

Aspectos climatológicos de las turbonadas en la Ciudad de La Habana

ARNALDO P. ALFONSO

RESUMEN

A partir de los datos del período 1963-1976 de ocurrencia de turbonadas en Casa Blanca, Ciudad de La Habana, se determinan las frecuencias anual y mensual de días con turbonada y se comparan con las obtenidas en otras regiones del mundo. Un período con gran actividad se presenta de mayo a octubre, y se propone un criterio empírico para determinar su extensión en un año cualquiera. Se estudia la relación entre la frecuencia de días con turbonadas y algunos elementos climatológicos. Por otra parte, se determinaron las distribuciones de frecuencia de la hora de ocurrencia, precipitación asociada, e intensidad, y se calculó una función de distribución aproximada para esta última.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las características de las turbonadas en una gran ciudad como La Habana, en donde se presentan frecuentemente, es de importancia para la planificación y ejecución de muchas actividades. Sin embargo, hasta muy recientemente se había prestado poca atención a este problema, que se mencionaba sólo brevemente en descripciones generales acerca del clima de la Ciudad. El INSTITUTO DE METEOROLOGÍA (1973), en su resumen climatológico por estaciones, presentó datos acerca del número de días con turbonadas en Casa Blanca y Santiago de las Vegas, estaciones ambas situadas en la Provincia Ciudad de La Habana. R. Álvarez (inédito)¹ confeccionó un mapa del número anual de días con turbonadas en Cuba.

Otros investigadores se han ocupado de los problemas del pronóstico a corto plazo de la formación de las turbonadas que afectan a la Ciudad.

Manuscrito aprobado el 9 de junio de 1986.

A. P. Alfonso pertenece al Instituto de Meteorología, de la Academia de Ciencias de Cuba.

¹ "Estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de Cuba." Tesis para el grado de Candidato a Doctor, Instituto de Física de la Atmósfera, Moscú, 1978.

En todos los casos, una dificultad esencial que influyó en los resultados obtenidos fue la falta de homogeneidad de los datos básicos, derivada del uso de criterios distintos para designar el suceso turbonada en la estación, en cada una de las estaciones, o los cambios de criterio en una misma estación en el tiempo.

Al confeccionar este trabajo se ha hecho un esfuerzo por superar estas dificultades y por lograr una descripción lo más amplia posible de las peculiaridades de las turbonadas en la Ciudad de La Habana. Un trabajo similar, pero aplicado a la Ciudad de Cienfuegos, fue preparado por A. Fernández (inédito)².

2. DATOS BÁSICOS

A partir de 1963, se estableció en la estación meteorológica de Casa Blanca un registro de la ocurrencia de turbonadas. El criterio para determinar el suceso turbonada en la estación es oír el trueno, y se designa como día con turbonada a aquel en que el trueno se escuchó al menos una vez. Se considera que una turbonada se inicia cuando se oye el primer trueno y termina 15 min después de escucharse el último, o sea, de la misma manera como lo establece el Código Sinóptico WBAN 10A, en uso en las estaciones meteorológicas cubanas.

Las turbonadas se clasifican en dos grupos: aquéllas que producen precipitación en la estación y las que no la producen; a estas últimas se las denomina turbonadas lejanas.

En el registro se consignan, en el caso de las turbonadas que afectan la estación: la precipitación que cayó, el viento máximo que produjo, el o los cuadrantes desde los cuales vino y si ocurrieron o no fenómenos especiales (granizo, trombas, etc.); también las horas de comienzo y terminación, los cuadrantes en que se observan, y la distancia estimada, cuando se trata de turbonadas lejanas.

En este trabajo se utilizan todos los reportes de turbonadas de ambos tipos, del período 1963-1976, a excepción de los datos de las turbonadas lejanas del año 1970, que no constan en los registros.

Al preparar la serie de datos de días con turbonadas, sólo con esta información, se encontró que no había homogeneidad. Se descubrió que ello se debía a que, a partir de 1970, se omitieron algunos reportes de turbonadas lejanas. Entonces se recurrió a la información sobre el tiempo presente y pasado que existe desde 1971 y se completaron los datos. El resultado obtenido al estudiar la aleatoriedad de la muestra con el método presentado por HOEL (1972), que se

² "Los sistemas convectivos en la Ciudad de Cienfuegos". Trabajo propuesto para publicación.

puede aplicar a un número reducido de datos, es que el número de rufas obtenido con los datos, que es de 8, es menor que el valor interpolado de 10,8 correspondiente al valor $n_a = n_b = 7$, y, por lo tanto, puede aceptarse la aleatoriedad de la muestra. Como la omisión del asentamiento de los datos de algunas turbonadas por negligencia del observador puede considerarse un suceso aleatorio, se da por sentado que la pérdida de información de los casos omitidos no modifica perceptiblemente las distribuciones obtenidas de las características de las turbonadas.

