

Análisis de la marcha interanual de fenómenos meteorológicos para las tres estaciones que triangulan la provincia La Habana, Cuba

Lourdes Álvarez-Escudero ^(*) e Israel Borrajero-Montejo ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Instituto de Meteorología. La Habana Cuba.*

E-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu, israel.borrajero@insmet.cu

Recibido: julio 30, 2013	Aceptado: noviembre 6, 2013
--------------------------	-----------------------------

Resumen

El estudio de los fenómenos meteorológicos presenta marcada importancia por la incidencia que estos pueden tener sobre las personas y los intereses socioeconómicos. Se realiza un estudio de la marcha interanual de los fenómenos identificados como: cielos despejados, humo, brumas, neblinas, nieblas, relámpago visible, lluvias, lluvias lejanas, chubascos y tormentas eléctricas, a partir de los registros trihorarios de código de tiempo presente, para las tres estaciones que triangulan el territorio de la provincia La Habana: Casablanca, Santiago de las Vegas y Tapaste, en el periodo 1980 - 2010. El análisis de la calidad de los datos, muestra que Casablanca presenta registros completos, mientras Santiago de las Vegas y Tapaste están muy afectadas, por no poseer información en horarios de la noche y la madrugada. En general los fenómenos de mayor ocurrencia son las brumas, los cielos despejados, las neblinas y las tormentas y en el caso particular de Casablanca las observaciones de humo. Tomando los años más completos se determina qué horarios son los más representativos de cada fenómeno para conformar las series de ocurrencia interanual y se aplica un análisis de estadígrafos de tendencia. La estación Casablanca muestra una disminución de los casos de cielos despejados, lluvias y lluvias lejanas y un aumento de las tormentas y el humo. Santiago de las Vegas muestra un aumento en las brumas y las tormentas y decrecen los cielos despejados y las nieblas, mientras en Tapaste hay un decrecimiento de los chubascos y un ligero crecimiento de las brumas.

Palabras clave: brumas, fenómenos meteorológicos, nieblas, tendencia, tormentas eléctricas

Analysis of the interannual course of meteorological phenomena for three stations that enclose the province of La Habana, Cuba

Abstract

The study of meteorological phenomena is of remarkable importance due to the impact they might have on people and social and economic interests. The objective of this work is to develop an study of the interannual course of those phenomena identified as: Clear sky, smoke, fogs, hazes, visible lightning, rain, distant rain, showers and thunderstorms, based on tri hourly records of current weather codes for three stations that triangulate the province of La Habana: Casablanca, Santiago de las Vegas and Tapaste, for the period 1980 – 2010. The analysis of data quality shows that Casablanca has complete records while Santiago de las Vegas and Tapaste are quite affected since they lack night time data. Overall the most common phenomena are fogs, clear skies, mists and thunderstorms. In Casablanca's case smoke observations are also frequent. Taking the most complete years it is determined which hours are the most representatives for each phenomenon to build the interannual occurrence series and a trend statistics analysis is applied. Station Casablanca shows a decrease on the number of cases of clear sky, rain and distant rain and an increase in the number of cases of thunderstorms and smoke. Santiago de las Vegas shows an increase in hazes and thunderstorms and a decrease in clear sky and fogs while Tapaste shows a decrease in showers and a slight increase in hazes.

Key words: fogss, hazes, meteorological phenomena, thunderstorm, trend

1. Introducción

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

Los fenómenos meteorológicos más estudiados en general son las tormentas eléctricas, las nieblas, las brumas y los diferentes tipos de lluvia. Estos fenómenos se han estudiado tanto desde el punto de vista de sus características físicas y climáticas (Eldridge, 1969; Morales y Ortega, 1994; Huffines y Orville, 1999; Dai, 2001a y 2001b, Kandalgaonkar et al., 2005; Mohee y Millar, 2010), como por su distribución espacial (WRC, 1942a, 1942b, 1942c; OMM, 1956; Ledesma, 2003; Christian et al., 2003; Guijarro y Heredia, 2004; Lay et al., 2007; Jackson et al., 2009) y su modelación y pronóstico (Bergot y Guedalia, 1994; Tardif, 2004a y 2004b; Pessi y Businger, 2009).

En Cuba los fenómenos más estudiados son las tormentas eléctricas (Lecha et al., 1994; Pozo et al., 2004; Álvarez et al., 2005, 2006a, 2006b; Novo, 2008; Álvarez et al., 2009a, 2012a, 2012 b, 2013) y las nieblas (Lecha et al., 1994; Álvarez et al., 2011a, 2011b) tocando en general tópicos como su ocurrencia, sus comportamientos diurno y anual, su distribución espacial, su marcha interanual y estudios de caso realizados con ayuda del radar y de la modelación.

La única fuente de información de donde pueden extraerse series largas de ocurrencia de fenómenos en Cuba, son los registros de las variables código de estado de tiempo presente y código de estado de tiempo pasado, determinados en la red de estaciones meteorológicas del país, donde todos los fenómenos no tienen igual cobertura debido a que los horizontes de las estaciones pueden ser cortos y no solaparse. Además estas series de registros pueden estar afectadas en general por la carencia de observaciones en varios horarios del día, principalmente en horas de la noche y la madrugada, por lo que al acometer un estudio de marcha interanual de fenómenos se debe ser muy cauteloso a la hora de estimar las cifras anuales de ocurrencia. Mezclar registros de tiempo presente con tiempo pasado puede limitar la cantidad de fenómenos a especificar, pero además el tiempo pasado es más vulnerable a la falta de horarios de observación (Álvarez, et al., 2009b).

