativas, una con tendencia creciente significativa, 37 crecientes altamente significativas, 11 homogéneas, dos a las que no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y tres con series demasiado cortas para el análisis. En general, se observa un predominio de series crecientes; en cuanto a la forma de las series según su descriptor, la mayoría presentó cambios abruptos o con secciones de marcada diferencia de ocurrencia, lo cual muestra crecimientos no muy progresivos entre años que podrían obedecer a causas no naturales, aunque existen también 14 series con cre-

cimiento progresivo. Un análisis de puntos de cambio para series largas que localizaban un punto significativo, tanto mediante el estadígrafo de Mann-Kendall, como por el de Pettitt, evidenció en el período 1970–2010 el año promedio de cambio en 1987 (Mann-Kendall) y 1986 (Pettitt), con una diferencia máxima de 21 años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1991, con una diferencia máxima de cuatro años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

Las brumas presentan un carácter creciente marcado en muchas localidades del territorio cubano (Fig. 3), excepto en Pinar del Río y Ciego de Ávila, en las cuales abundan las series decrecientes, y en el oeste de Camagüey, donde son mayoría las homogéneas; en el resto del país, incluyendo el Municipio Especial Isla de la Juventud, las series, en general, tienen carácter creciente altamente significativo.

Los análisis para las *neblinas* mostraron 26 series con tendencia decreciente altamente significativa, una decreciente significativa, dos con tendencia creciente significativa, 12 crecientes altamente significativas, 21 homogéneas, cuatro a las que no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y tres con series demasiado cortas para el análisis. A diferencia de las brumas, en este caso, la

mayoría de las series son decrecientes u homogéneas; en cuanto a la forma de las series según su descriptor, existe un equilibrio entre abruptas, decrecientes y con comportamiento por secciones. Para las series de 1970 a 2010, el análisis de puntos de cambio mostró un año promedio de cambio en 1989, con una diferencia máxima de 12 años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1992 (Mann-Kendall) y 1990 (Pettitt), con una diferencia máxima de 11 años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

Las neblinas (Fig. 4) presentan series homogéneas, en general, hacia la región occidental y decrecientes hacia el centro-oriente del país, con excepción de las provincias de Granma, en su mitad norte, Santiago de Cuba y el este de Holguín, donde algunas series presentan un carácter creciente altamente significativo.

Las *nieblas* tuvieron menos representatividad que las neblinas (ver tabla 3), arrojaron 17 series con tendencia decreciente altamente significativa, una decreciente significativa, una con tendencia creciente significativa, 10 crecientes altamente significativas, 15 homogéneas, 22 a las que no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos, sobre todo por no resultar significativo el de Walt-Wolfowitz, y tres demasiado cortas para el análisis.

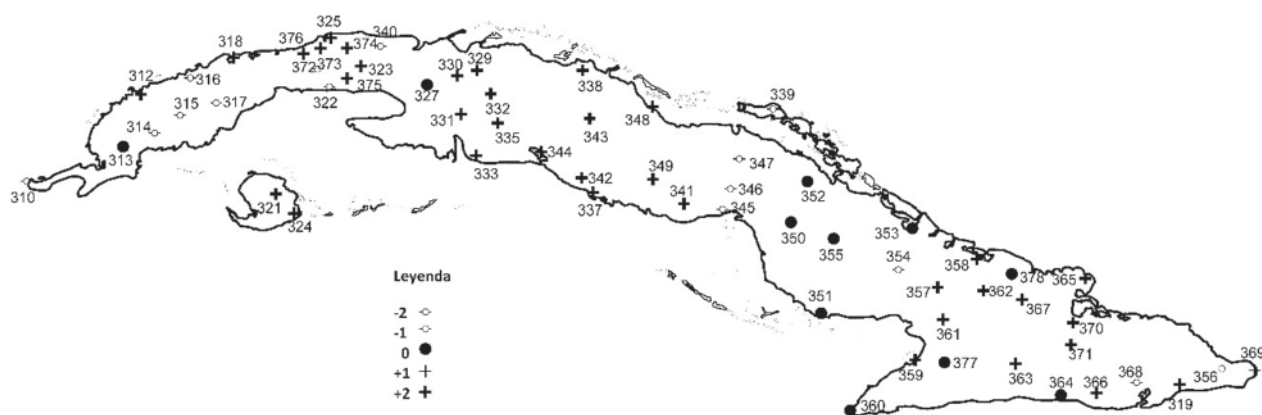


Fig. 3 Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a las brumas para las estaciones en estudio.