Las series de datos de las estaciones de Santiago de las Vegas, ubicada dentro del área que ocupa la Provincia Ciudad de La Habana, y de las estaciones de la Provincia de La Habana, no pueden ser utilizadas para cálculos exactos a causa de su falta de homogeneidad, pero se utilizan de forma limitada, sobre todo los datos de los años recientes.

3. REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS DE CASA BLANCA

El mapa de la Fig. 1, construido con datos de los años 1975 y 1976, permite apreciar que el número anual de días con turbonada es máximo en el centro del territorio formado por las provincias de Ciudad de La Habana y La Habana, un resultado esperado si se tiene en cuenta que el calentamiento diurno y los sistemas de brisa condicionan la distribución de la actividad convectiva y el flujo predominante en niveles bajos es de región E. Una distribución similar se encuentra en las islas o penínsulas de otras regiones subtropicales y tropicales, como en Puerto Rico (RIELH, 1954) y en la Florida (NEUMANN, 1971), aunque la posición del máximo puede estar desplazada en un sentido u otro, de acuerdo con la orientación de las costas.

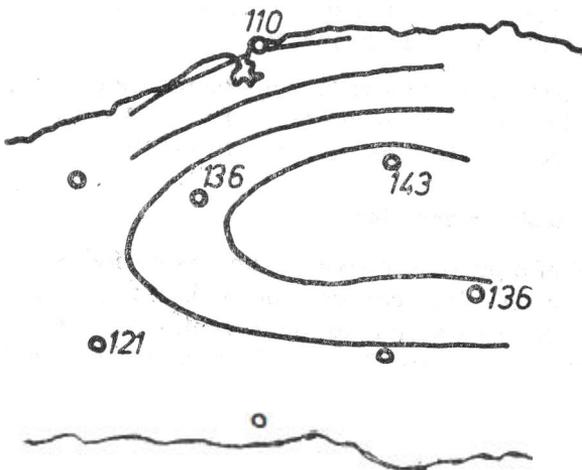


FIG. 1. Número anual de días con turbonadas.

De manera que existe un aumento en la frecuencia de turbonadas tierra adentro y, por lo tanto, los datos de Casa Blanca corresponden al mínimo de la costa *N*. No obstante, si aceptamos que una estación puede registrar toda turbonada en un radio de 20 km (OMM, 1953) y tenemos en cuenta que la mayoría de las que se observan desde Casa Blanca se forman en tierra, podemos concluir que casi todas las turbonadas que afectan la Provincia Ciudad de La Habana están incluidas como casos en el registro de esa estación meteorológica, si se entiende por afectar el hecho de que se produzcan precipitación, rachas de viento y descargas eléctricas sobre la ciudad, y no el solo hecho de escucharse el trueno.

4. DÍAS CON TURBONADA

4.1 Cantidad anual

El número anual de días con turbonada en la Ciudad de La Habana es elevado con respecto a los valores más frecuentes, a la misma latitud, y en la región en que Cuba se encuentra situada. Casa Blanca, con 102 días, tiene una frecuencia mayor de días con turbonada que muchos puntos próximos al paralelo 23°*N*, en tanto que los datos iniciales que se poseen de Santiago de las Vegas permiten estimar que allí se presentan turbonadas en unos 130 días del año, cifra que representa un máximo para la latitud. Esta última frecuencia es comparable a la de América Central y superior a la de las otras Antillas (OMM, 1953) y a la de la Florida (BYERS y BRAHAM, 1949).

Como que la muestra utilizada (13 totales anuales) es pequeña, resulta conveniente conocer el intervalo de confianza dentro del que puede suponerse se encuentra la media poblacional. Al emplear la distribución de Student (FREUND, 1977), se encontró que el intervalo de confianza de 95% es $97 < \mu < 107$, que revela que la muestra brinda buena información sobre este elemento.

El número de días con turbonada varía sensiblemente de un año a otro. El coeficiente de variación es de 86%. En 1974 ocurrió el mínimo, 85 días, y el máximo, 116 días, se produjo en 1976.

4.2 Períodos del año. Totales mensuales

La Fig. 2 muestra que el año puede ser dividido en dos períodos, en lo que a las turbonadas respecta. Uno con gran actividad, que corre de mayo a octubre, y otro con poca actividad, de noviembre a abril. Las máximas ocurren en julio y agosto (22 y 21 días, respectivamente) y las mínimas en diciembre y enero (promedio inferior a 1 día). La pequeña máxima relativa de febrero responde al incremento de turbonadas prefrontales que se produce en la época más fría del año, que coincidió con ese mes en el intervalo 1963-1976.