Dentro de todas las estaciones meteorológicas de la Red de Estaciones de Cuba, las estaciones de Casablanca, Santiago de las Vegas y Tapaste, permiten dar una idea del comportamiento de las variables meteorológicas en la provincia La Habana, que constituye la capital y principal área urbana del país.

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio de la marcha interanual de los fenómenos identificados como: cielos despejados, humo, brumas, neblinas, nieblas, relámpago visible, lluvias, lluvias lejanas, chubascos y tormentas eléctricas, a partir de los registros trihorarios de código de estado de tiempo presente, para las tres estaciones que triangulan el territorio de la provincia La Habana, en el periodo 1980 - 2010.

2. Materiales y métodos

Los datos utilizados para la conformación de las series de ocurrencia de fenómenos son los registros de la variable código de estado de tiempo presente almacenados en la Base de Datos Nueva_THOR de uso en el Instituto de Meteorología de Cuba y actualizados hasta el 2010 (Álvarez et al., 2012a). Las series abarcarán el periodo 1980 - 2010. Los fenómenos a identificar y los códigos correspondientes de tiempo presente que los describen (WMO, 1988), se presentan en la Tabla I.

Tabla I. 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	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

Los códigos no representados en la Tabla I se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio.

La variable de trabajo será la frecuencia o por ciento 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 expresada o no en por ciento según conveniencia.

Las estaciones utilizadas para el estudio son Casablanca (325) y Santiago de Vegas (373) en la provincia de la Habana y Tapaste (374) en la provincia de Mayabeque. La posición de las estaciones, su altitud y la dirección y dimensión del máximo horizonte se recogen en la Tabla II. La representación de la posición de las estaciones se muestra en la Fig. 1.

Tabla II. Posición, altitud y horizonte máximo de las tres estaciones en estudio

No. de la estación	Nombre de la estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m)	Dirección del máximo horizonte	Distancia del máximo horizonte (km)
325	Casablanca	23.09	82.21	50.8	S	15
373	Santiago de las Vegas	22.59	82.23	77.4	E	35
374	Tapaste	23.00	82.08	120.43	N	5



Fig. 1. Representación de la posición de las tres estaciones en estudio en la parte occidental de Cuba

Para la determinación de la calidad de las series se evaluarán 4 indicadores dados por el largo de la serie (ILargo), el por ciento de información útil (IU), el sesgo mensual (Sm) y el sesgo horario (Sh). Los indicadores se definen tal y como se refleja en el trabajo de Álvarez y colaboradores (2012a) y la calidad general de la serie (ICALI) se define por promediación de los 4 índices definidos.

La metodología para la determinación de las tendencias de las series en estudio es la misma 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 según el siguiente convenio.

- Serie homogénea (representado por “0”)
- Serie decreciente significativa (10% de significación) (representado por “-1”)
- Serie decreciente altamente significativa (5% de significación) (representado por “-2”)
- Serie creciente significativa (10% de significación) (representado por “+1”)
- Serie creciente altamente significativa (5% de significación) (representado por “+2”)
- Los datos no eran suficientes o muy contradictorios para arribar a una conclusión (no se asigna valor a la representación).

3. Resultados y discusión

El resumen de los calificadores de calidad de las series se resume en la Tabla III. Aquí se observa que las series de código de estado de tiempo presente correspondientes a las estaciones de Santiago de las Vegas (373) y Tapaste (374) se ven muy afectadas por la ausencia de observaciones en horarios de noche y madrugada (01, 04 y 22 hora local) lo que se refleja en el calificador de “malo” para el índice de sesgo horario (Sm). Esta ausencia de datos de noche y madrugada no permite poder formar series de por ciento de ocurrencia por fenómenos teniendo en cuenta todas las observaciones del día, por lo que allí donde los datos estaban completos, se determinó el horario de mayor ocurrencia del fenómeno y se conformaron las series para esos horarios.

Tabla III. Calificadores por índices para cada estación en estudio. Aquí “E” significa excelente, “B” bueno, “R” regular y “M” malo

No. de la estación	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI
325	E	E	E	E	E
373	E	R	E	M	B
374	E	R	E	M	B

Por fenómenos los horarios de mayor ocurrencia del fenómeno y los horarios utilizados para conformar las series de marcha interanual se pueden observar en la Tabla IV.