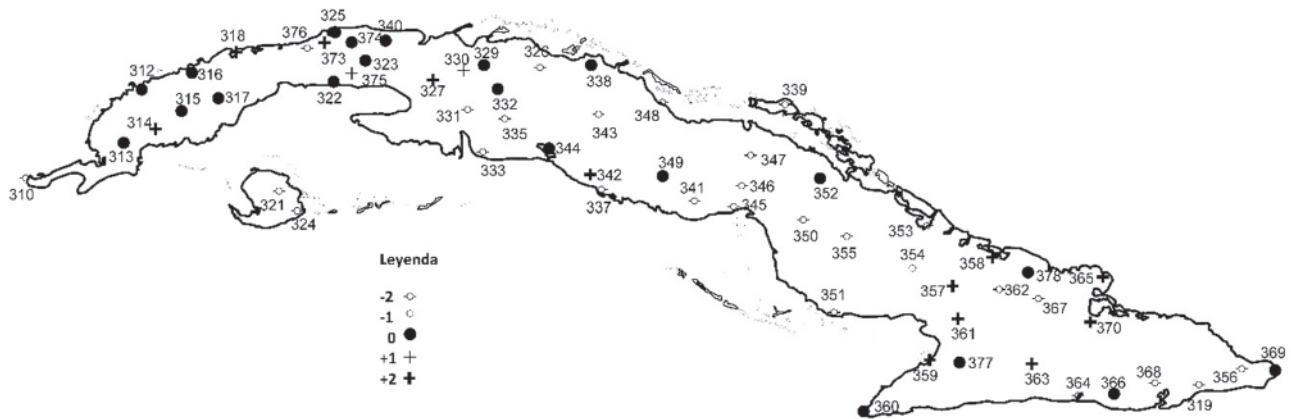


Fig. 4 Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a las neblinas para las estaciones en estudio.

Debe destacarse la falta de correlación interna en las series de marcha interanual, muchas veces determinadas por valores muy bajos o nulos, con 13 series con descriptor de *esporádicos* y 19 con *fluctuantes*.

Con respecto a los puntos de cambio, las series de 1970 a 2010 mostraron un año promedio de cambio en 1984 (Mann-Kendall) y 1986 (Pettitt), con una diferencia máxima de diez años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1983 (Mann-Kendall) y 1987 (Pettitt), con una diferencia máxima de nueve años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

Como una cantidad importante de las series de nieblas resultaron inútiles para el análisis, se constató que, tanto en la región oriental, como central, existen vacíos de información. En la región occidental se observan series, por lo general, decrecientes en Pinar del Río y La Habana, y homogéneas en Mayabeque y Matanzas.

El *relámpago visible* (ver tabla 3) también presenta gran cantidad de series en las cuales no puede arribarse a conclusiones por existir contradicción entre los estadígrafos; el número de series cortas aumenta a siete, puesto que el horario de las 19, que se utiliza para determinar los porcentajes de ocurrencia anuales, tiene faltantes notables al principio de algunas

series y, por tanto, la información utilizable comenzó mucho más avanzada en el tiempo y los datos no fueron suficientes para el análisis. En resumen, se tienen 16 series con tendencia decreciente altamente significativa, dos decrecientes significativas, una con tendencia creciente significativa, cinco crecientes altamente significativas, 18 homogéneas y 20 en las que no pudo arribarse a conclusiones. El descriptor del comportamiento de las series está equilibrado entre *abruptas pronunciadas*, *decrecientes*, *fluctuantes* y con diferencias por secciones. Para las series de 1970 a 2010, el análisis de puntos de cambios mostró solo tres series con año promedio para el cambio en 1990 (Mann-Kendall) y 1988 (Pettitt), y una diferencia máxima entre pruebas de siete años. No se encontraron series con períodos de 1971-1974 a 2010 con condiciones para el análisis.