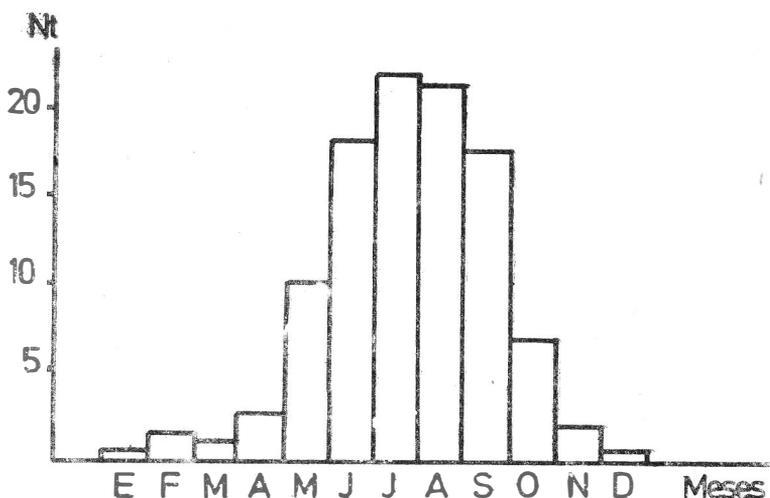


FIG. 2. Número mensual de días con turbonadas en Casa Blanca, Ciudad de La Habana.

Para el número mensual de días con turbonada en Casa Blanca, se indica a continuación la desviación estándar y el coeficiente de variación (entre paréntesis): enero, 1,2 (2,0); febrero, 1,0 (0,9); marzo, 1,1 (1,1); abril, 2,3 (1,0); mayo, 5,9 (0,6); junio, 3,7 (0,2); julio, 2,6 (0,1); agosto, 3,4 (0,2); septiembre, 3,2 (0,2); octubre, 3,5 (0,5); noviembre, 1,8 (1,1); diciembre, 0,9 (1,5). Se advierte que el coeficiente de variación varía inversamente con el número de días con turbonada. En los meses del período con poca actividad meramente indica el carácter casi fortuito del fenómeno, sobre todo en los meses de noviembre a enero. Las características transicionales de mayo y octubre están claramente evidenciadas. Los intervalos de confianza de las medias poblacionales mensuales no son anchos en el caso de los meses del período con gran actividad y, por lo tanto, se pueden considerar las medias muestrales como una buena aproximación a los valores poblacionales.

En Cuba no se han formulado criterios para determinar cuándo debe considerarse que comienza en un año cualquiera el período con gran actividad de turbonadas. Del examen de los datos de Casa Blanca puede deducirse un criterio empírico para fijar tanto la fecha de comienzo como la de terminación de dicho período y que es como sigue: Se considera que el período con gran actividad de turbonadas comienza (termina) en la Ciudad de La Habana, el primer (último) día de una serie de tres o más días consecutivos con turbonadas,

siempre que no haya (que haya) un período de siete, o más, días consecutivos sin turbonadas a continuación.

Como ocurre con todo criterio empírico, el propuesto está sujeto a crítica. Sin embargo, las fechas obtenidas utilizándolo coinciden con cambios importantes de la circulación a escala sinóptica en nuestra área, en muchos casos, sobre todo en lo que respecta a la fecha de terminación.

Las fechas de comienzo y terminación de la temporada con gran actividad de turbonadas en la Ciudad de La Habana, en el período 1963-1976, son las siguientes: 1963, mayo 25 - octubre 3; 1964, mayo 13 - septiembre 25; 1965, mayo 23 - octubre 13; 1966, mayo 1 - septiembre 27; 1967, junio 13 - octubre 3; 1968, mayo 5 - octubre 2; 1969, junio 16 - septiembre 25; 1970, no hay datos; 1971, junio 3 - noviembre 4; 1972, mayo 2 - octubre 4; 1973, junio 3 - octubre 9; 1974, mayo 13 - octubre 2; 1975, junio 7 - octubre 5; 1976, mayo 16 - octubre 17. Se observa aquí que las fechas de comienzo varían mucho de un año a otro, pues este período se inicia en algún día del mes de mayo, sin que parezca existir preferencia por ninguna parte del mes, y puede retrasarse mucho en algunas ocasiones. La fecha de terminación es menos variable, en 69% de los casos el período concluyó entre el 25 de septiembre y el 5 de octubre. El período con gran actividad tiene pues una duración de 4 a 5 meses, por lo que es más corto que la época con grandes precipitaciones, que suele durar de 5 a 6 meses.

4.3 Correlación con otros elementos climatológicos

La correlación entre los totales mensuales de precipitación y del número de días con turbonadas es pobre. El coeficiente de correlación es de sólo 0,65. La actividad máxima de turbonadas se corresponde con un mínimo relativo de las precipitaciones, en tanto que en el mes de octubre, que es el más lluvioso del año en la Ciudad, la ocurrencia de turbonadas presenta el mínimo del período con gran actividad.