Tabla IV. Horarios de mayor ocurrencia de los fenómenos en estudio. Todas las horas se refieren a hora local. Periodo diurno se refiere a los horarios desde las 07 hasta las 19 hora local

Fenómeno	Horarios de mayor ocurrencia	Horarios utilizados para el análisis de marcha interanual
Cielos despejados	Todos los horarios, fundamentalmente 07, 19 y 22	diurnas
Humo	Todos los horarios pero fundamentalmente a las 10, 19 y 22, en la estación de Casablanca	todos
Bruma	Diurnas	diurnas
Neblinas	Noche y madrugada, máximo a las 07	07
Nieblas	Noche y madrugada, máximo a las 07	07
Relámpago visible	Noche y madrugada, máximo a las 19 y 22	19
Lluvias	Todos los horarios, fundamentalmente 16, 19 y 22	diurnas
Lluvias lejanas	Diurnas	diurnas
Chubascos	Todos los horarios, fundamentalmente 13, 16 y 19	diurnas
Tormentas	Horarios de la tarde	diurnas

Los fenómenos más representativos para cada estación se muestran en la Fig. 2. Aquí se observa que los fenómenos de mayor ocurrencia son las brumas y los cielos despejados, con la excepción de la estación Casablanca (325) donde el fenómeno más avistado es el humo, fenómeno este con representación prácticamente nula en las otras dos estaciones. El comportamiento a través de los años del humo en Casablanca, dada la posición de la estación y el alcance de su horizonte puede dar un indicativo de la calidad del aire en la Ciudad de la Habana. Otros fenómenos con significativa ocurrencia son las neblinas, las tormentas y las lluvias lejanas.

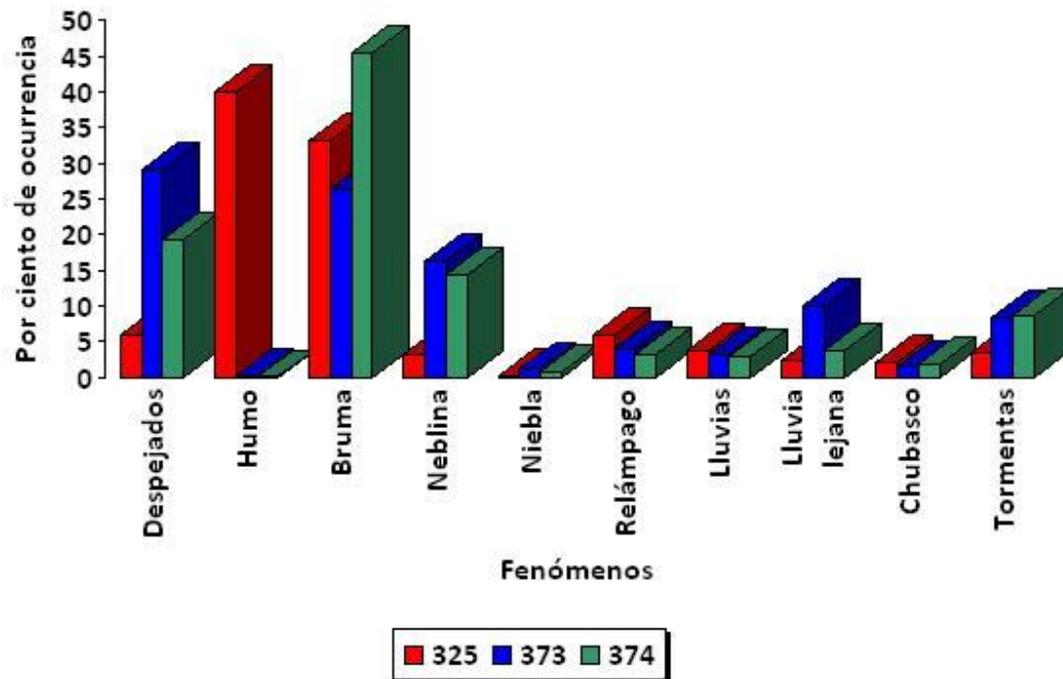


Fig. 2. Representatividad de los fenómenos para las tres estaciones en estudio

En la Tabla V se resume el análisis de homogeneidad realizado para cada una de las series en estudio, según la metodología citada en el acápite de “Materiales y Métodos” y según el horario u horarios recomendados para la construcción de las series.

Tabla V: Resumen de las características generales y comportamiento de los estadígrafos para las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones con determinado fenómeno, para las tres estaciones en estudio. Los conceptos de los identificadores de la primera fila se dan a continuación:

No: Número de la estación según el código de la OMM.

Fen: Fenómeno en análisis

H: Horario u horario para la construcción de la serie

Ini: Año de comienzo de la serie para el análisis

Fin: Año final de la serie para el análisis

Máx.: Máximo valor de la serie

Mín.: Mínimo valor de la serie

n0: Número de ceros en la serie

Comportamiento: Descriptor del comportamiento gráfico de la serie

sWW: Nivel de significación para el estadígrafo de Wald Wolfowitz (según convenio)

sS: Nivel de significación para el estadígrafo de Spearman (según convenio)

sMK: Nivel de significación para el estadígrafo de Mann Kendall (según convenio).

sF1: Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Spearman (según convenio).

sF2: Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Mann Kendall (según convenio).

nC: Número de cortes entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall.

xMK: Valor de la abscisa correspondiente al corte entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall (en caso de ser uno).

sP: Nivel de significación para el estadígrafo de Pettit (según convenio).

xP: Valor de la abscisa correspondiente al valor extremo del estadígrafo de Pettit.