Al igual que las nieblas, el relámpago visible está muy limitado por la información base para su conteo y se presentan lagunas en la distribución espacial del comportamiento de la tendencia. En los casos donde las series permitieron arribar a conclusiones, se observa una mayoría de series homogéneas y solo dominan las decrecientes en la porción este de las provincias orientales.

Las *lluvias en la estación* contabilizaron 23 series con tendencia decreciente altamente significativa,

dos decrecientes significativas, una con tendencia creciente significativa, seis crecientes altamente significativas, 14 homogéneas, 18 en las cuales no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y cinco con series demasiado cortas para el análisis. La mayoría de los descriptores se halla entre *fluctuantes* y *decrecientes*, en correspondencia con la generalidad de series decrecientes y homogéneas. En relación con los puntos de cambio para las series de 1970 a 2010, se evidenció un año promedio de cambio en 1989 (Mann-Kendall) y 1990 (Pettitt), con una diferencia máxima de seis años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1991 en ambas pruebas, con una diferencia máxima de siete años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

La distribución espacial arrojó que para las *lluvias en la estación*, de forma muy general, las series crecientes son más frecuentes en la mitad norte del país y la Isla de la Juventud, y las homogéneas en la mitad sur, con la excepción de las estaciones de Santiago de las Vegas, Sagua la Grande y Esmeralda. Las series crecientes se agrupan hacia la parte central de las provincias orientales (Fig. 5).

Las *lluvias lejanas* presentan un comportamiento similar al de las lluvias sobre la estación, pero exis-

ten más series cuyo comportamiento permite arribar a conclusiones. Se contabilizaron 33 series con tendencia decreciente altamente significativa, dos decrecientes significativas, dos crecientes significativas, cinco crecientes altamente significativas, 17 homogéneas, cinco en las cuales no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y cinco con series demasiado cortas para el análisis. En este caso, la mayoría de los descriptores se halla entre *diferencias por secciones*, *decrecientes*, *abruptos pronunciados* y *fluctuantes*. Para las series de 1970 a 2010, los puntos de cambio presentaron un año promedio de cambio en 1981 (Mann-Kendall) y 1985 (Pettitt), con una diferencia máxima de 13 años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1989 (Mann-Kendall) y 1991 (Pettitt), con una diferencia máxima de ocho años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

La distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a las lluvias lejanas se asemeja con el de las lluvias en la estación, con series homogéneas hacia la mitad norte de la isla y decrecientes hacia la sur, incluyendo la Isla de la Juventud. Las series crecientes son muy pocas y no presentan agrupación.

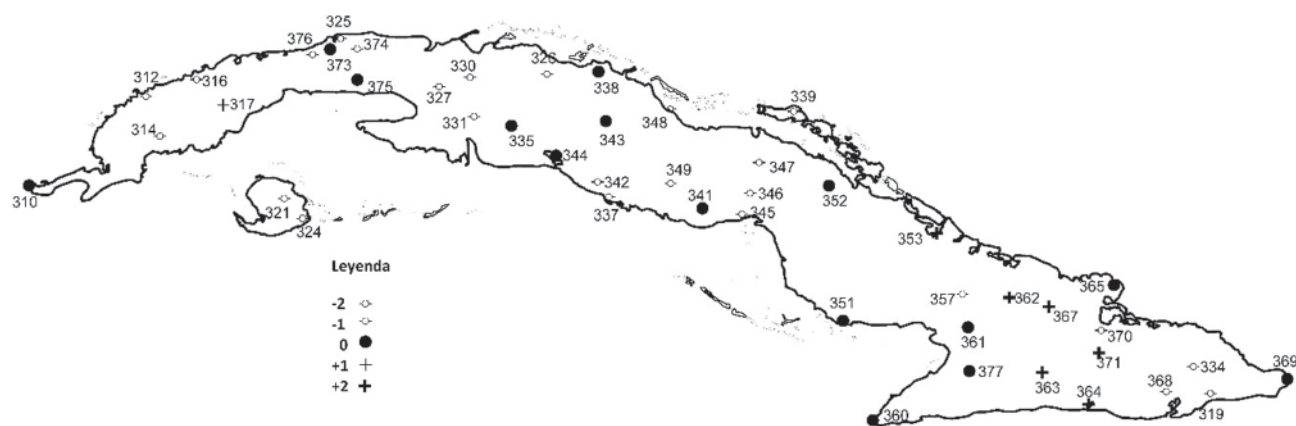


Fig. 5 Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a las lluvias para las estaciones en estudio.