Esta disparidad tiene que ver con los mecanismos productores de precipitación y con la ubicación geográfica de la estación meteorológica de Casa Blanca. Como mostrara BURLUTSKY (1973), las precipitaciones relacionadas con procesos sinópticos afectan por igual toda la Provincia Ciudad de La Habana, en tanto que las turbonadas de masa de aire, incrementadas y gobernadas por sistemas de circulación a mesoescala, que se desarrollan en el interior, suelen alejarse de la costa al avanzar la brisa tierra adentro. En junio, septiembre y octubre son numerosos los procesos sinópticos productores de precipitación, en tanto que en julio y agosto la mayor parte de la precipitación procede de las turbonadas de masa de aire.

La marcha anual de la temperatura sí coincide con la del número de días con turbonada. El coeficiente de correlación para las medias mensuales es de 0,93 y alcanza 0,95 en el caso de la temperatura máxima media. Las máximas y las mínimas de ambos elementos se corresponden bien. Este hecho no es sorprendente pues es bien conocido el rol que desempeña el calentamiento diurno en la formación de las turbonadas (BYERS y BRAHAM, 1949).

5. NÚMERO DE TURBONADAS. FRECUENCIA RELATIVA DE TURBONADAS QUE PRODUCEN PRECIPITACIÓN

El número de turbonadas no es mucho mayor que el de días con turbonada, por lo que lo más frecuente será observar una turbonada por día activo. El cociente número de turbonadas entre días con turbonada apenas varía a lo largo del año y nunca es mayor que 1,4. Los valores máximos de este cociente corresponden a junio y agosto.

A continuación se ofrecen los promedios mensuales y anual del número de turbonadas, y los porcentajes (entre paréntesis) de las turbonadas que producen precipitación en Casa Blanca: enero, 1 (67%); febrero, 1 (67); marzo, 1 (18); abril, 3 (43); mayo, 13 (35); junio, 25 (30); julio, 27 (27); agosto, 29 (24); septiembre, 23 (33); octubre, 9 (30); noviembre, 2 (28); diciembre, 1 (38); anual, 135 (30). Estas cifras permiten apreciar que, si bien la actividad de turbonadas es máxima en julio y agosto, la máxima de las turbonadas que producen precipitación corresponde a junio y septiembre, asociada a procesos sinópticos. Sin embargo, los porcentajes de turbonadas que producen precipitación en Casa Blanca son máximos de diciembre a febrero. Esto se debe a que las pocas turbonadas en esa época del año suelen presentarse en líneas extensas de movimiento rápido y afectan áreas grandes. El mínimo de julio y agosto obedece a causas ya explicadas anteriormente.

6. HORA DE COMIENZO

En cualquier época del año la actividad de turbonadas es máxima entre las 12:00 y las 19:00 horas. De todas las turbonadas de que se poseen datos de las horas de ocurrencia (1 773 casos), 82% se inició en ese intervalo de tiempo, en tanto que 93% de ellas comenzaron en algún momento entre las 11:00 y las 22:00 horas. El papel fundamental que desempeña el calentamiento diurno en el desarrollo de las turbonadas es evidente. La Fig. 3 muestra que la distribución de las horas de comienzo es ligeramente asimétrica. Se intentó ajustar una distribución normal a los datos del intervalo 11:00-22:00, pero el criterio de χ^2 indicó rechazo. Por las características de la distribución, parece que el ajuste de otra función es un problema complejo, fuera del alcance de este trabajo.

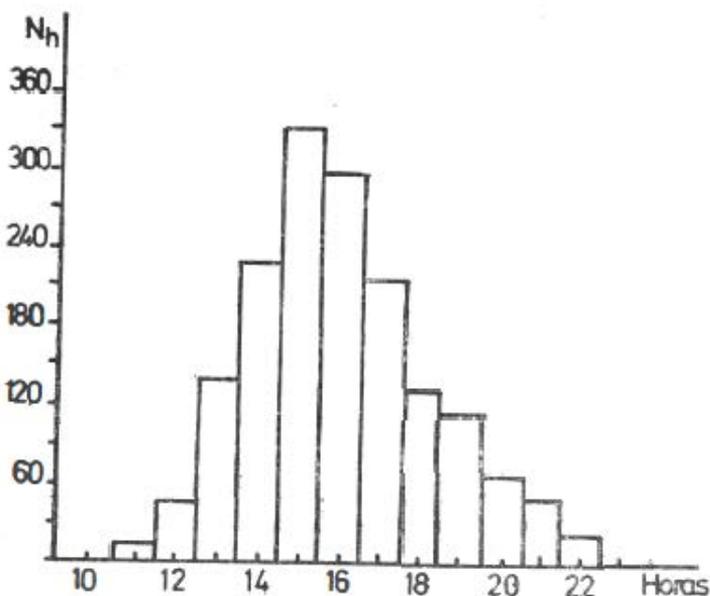


FIG. 3. Horas de comienzo de las turbonadas en Casa Blanca, Ciudad de La Habana, en el período con gran actividad. N_h es el número de casos en cada intervalo de una hora. El número total de casos es 1 520; $\bar{X} = 15:24$ horas y $DE = 2$ horas 8 min.