No.	Fen	H	Ini	Fin	Máx	Mín	n0	Comportamiento	sWW	sS	sMK	sF1	sF2	nC	xMK	sP	xP
325	Despejados	diurnas	1980	2010	7.8	0.0	2	medio-bajo-alto	2	-2	-2	2	2	3	-	2	1998
373	Despejados	diurnas	1980	2010	37.0	6.0	0	Abrupta pronunciada	2	-2	-2	2	2	1	1987	2	1989
374	Despejados	diurnas	1980	2010	28.5	5.6	0	Fluctuante	2	0	0	2	2	5	-	1	2002
325	Brumas	diurnas	1980	2010	77.8	6.6	0	Fluctuante	2	0	0	2	2	3	-	0	1995
373	Brumas	diurnas	1980	2010	50.6	18.4	0	Creciente	2	2	2	2	2	1	1988	2	1988
374	Brumas	diurnas	1980	2010	63.6	41.5	0	medio-bajo-alto	2	0	1	2	2	1	2006	2	2001
325	Lluvias	diurnas	1980	2010	6.9	1.5	0	Decreciente en escalera	2	-2	-2	2	2	1	1993	2	1996
373	Lluvias	diurnas	1980	2010	5.0	1.7	0	Decreciente	0	-2	-2	2	2	7	-	2	1999
374	Lluvias	diurnas	1980	2010	3.6	1.0	0	Decreciente	0	-2	-1	0	0	1	2000	2	1996
325	Lluvias lejanas	diurnas	1980	2010	4.5	0.5	0	Abrupta	2	-2	-2	2	2	1	1991	2	1996
373	Lluvias lejanas	diurnas	1980	2010	18.0	6.8	0	Fluctuante	1	0	0	1	1	3	-	0	1987
374	Lluvias lejanas	diurnas	1980	2010	9.3	0.5	0	bajo-alto-bajo	2	0	0	2	2	3	-	2	1987
325	Chubascos	diurnas	1980	2010	4.2	0.8	0	medio-bajo-alto	1	0	0	1	1	3	-	1	1999
373	Chubascos	diurnas	1980	2010	2.2	0.2	0	Fluctuante	0	0	0	0	0	5	-	0	1987
374	Chubascos	diurnas	1980	2010	4.0	0.8	0	Decreciente en escalera	2	-2	-2	2	2	1	1990	2	1990
325	Tormentas	diurnas	1980	2010	7.9	3.0	0	Creciente en escalera	2	2	2	2	2	1	1995	2	1995
373	Tormentas	diurnas	1980	2010	13.5	7.6	0	Creciente	2	2	2	2	2	3	-	2	1988
374	Tormentas	diurnas	1980	2010	14.2	2.3	0	medio-alto-bajo	2	0	0	2	2	1	2010	1	2001
325	Neblinas	07	1980	2010	57.0	1.6	0	alto-medio-alto-bajo	2	-1	-2	2	2	5	-	1	2004
373	Neblinas	07	1980	2010	82.7	62.4	0	bajo-alto-bajo	2	0	0	2	2	3	-	1	2004
374	Neblinas	07	1980	2010	77.5	36.9	0	bajo-alto-medio	2	0	0	2	2	3	-	2	2002
325	Nieblas	07	1980	2010	2.1	0.0	4	alto-bajo-alto-medio	1	0	0	1	1	1	1988	1	1987
373	Nieblas	07	1980	2010	7.9	1.1	0	Decreciente	2	-2	-2	2	2	1	1987	2	1990
374	Nieblas	07	1980	2010	8.9	1.0	0	bajo-alto-medio	2	0	0	2	2	1	2000	2	1999
325	Relámpago	19	1980	2010	8.2	1.0	0	Fluctuante	0	0	0	0	0	5	-	0	2002
373	Relámpago	19	1980	2010	17.8	2.4	0	Fluctuante	2	0	0	2	2	1	2004	0	1996
374	Relámpago	19	1980	2010	12.9	2.7	0	medio-alto-bajo	2	-1	-2	2	2	1	2007	2	1997
325	Humo	19	1980	2010	73.5	15.6	0	Creciente	2	2	2	2	2	1	2002	2	1996

El análisis de la Tabla V permite hacer un resumen del comportamiento de la marcha interanual de cada uno de los fenómenos presentados para cada una de las estaciones en estudio. La estación Casablanca (325) (**Fig. 3**) presenta una tendencia creciente altamente significativa de los casos de tormentas con un punto de cambio bien identificado en 1995 y los de humo con un cambio no preciso entre 1996 y 2002. Esta tendencia creciente de la ocurrencia de observaciones con humo se hace más visible en la **Fig. 4**, donde se observan valores más elevados al inicio de la serie, que van disminuyendo paulatinamente hasta 1993 donde es mínimo y después comienza un crecimiento con valores en general por encima del 40% del total de observaciones. Este comportamiento puede estar relacionado con la actividad económica en la capital del país y su baja en el primer lustro de los noventa, por lo que este tipo de observación puede dar un indicio del nivel de contaminación en la ciudad, donde no se poseen registros de series largas de la calidad del aire.

En la **Fig. 3** también se observa un decrecimiento en el número de observaciones asociadas a cielos despejados, lluvias en la estación y lluvias lejanas con un punto de cambio entre los años 1991 y 1996 (donde también se observa el crecimiento de las tormentas y el humo) y una disminución menos significativa de las neblinas.