Para los *chubascos* (ver tabla 3) se presentaron 21 series con tendencia decreciente altamente significativa, una decreciente significativa, diez crecientes altamente significativas, 18 homogéneas, 14 en las cuales no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y cinco con series demasiado cortas para el análisis. La mayoría de los descriptores se halla entre *diferencias por secciones*, *decrecientes*, *abruptos pronunciados* y *fluctuantes*. Para las series de 1970 a 2010, los puntos de cambio presentaron un año promedio de cambio en 1985 (Mann-Kendall) y 1986 (Pettitt), con una diferencia máxima de diez años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1994 (Mann-Kendall) y 1991 (Pettitt), con una diferencia máxima de 11 años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

La distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a los *chubascos*, está marcada con lagunas de información dado el número de series cuyo análisis no permitió llegar a una conclusión. En general, se observa agrupamientos de series decrecientes en Pinar del Río, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y las provincias orientales, que alternan con estaciones con series homogéneas. Las series crecientes son muy pocas y no presentan agrupación.

A diferencia de los otros fenómenos asociados a la precipitación, las *tormentas* presentan mayoría de series crecientes. Se contabilizaron diez series con tendencia decreciente altamente significativa, una decreciente significativa, tres crecientes significativas, 26 crecientes altamente significativas, 11 homogéneas, 12 en las cuales no pudo arribarse a conclusiones por contradicción entre los estadígrafos y seis con series demasiado cortas para el análisis (ver tabla 3). La mayoría de los descriptores se halla entre *fluctuantes*, *diferencias por secciones*, *crecientes* y *abruptos pronunciados*. Para las series de 1970 a 2010, los puntos de cambio presentaron un año promedio de cambio en 1985 (Mann-Kendall) 1988 (Pettitt), con una diferencia máxima de 11 años para una serie específica. Las series del período con comienzo entre 1971 y 1974, y final en 2010, arrojaron un año promedio de cambio en 1984 (Mann-Kendall) y 1987 (Pettitt), con una diferencia máxima de diez años para una serie entre los valores dados por ambos estadígrafos.

La distribución espacial de la característica del comportamiento para la marcha interanual asociada a las *tormentas* muestra una mayoría de series crecientes en todo el país (Fig. 6), incluyendo la Isla de la Juventud, y núcleos pequeños de series decrecientes al este de Camagüey y el centro de Artemisa; las series homogéneas no presentan agrupación.

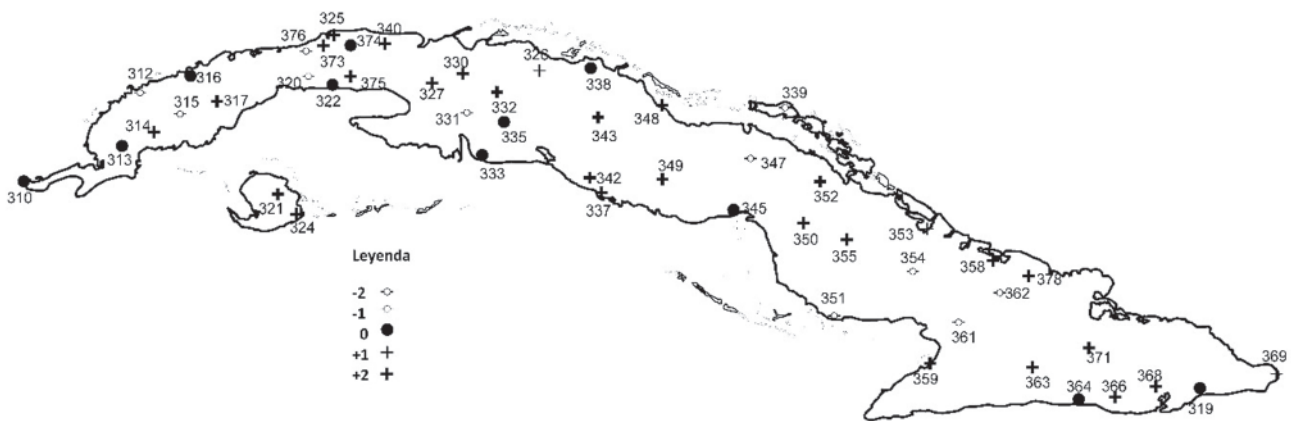


Fig. 6 Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual asociada a las tormentas para las estaciones en estudio.