Existen diferencias muy pequeñas entre las distribuciones de los diferentes meses. Se utilizó el criterio de la distribución normal para valorar estas deficiencias y se encontró que éstas no son significativas entre pares de meses dentro del período con gran actividad. La media para esos meses se ubica entre las 15:00 y las 15:30. La desviación estándar es prácticamente la misma para todos los meses (unas 2 horas).

La diferencia entre los períodos con poca y gran actividad sí es significativa. Durante el período con poca actividad, la media se corre a las 16:00 horas y la desviación estándar aumenta hasta 2 horas y 30 min.

7. INTENSIDAD

El Departamento de Pronósticos (INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, 1976) utiliza una clasificación de la intensidad de las turbonadas, atendiendo a la racha máxima, que las divide en:

(A) Ligeras: Racha máxima inferior a los 49 km/h

(B) Moderadas: Racha máxima (r) tal que: $49 \leq r \leq 64$

(C) Fuertes: Racha máxima mayor que 64 km/h

Puede añadirse el término severa para las turbonadas cuya racha máxima sea superior a los 92 km/h (50 nudos), dado que se producen daños a causa de rachas mayores de esa intensidad en casi todos los casos en que se presentan.

De las 521 turbonadas con precipitación que afectaron Casa Blanca en los años que se consideran aquí, 396 fueron ligeras, 75 moderadas y 50 fuertes, de estas últimas sólo 6 merecen el calificativo de severas y todas ocurrieron en el período con gran actividad.

La racha más intensa asociada a una turbonada fue de 111 km/h. Como la serie de observaciones es relativamente larga, parece que las turbonadas no suelen alcanzar notables intensidades en Casa Blanca. Los registros (de comienzo reciente) de las nuevas estaciones meteorológicas de las regiones del interior muestran ya numerosos casos de rachas superiores asociadas a las turbonadas, y parece razonable asumir que la frecuencia de turbonadas intensas aumenta hacia el S desde la costa, en la Provincia Ciudad de La Habana. De todos modos es necesario tener una idea clara de los valores extremos que pueden alcanzar los vientos en las turbonadas que afectan la Ciudad. Por esta razón se intentó encontrar la función teórica de distribución de las turbonadas por su intensidad.

El primer paso fue determinar si las muestras de meses diferentes tenían medias que diferían significativamente entre sí y, por ende, pertenecían a poblaciones diferentes con respecto a la intensidad. La aplicación de la prueba de la distribución normal permite aceptar la hipótesis de que las medias para todos los meses del período con gran actividad no muestran diferencias significativas unas con respecto a otras. Tal hipótesis sí se rechaza cuando se comparan las medias para los períodos con poca y gran actividad.

De estos resultados se tiene que se puede ajustar una función de distribución a los datos del período con gran actividad como un todo, en el que las turbonadas son más intensas. Además, el número de casos registrado para el otro período es muy pequeño (44) y por ello no se hizo ningún intento de ajuste para el mismo.

La Fig. 4 muestra que la distribución es asimétrica, con el máximo de frecuencia en los dos primeros intervalos. Como se trabaja con valores extremos, se trató de ajustar al histograma una distribución de Fisher-Tippett, pero la prueba de χ^2 indicó rechazo, con grandes diferencias entre las frecuencias reales y estimadas. Aunque la forma del histograma y el carácter no negativo de la variable sugerían un resultado negativo, se probó con la distribución normal y,