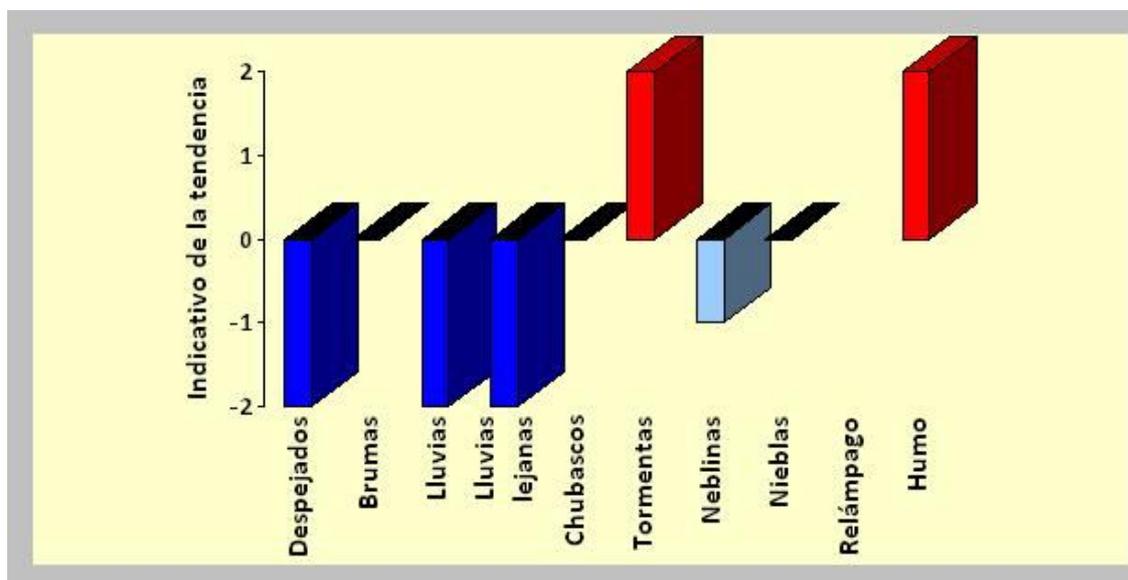


Fig. 3. Resumen del análisis de homogeneidad de las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones para los fenómenos en estudio en la estación meteorológica de Casablanca (325)

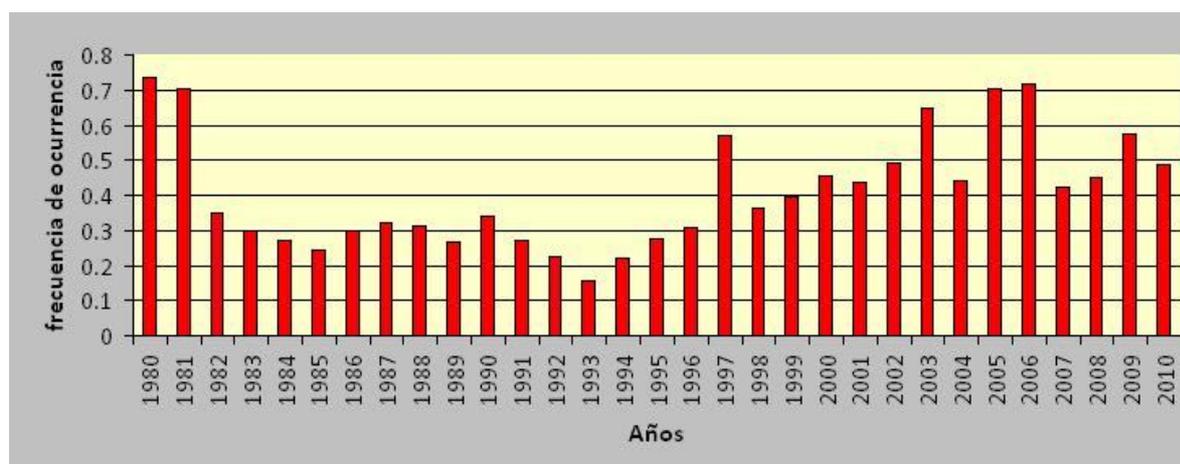


Fig. 4. Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con humo para la estación Casablanca (325)

En la estación Santiago de las Vegas (373) (Fig. 5) se observa un crecimiento en la cantidad de observaciones para las brumas y las tormentas, con puntos de cambio entre los años 1987 y 1989 y un decrecimiento de los cielos despejados y las nieblas con un punto de cambio también en el entorno de esos años. Para las lluvias en la estación y los chubascos los análisis son contradictorios y no puede arribarse a conclusiones. La serie no presenta observaciones con humo.

El marcado crecimiento de las brumas coincide con el marcado decrecimiento de los cielos despejados a partir del año 1986 donde los gráficos de las marchas interanuales se cruzan, tal y como se observa en la Fig. 6. Este comportamiento puede dar un indicativo del cambio del contenido de aerosoles en la atmósfera y de la reducción de la visibilidad para este punto de estudio.