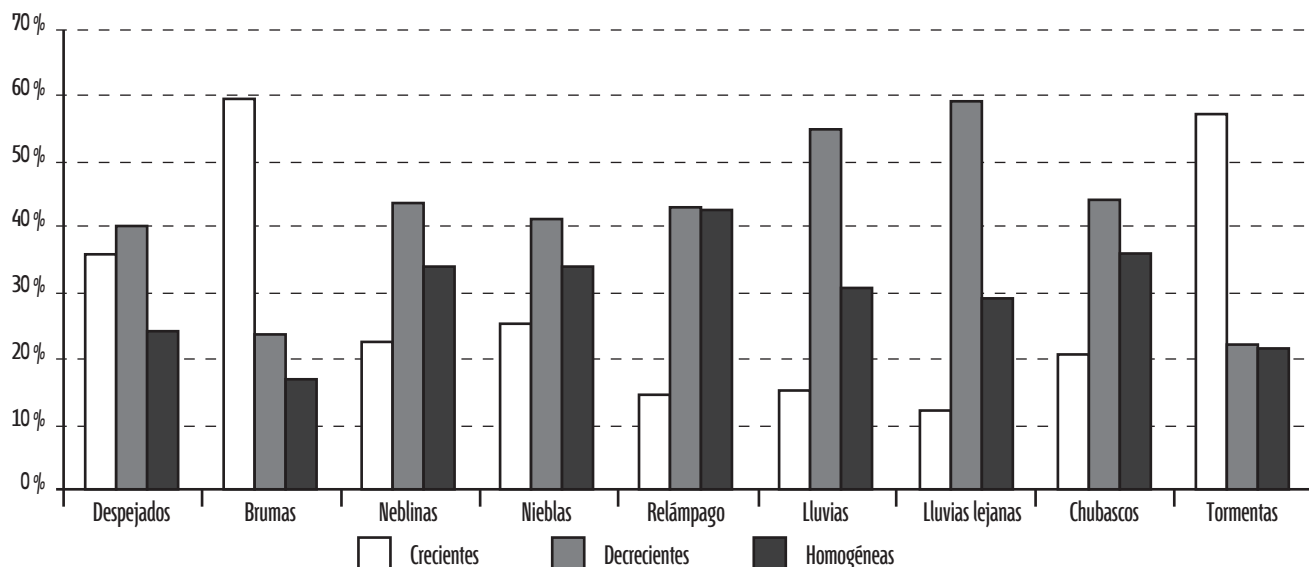


Fig. 7 Porcentaje de series con un comportamiento específico (crecientes, decrecientes u homogéneas), del total de series con conclusión.

La figura 7 muestra el resultado de calcular, para cada fenómeno, el porcentaje de series con un comportamiento específico, del total de series con conclusión. Se aprecia un equilibrio entre las observaciones relativas a cielos despejados; para nieblas, neblinas y relámpagos, existe predominio de series decrecientes y homogéneas; se evidencia una preponderancia de series decrecientes para las lluvias sobre la estación, lejanas y los chubascos; y se manifiesta una supremacía de series crecientes para las brumas y tormentas. No se evalúa el humo por solo arribar a conclusiones en cinco estaciones.

Este comportamiento podría sugerir un cambio en las formas de lluvia, que pasa ahora a ser más local en forma de tormentas. Asimismo, la disminución de nieblas y neblinas, y el aumento de las brumas podría indicar un nivel más bajo de humedad en la atmósfera.

En general, se observa que el número de series homogéneas es pequeño en comparación con las que muestran tendencia o en aquellas donde no pudo arribarse a conclusiones, razón por la cual no pueden tenerse series homogéneas para realizar estudios climáticos posteriores.