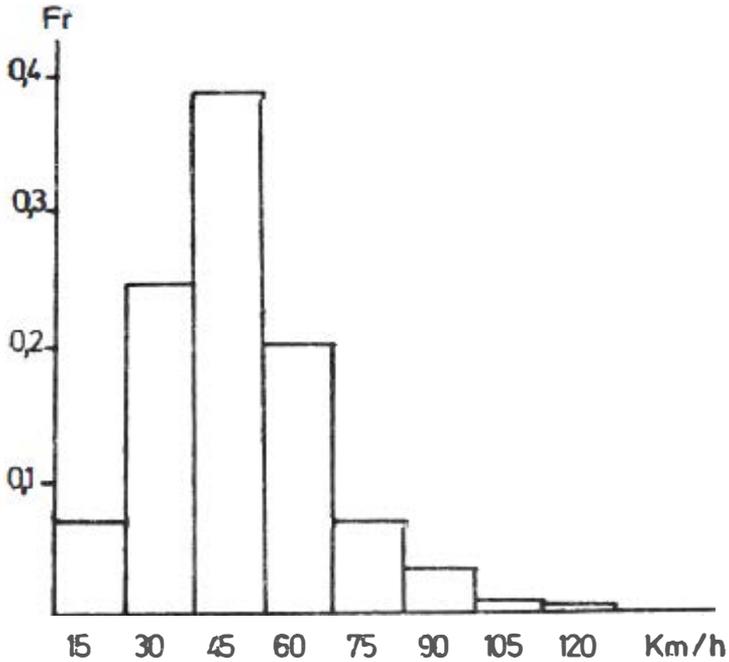


FIG. 4. Distribución de las turbonadas por el valor de la racha máxima (km/h) en Casa Blanca, Ciudad de La Habana, en el período con gran actividad.

aunque la hipótesis fue rechazada, las diferencias entre las frecuencias no fueron demasiado grandes, por lo que se prefirió utilizar la distribución gamma.

Se calcularon los parámetros α y β , por el método de máxima verosimilitud (SNEYERS, 1975), y se utilizó la relación entre la función Υ incompleta y la función χ^2 para efectuar las evaluaciones correspondientes (ABRAMOWITZ y STEGUN, 1964). De nuevo la prueba de χ^2 indicó rechazo, pero las diferencias entre las frecuencias reales y estimadas son muy pequeñas y, dadas las aproximaciones que es necesario hacer en el proceso de los cálculos, podemos aceptar la distribución Υ como una aproximación a la distribución de las rachas máximas producidas por las turbonadas en Casa Blanca.

La distribución obtenida es:

$$\Upsilon(\mu) = \begin{cases} P\left(\frac{\mu}{9,04}; 4,39\right) & \text{si } \mu > 0 \\ 0, & \text{si } \mu \leq 0 \end{cases}$$

donde

$$P\left(\frac{\mu}{9,04}; 439\right) = \frac{1}{\Gamma(4,39)} \int_0^{\mu/9,04} t^{3,39} e^{-t} dt = H\left(\chi^2 = \frac{2\mu}{9,04} / \nu = 8,78\right)$$

Las rachas máximas asociadas a las turbonadas soplan de rumbos entre el *ESE* y el *SW* en la mayoría de los casos (Fig. 5), lo que no es sorprendente si se tiene en cuenta el mapa de la Fig. 1.

Los mínimos que se encuentran en los rumbos principales resultan muy difíciles de explicar, pero resulta aún más dudoso adjudicarlos a la casualidad, si se tiene en cuenta el número de datos. Se observa además que, en general, a mayor frecuencia corresponde mayor intensidad de las rachas. La intensidad de las rachas del *WSW* y *SW* está sujeta a incertidumbre, debido a que el número de casos es muy pequeño.

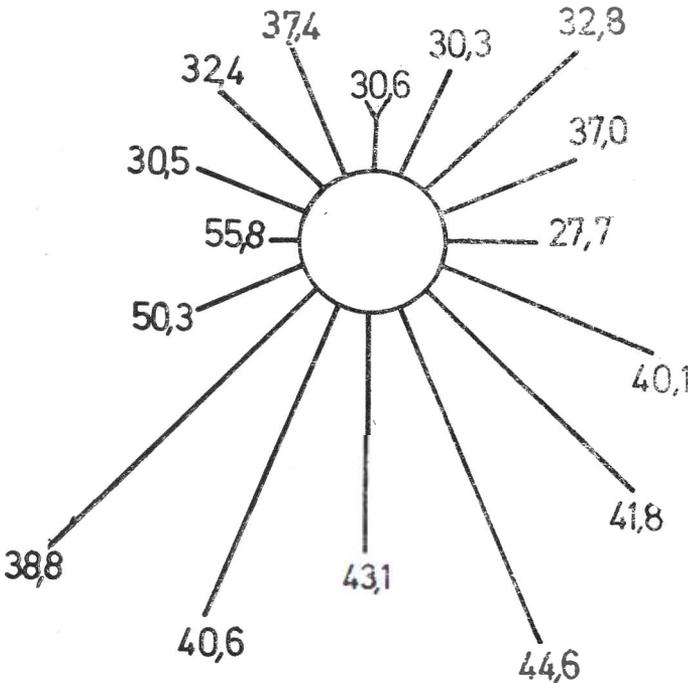


FIG. 5. Frecuencia relativa de las rachas máximas para cada rumbo, asociadas a las turbonadas en Casa Blanca, Ciudad de La Habana. El número de casos es 510. Escala: 0,1 = 1 cm.