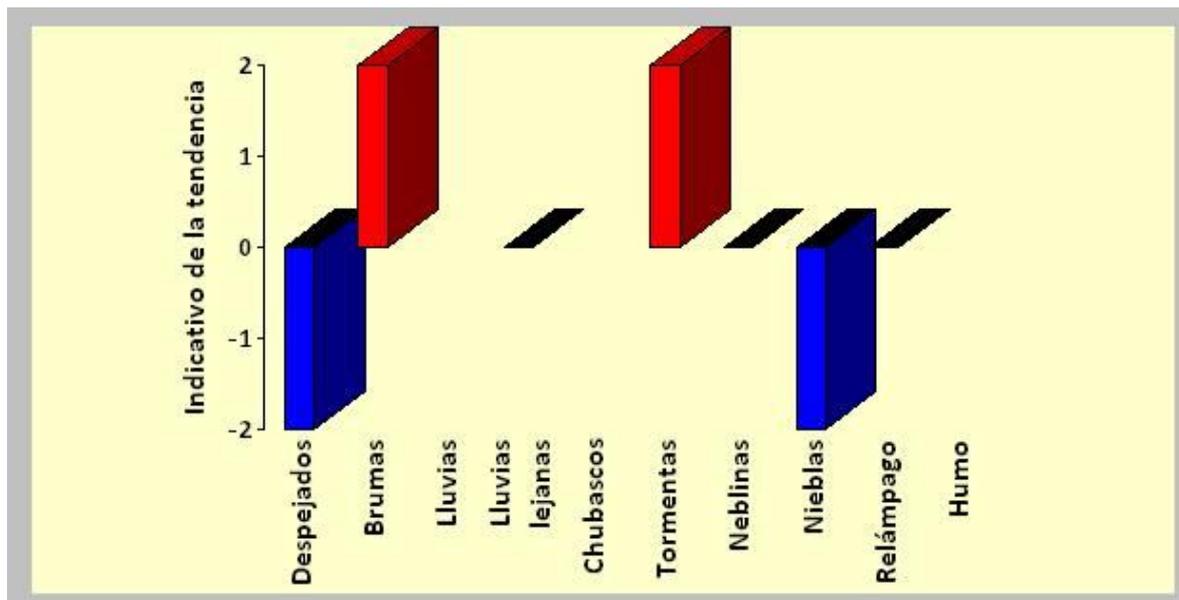


Fig. 5. Resumen del análisis de homogeneidad de las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones para los fenómenos en estudio en la estación meteorológica de Santiago de las Vegas (373)

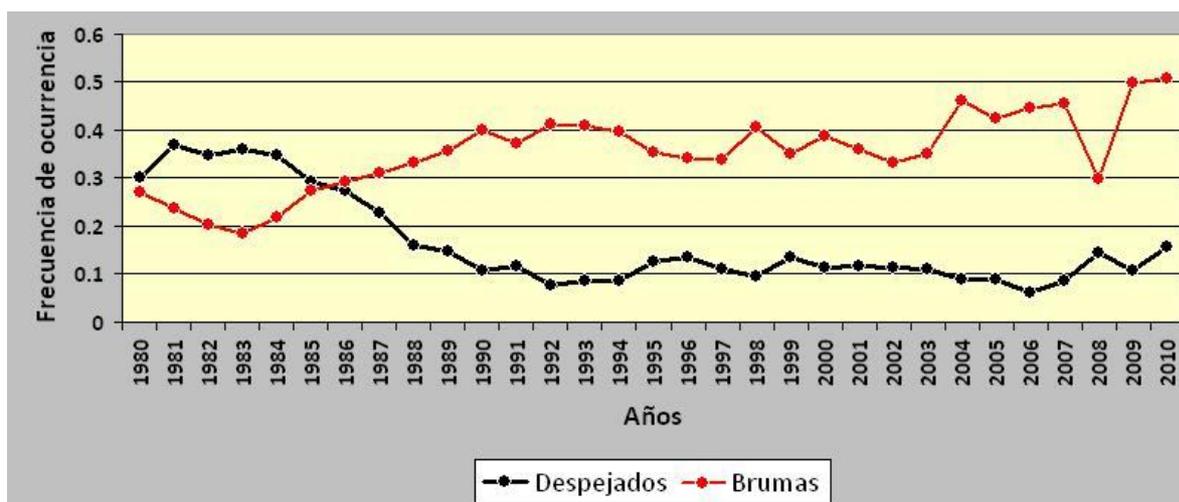


Fig. 6. Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con cielos despejados y brumas para la estación Santiago de la Vegas (373)

La estación Tapaste (374) (Fig. 7) solo muestra un aumento significativo de las observaciones referentes a las brumas con un punto de cambio hacia el final de la serie donde el aumento se hace pronunciado y una disminución significativa de de los relámpagos y altamente significativa de los chubascos con un punto de cambio este último en 1990. Las observaciones con humo son prácticamente inexistentes y la serie de lluvias en la estación presenta contradicción en la evaluación de los estadígrafos por lo que no se arriba a conclusiones.