Para las series largas (1970–2010), el análisis de los puntos de cambio muestra un punto promedio para todos los fenómenos en estudio en 1987, y en 1989 para las series más cortas. Dado que el período 1989–2010 (22 años) posee 84 % de la información posible para el conjunto de todas las estaciones (Álvarez *et al.*, 2013b), con miras a estudios climáticos posteriores, tales como la representatividad de los fenómenos, la marcha anual y la distribución espacial, se recomienda trabajar con los datos de este período, teniendo en cuenta que muchas series pueden no ser homogéneas.

Conclusiones y recomendaciones

El estudio de la marcha interanual del porcentaje de ocurrencia de observaciones relativas a los fenómenos estudiados evidencia un equilibrio entre las observaciones relativas a cielos despejados; para nieblas, neblinas y relámpagos existe predominio de series decrecientes y homogéneas; se aprecia una preponderancia de series decrecientes para las lluvias sobre la estación, lluvias lejanas y los chubascos; y se manifiesta una supremacía de series crecientes para las brumas y tormentas.

El análisis de los puntos de cambio para las series largas (1970–2010) muestra un punto promedio para todos los fenómenos en estudio en 1987, y en 1989 para las series más cortas (1974–2010).

El número de series que califican como homogéneas para todos los fenómenos es pequeño en comparación con las que muestran tendencia o en aquellas donde no puede arribarse a conclusiones, razón por la cual no pueden tenerse series homogéneas para realizar estudios climáticos posteriores.

La distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual no presenta agrupaciones importantes para ninguno de los fenómenos estudiados.

Referencias bibliográficas

- ALFONSO, A. P. 1980. *Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud*, Informe Científico-Técnico, Instituto de Meteorología, 134, La Habana.
- ALFONSO, A. P. y FLORIDO, A. 1993. *El clima de Matanzas*, Ed. Academia, La Habana.
- 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. y LÓPEZ, L. 2005. *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*, Informe final de resultado científico, UDICT, Instituto de Meteorología, La Habana.
- ÁLVAREZ, L. 2006. *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Tesis de Doctorado en Ciencias Meteorológicas Instituto de Meteorología.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I. y 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, 83–94.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R., AENLLE, L. y AMARO, L. 2006b. Análisis preliminar del comportamiento de fenómenos meteorológicos significativos en el ecosistema costero Sabana-Camagüey, *Revista Cubana de Meteorología*, 13, 27–41.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R. y AENLLE, L. 2008. Análisis preliminar de la variable estado del tiempo presente para cuatro estaciones relacionadas con el desarrollo eólico en Cuba, *Ecosolar*, 24, <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar24/HTML/articulo06.htm>>.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R. y 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, *Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología*, Ciudad Habana, del 30 de noviembre al 4 de diciembre del 2009, ISBN 978-959-7167-20-4, <F:\Data\Trabajos completos.pdf>, 1456–1466.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R. y LEÓN, 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*, 31–46, <http://www.iga.cu/Publicaciones/revista/cte_12/Art_3_12/Articulo3_12.html>.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R., RIVERO, I., CARNESOLTAS, M., CALNICK, A., GUEVARA, V., LIMIA, M., LEÓN, A. y ROJAS, Y. 2011b. Distribución espacial de los fenómenos neblinas y nieblas en Cuba, *Revista Cubana de Meteorología*, 17, 58–67.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R., AENLLE, L., RIVERO, I., IRAOLA, C., ROJAS, Y. y HERNÁNDEZ, M. 2012a. Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano, *Revista de Climatología*, 12, 1–21, <<http://webs.ono.com/reclim/reclim12a.pdf>>.

- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R., AENLLE, L. y BARCENAS, M. 2012b. Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba, *Revista Cubana de Meteorología*, 18, 83-99.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., ÁLVAREZ, R., RIVERO, I., CARNESOLTAS, M. y ROJAS, Y. 2013a. Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 14, 5-13.
- ÁLVAREZ, L., BORRAJERO, I., BARCENAS, M. 2013b. *Análisis de la calidad de las series de registros de código de estado del tiempo presente para series largas de las estaciones meteorológicas de la República de Cuba con información para gestión*, Informe final de Resultado Científico, UDICT, Instituto de Meteorología, La Habana.
- ÁLVAREZ-ESCUADERO, L. y BORRAJERO, I. 2014. Análisis de la marcha interanual de fenómenos meteorológicos para las tres estaciones que triangulan la provincia de La Habana, Cuba, *Ciencias de la Tierra y Espacio*, 15, 12-22.
- BERGOT, T. y GUEDALIA, D. 1994. Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part I: Numerical Model and Sensitivity Tests, *MWR*, 122, 1218-1230.
- DAI, A. 2001a. Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations, *Journal of Climate*, 14, 1092-1111.
- DAI, A. 2001b. Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations, *Journal of Climate*, 14, 112-128.
- ELDRIDGE, R. G. 1969. Mist-The Transition from Haze to Fog, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 50, 422-426.
- GUIJARRO, J. A. y HEREDIA, M. A. 2004. Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares, *Revista de Climatología*, 4, 9-19, <<http://webs.ono.com/reclim1/reclim04b.pdf>>.
- HUFFINES, G. y ORVILLE, R. 1999. Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989-1996, *Journal of Applied Meteorology*, 38, 1013-1019.
- JACKSON, B., NICHOLSON, S. E. y KLOTTER, D. 2009. Mesoscale Convective Systems over Western Equatorial Africa and Their Relationship to Large-Scale Circulation, *MWR*, 137, 1272-1294.
- KANDALGAONKAR, S. S., TINMAKER, MIR, NATH, A., KULKARNI, MK. y TRIMBAKE, H. K. 2005. Study of thunderstorm and rainfall activity over the Indian region, *Atmósfera*, 18, 91-101.
- LAY, E. H., JACOBSON, A. R., HOLZWORTH, R. H., RODGER, C. J. y DOWDEN, R. L. 2007. Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network, *J. Geophys. Res.*, 112, D13111.
- LECHA, L. B., PAZ, L. R. y LAPINEL, B. [editores], 1994. *El clima de Cuba*, Ed. Academia, La Habana, 186.
- LEDESMA, G. 2003. *Meteorología aplicada a la aviación*, Thomson Editores Spain Paraninfo S. A., España.
- MOHEE, F. M. y MILLAR, C. 2010. Climatology of Thunderstorms for North Dakota, 2002-06, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 1881-1890.
- MORALES, C. M. Y ORTEGA, T. 1994. *Aproximación al estudio de las nieblas en el valle medio del Duero*, Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid, Consultado 20 de septiembre de 2010, <<http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/12482318682354844198846/catalogo12/02%20inve.pdf>>.
- NOVO, S. 2008. Pronóstico inmediato de tormentas convectivas por radar: una actualización, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23, 41-50.
- OMM. 1956. *World distribution thunderstorm days*, WMO, 21, TP 21, Ginebra, Suiza.
- PESSI, A. T. y BUSINGER, S. 2009. Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 833-848.
- POZO, D., MARTÍNEZ, D., MARÍN, J. C., BORRAJERO, I. y BEZANILLA, A., 2004. Estudio de la cizalladura vertical del viento en los altos niveles en la formación y desarrollo de una tormenta ocurrida

- el día 21 de julio del 2001 en Nuevitas, Camagüey, *Revista Cubana de Meteorología*, 11, 22–34.
- SNEYERS, R. 1990. *On the statistical analysis of series of observations*, Technical Note no. 143, WMO, no. 415, Ginebra, Suiza.
- TARDIF, R. 2004a. Characterizing fog occurrences in the north-eastern United States using historical data, *11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, American Meteorological Society, Hyannis, Massachusetts, USA, October 2004, <http://ams.confex.com/ams/11aram22sls/techprogram/paper_81650.htm.
- TARDIF, R. 2004b. On the impact of vertical resolution in the numerical forecasting of fog, *11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, American Meteorological Society, Hyannis, Massachusetts, USA, October 2004, http://ams.confex.com/ams/11aram22sls/techprogram/paper_81651.htm.
- WMO. 1988. *Manual on codes*, WMO, 1, sec. D, tab. 4677, Geneva, Switzerland.
- WEATHER RESEARCH CENTER. 1942a. *Climate and Weather of Southeast Asia. Part I. India, Burma and Southern China*, Publications of the Weather Research Center, V, U. S. Government Printing Office, U. S.
- WEATHER RESEARCH CENTER. 1942b. *Climate and Weather of the British Isles*, Publications of the Weather Research Center, VI, U. S. Government Printing Office, U. S.