8. TURBONADAS INTENSAS

Las características de estas turbonadas están mejor definidas: 88% se formó en el intervalo de las 12:00 a las 19:00 horas; 6% ocurrió de las 19:00 a las 24:00 horas, y fueron todas de origen marítimo; el resto se desarrolló en la mañana (07:00 a 12:00 horas). En el intervalo de las 00:00 a las 07:00 horas no se registró ninguna turbonada intensa en 14 años.

Sólo cuatro turbonadas intensas correspondieron al período con poca actividad.

La Fig. 6 permite apreciar que las rachas de las turbonadas intensas soplan, casi exclusivamente, de rumbos entre el ESE y el W. Los

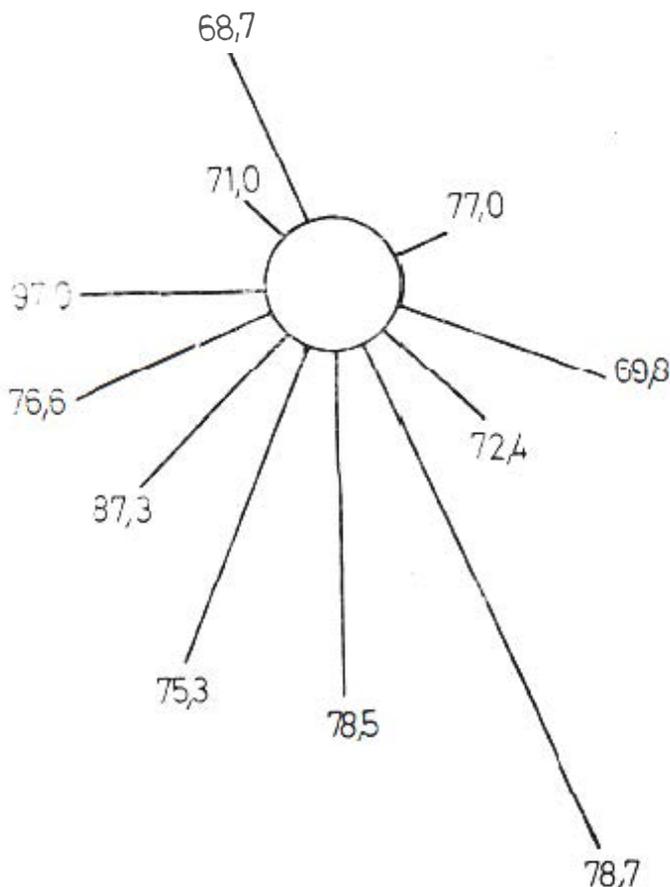


FIG. 6. Igual que la Fig. 5, pero sólo se tienen en cuenta las turbonadas intensas (racha máxima mayor que 64 km/h). El número de casos es 49. Escala: 0.1 = 1 cm.

cuatro casos de rachas del NW y NNW se presentaron de febrero a mayo, relacionados con líneas de turbonadas que acompañaron a ondas polares. Los valores de la rapidez media son parecidos a aquéllos obtenidos para las turbonadas de toda intensidad; pero el número de casos es muy pequeño en cada rumbo para que los resultados puedan considerarse definitivos.

9. PRECIPITACIÓN

Se considera que la precipitación que cae en la estación está asociada a una turbonada cuando se puede afirmar que la nube productora pertenece al sistema que integran los cúmulonimbos que poseen la actividad eléctrica. En general, es posible identificar estas situaciones adecuadamente, y por ello se ha mantenido este criterio por muchos años, a pesar de que es objetable desde algunos puntos de vista.

Una vez más se utilizó el criterio de la distribución normal para tratar de encontrar diferencias entre los meses de cada período del año con resultados negativos, pero ambos períodos como un todo difieren significativamente entre sí.

La Tabla 1 muestra que las turbonadas del período con poca actividad producen, en promedio, más precipitaciones que las del período con gran actividad.

Este resultado es muy difícil de explicar y requiere de una investigación adicional que involucre los procesos generadores de las tur-

TABLA 1. Distribución de frecuencias relativas de las cantidades de precipitación (mm) que acompañaron a las turbonadas que afectaron Casa Blanca (1963-1976). El número de casos (N) es de 41 para el período con poca actividad, y de 466 en el período con gran actividad. Los valores de las medias (\bar{x}) son de 21,6 y 14,9, respectivamente, con desviaciones estándar de 14,2 y 13,8.

Intervalos	Noviembre-abril	Mayo-octubre
0,1 - 10,0	0,293	0,523
10,1 - 20,0	0,195	0,213
20,1 - 30,0	0,220	0,133
30,1 - 40,0	0,171	0,069
40,1 - 50,0	0,098	0,030
50,1 - 60,0	0,024	0,015
60,1 - 70,0		0,013
70,1 - 80,0		0,004

bonadas de cada período. Es de señalar la baja frecuencia de precipitaciones superiores a 40 mm, desde mayo a octubre, sólo 6%. Ninguna turbonada individual superó los 80 mm, aunque hay unos pocos casos de dos o más turbonadas en un sólo día, que combinadas han producido precipitaciones entre 80 y 120 mm. Las mayores precipitaciones que se han registrado en Casa Blanca en un solo día no han ocurrido en conexión con turbonadas.