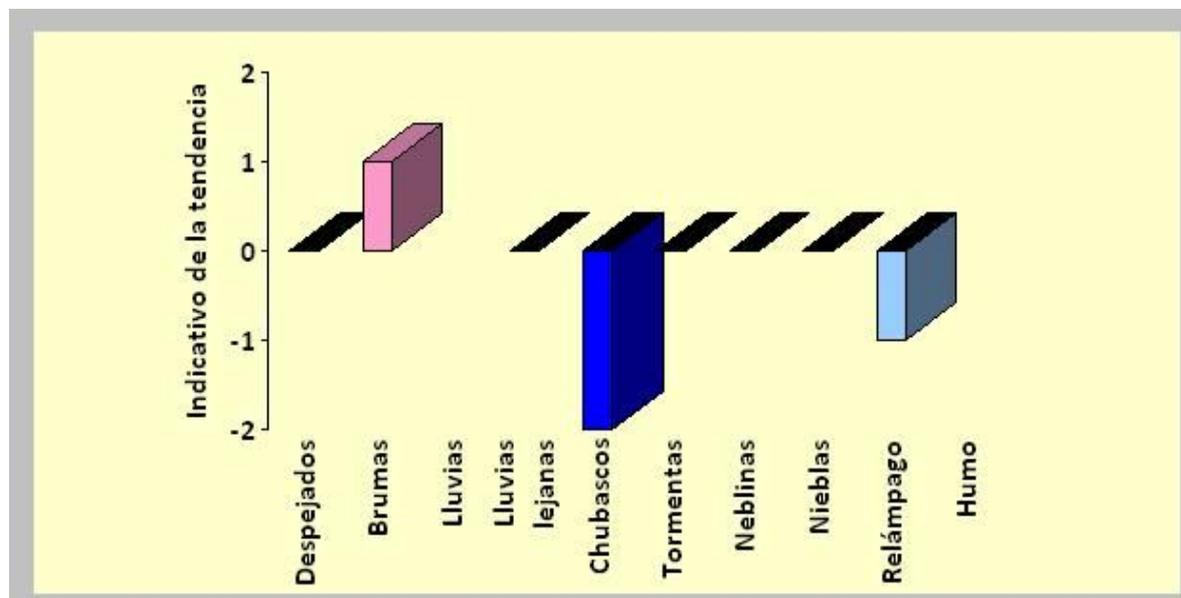


Fig. 7. Resumen del análisis de homogeneidad de las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones para los fenómenos en estudio en la estación meteorológica de Tapaste (374)

La estación meteorológica de Tapaste, aunque por su posición, junto a Casablanca y Santiago de las Vegas, triangulan a la provincia La Habana, no es muy representativa para el estudio de la mencionada provincia desde el punto de vista de fenómenos cuya determinación dependan del alcance en el horizonte de la estación, ya que Tapaste presenta un horizonte máximo de 5 km hacia el norte y en esta dirección está flanqueada por alturas, fundamentalmente las Alturas Habana – Matanzas, a mayor nivel que la propia estación.

En general se observa en el área de estudio (provincia La Habana) un crecimiento de las observaciones de fenómenos reductores de la visibilidad relacionados con niveles bajos de humedad (brumas y humo), un aumento de las tormentas y una disminución de las neblinas, nieblas, lluvias y chubascos según la estación. Los cielos despejados muestran una disminución tanto en Casablanca como en Santiago de las Vegas.

Conclusiones

La calidad de las series de observaciones de código de estado de tiempo presente no es igual para las tres estaciones en estudio y su principal limitación radica en la falta de observaciones en horarios de noche y madrugada.

Los fenómenos de mayor ocurrencia en el área de estudio son los cielos despejados y las brumas, con la excepción de la estación Casablanca donde son predominantes las observaciones de humo, ausentes en las otras dos estaciones analizadas.

En la estación Casablanca hay una disminución de los cielos despejados, las lluvias y las neblinas y un aumento de las observaciones de humo y las tormentas.

La estación Santiago de las Vegas al igual que Casablanca muestra un decrecimiento de los cielos despejados y un aumento de las tormentas, aunque también se observa un crecimiento de las brumas y un decrecimiento de las nieblas.

La estación Tapaste muestra un comportamiento homogéneo en la mayoría de las series interanuales de fenómenos con solo un crecimiento significativo de las brumas y un decrecimiento altamente significativo de los chubascos y significativo de los relámpagos.

En la provincia de La Habana se observa un crecimiento de 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 chubascos según la estación.

Referencias

- Álvarez L.; R. Álvarez.; I. Borrajero; L. Aenlle (2005). Distribución espacial de las tormentas eléctricas y su tendencia en la región occidental de la Isla de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 12(2): 35-42.
- Álvarez L.; I. Borrajero; R. Álvarez (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.
- Álvarez L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle (2006b). Relación entre probabilidad de ocurrencia de días con lluvia y tormentas eléctricas en Casablanca y Camagüey. IAHS Red Books, Publ. 308, 300 - 305.
- Álvarez L.; I. Borrajero; R. Álvarez (2009a). Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, con tormentas con lluvias sobre la estación y días con tormentas para el territorio cubano. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1): 14-22.
- Álvarez, L.; I. Borrajero; R. Álvarez; L. Aenlle; N. Fernández; C. Iraola (2009b). Análisis de la representatividad de los datos de código de tiempo pasado para el fenómeno niebla. Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología. Ciudad Habana, del 30 de noviembre al 4 de diciembre del 2009. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, F:\Data\Trabajos completos.pdf, pp. 1486 – 1500.
- Álvarez L., I. Borrajero, R. Álvarez, A. León (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*, No. 12, 31-46, ISSN 1729-3790, RNPS 1933, http://www.iga.cu/Publicaciones/revista/cte_12/Art_3_12/Articulo3_12.html
- Álvarez L., I. Borrajero, R. Álvarez, I. Rivero, M. Carnesoltas, A. Calnick, V. Guevara, M. Limia, A. León, Y. Rojas, (2011b). Distribución espacial de los fenómenos neblinas y nieblas en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 17(2): 58-67.
- Álvarez L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle, I. Rivero, C. Iraola, Y. Rojas, M. Hernández (2012a). Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano. *Revista de Climatología*, vol. 12, p 1-21, publicación en línea (ISSN 1578-8768), <http://webs.ono.com/reclim/reclim12a.pdf>
- Álvarez L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle, M. Bárcenas (2012b). Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1): 109-125.
- Álvarez, L, Borrajero, I, Álvarez, R, Rivero, I, Carnesoltas, M, Rojas Y (2013). Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, Segunda Época, enero-junio, 2013, 14(1): 5-13.
- Bergot T.; D. Guedalia (1994). Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part I: Numerical Model and Sensitivity Tests. *MWR*, 122(6): 1218–1230.
- Christian, H. J., R. J. Blakeslee, D. J. Boccippio, W. L. Boeck, D. E. Buechler, K. T. Driscoll, S. J. Goodman, J. M. Hall, W. J. Koshak, D. A. Mach, M. F. Stewart (2003). Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *J. Geophys. Res.*, 108(D1), 4005, doi:10.1029/2002JD002347.
- Dai A (2001a). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations. *Journal of Climate*, 14(6):1092-1111.
- Dai A (2001b). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations. *Journal of Climate*, 14(6):1112-1128.
- Eldridge R. G. (1969). Mist - The Transition from Haze to Fog. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 50(6): 422-426.
- Guijarro J. A., M. A. Heredia (2004). Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares. *Revista de Climatología*, 4: 9-19
- Huffines G., R. Orville (1999). Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 1013 – 1019.
- Jackson, B., S. E. Nicholson, D. Klotter (2009). Mesoscale Convective Systems over Western Equatorial Africa and Their Relationship to Large-Scale Circulation. *Mon. Wea. Rev.*, 137: 1272–1294.

- Kandalgaonkar S. S., M. I. R. Tinmaker, A. Nath, M. K. Kulkarni, H. K. Trimbake (2005). Study of thunderstorm and rainfall activity over the Indian region. *Atmósfera*, 18(2): 91-101.
- Lay, E. H., A. R. Jacobson, R. H. Holzworth, C. J. Rodger, R. L. Dowden (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.; L. R. Paz, B. Lapinel, [editores] (1994). *El Clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
- Ledesma G. (2003). *Meteorología Aplicada a la Aviación*. Thomson Editores Spain Paraninfo S. A., 534 pp.
- Mohee F. M., C. Millar (2010). Climatology of Thunderstorms for North Dakota, 2002–06. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49: 1881–1890.
- Morales C.; M. T. Ortega (1994). Aproximación al estudio de las nieblas en el valle medio del Duero. Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid. [en línea]. Consulta: 20 de septiembre del 2010. Disponible en: <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(1): 41 - 50.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) (1956). World distribution thunderstorm days. WMO No. 21, TP 21, 71 pp.
- Pessi A. T., S. Businger (2009). Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48: 833–848.
- Pozo D.; D. Martínez; J. C. Marín; I. Borrajero; A. Bezanilla (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 Nuevitás, Camagüey. *Revista Cubana de Meteorología*, 11(2): 22 – 34.
- Sneyers R (1990). On the statistical analysis of series of observations. Technical Note No. 143, WMO No. 415, 192 pp.
- 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. [en línea]. Consulta: 13 de septiembre 2009. Disponible en: 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. [en línea]. Consulta: 13 de septiembre 2009. Disponible en: http://ams.confex.com/ams/11aram22sls/techprogram/paper_81651.htm
- WMO (1988). Manual on codes. WMO – No. 306, Volume 1, Sección D, Table 4677.
- WRC (1942a). Climate and Weather of Southeast Asia. Part I. India, Burma and Southern China. Publications of the Weather Research Center, Vol. V, No. 3, 130 pp.
- WRC (1942b). Climate and Weather of the British Isles. Publications of the Weather Research Center, Vol. VI, No. 2, 126 pp.
- WRC (1942c). Climate and Weather of the West Coast of Africa and the Eastern Atlantic Islands. Publications of the Weather Research Center, Vol. II, No. 3, 40 pp.

Acerca de los autores:

Lourdes Álvarez-Escudero.

Doctora en Ciencias Meteorológicas, investigadora y profesora titular del Instituto de Meteorología con 25 años de experiencia laboral, con una prolífera labor investigativa y docente, más de 114 publicaciones, ha participado en más de 120 eventos nacionales e internacionales relacionados con la meteorología, con destacadas distinciones y reconocimientos científicos, miembro del Consejo Editorial de la revista Ciencias de la Tierra y el Espacio y de la Revista Cubana de Meteorología.

Israel Borrajero-Montejo.

Licenciado en Física y se desempeña como Investigador agregado del Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología. En 30 años de experiencia laboral ha investigado sobre el comportamiento de la radiación solar en Cuba y en la modelación numérica del tiempo y el clima. Ha dirigido proyectos de investigación relacionados con el cálculo de radiación solar a partir de imágenes satelitales.