De acuerdo con los datos de Casa Blanca, a continuación brindamos los promedios mensuales (mm) de la precipitación asociada a las turbonadas, y los porcentajes (entre paréntesis) de las precipitaciones totales mensuales medias que ellas representan: enero, no hay datos; febrero, 12,7 (28%); marzo, 3,6 (7); abril, 22,3 (43); mayo, 76,4 (77); junio, 97,9 (63); julio, 98,9 (92); agosto, 68,7 (64); septiembre, 92,9 (61); octubre, 54,2 (29); noviembre, 8,7 (10); diciembre, 4,6 (9). Vemos así que en el período con gran actividad, la mayor parte de la precipitación cae en conexión con turbonadas, y resalta el aumento que se produce en febrero en relación con las líneas de turbonadas prefrontales; 50,6% de la precipitación anual se debe a las turbonadas.

La hora media de comienzo de la precipitación es las 15:40 y la moda de la distribución coincide con el intervalo 15:00-16:00 horas. La forma de la distribución es análoga a la de la Fig. 3.

La duración de la precipitación asociada a las turbonadas es considerablemente variable. Los datos son escasos para el período con poca actividad, y por ello sólo se presenta la distribución de frecuencias para el período con gran actividad ($N = 425$): 0-15, 0,089; 16-30, 0,256; 31-45, 0,184; 46-60, 0,191; 61-75, 0,099; 76-90, 0,089; 91-105, 0,012; 106-120, 0,012; 121-135, 0,019; 136-150, 0,019; 151-165, 0,012; 166-180, 0,005; > 180, 0,013. Esta distribución muestra que lo más corriente es que la precipitación se mantenga por un intervalo de 16 a 60 min. Las precipitaciones raramente se prolongan por más de 90 min, pero la frecuencia relativa desciende lentamente en el intervalo de los 90 min siguientes. Por último, los casos de precipitación sostenida por más de 180 min son raros y de longitud muy variable.

10. PROCEDENCIA

Los datos referentes a este aspecto tienen un valor limitado, debido a su carácter subjetivo. De mayo a octubre 75% de las turbonadas procede del segundo y tercer cuadrantes, predominando las del segundo por sólo 5%; o sea, se mueven desde tierra adentro hacia la costa. En el resto del año predominan las turbonadas del tercero y cuarto cuadrantes, lo que se debe a su conexión con las ondas del W.

11. CONCLUSIONES

La diferencia entre los dos períodos del año con respecto a la actividad de turbonadas no es sólo de cantidad de casos, sino en todos los aspectos, en tanto que no hay diferencias importantes entre los meses del período con gran actividad.

Existen pocas diferencias entre las características de las turbonadas en Cienfuegos (A. Fernández, comunicación personal) y las de Casa Blanca en lo que respecta a la distribución anual, rachas máximas y duración de la precipitación. En la hora de comienzo se nota una diferencia con respecto a la máxima frecuencia, que en Cienfuegos se presenta 2 horas más tarde. La mayor parte de las turbonadas proceden del primer cuadrante en Cienfuegos, o sea, de tierra adentro, como en Casa Blanca.

RECONOCIMIENTO

Se agradece la colaboración del Lic. Raimundo Vega en los aspectos matemáticos de este trabajo.

REFERENCIAS

- ABRAMOWITZ, M., y STEGUN, I. (1964): *Handbook of mathematical functions*. U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., 1046 pp.
- BURLUTSKY, R. F. (1973): *Macroprocesos que originan precipitaciones en Cuba*. Editorial Hidrometeorológica, Leningrado, trabajo 101.
- BYERS, R., y BRAHAM, R. R., Jr. (1949): *The thunderstorm*. Washington, D. C., 282 pp.
- FREUND, J. E. (1977): *Estadística elemental moderna*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 466 pp.
- HOEL, P. G. (1972): *Introducción a la estadística matemática*. Instituto Cubano del Libro, La Habana, 451 pp.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA; ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA (1973): *Resumen climático por estaciones*. La Habana, 378 pp.
- (1976): *Terminología empleada en los pronósticos del tiempo*. La Habana, 11 pp.
- NEUMANN, C. J. (1971): The thunderstorm forecast system in Kennedy Space Center. *J. Appl. Meteorol.*, 13:921-936.
- OMM; ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (1953): World distribution of thunderstorm days. *Nota Técnica*, 21:6.
- RIELH, H. (1954): *Tropical meteorology*. Mc Graw Hill Company, Nueva York, 392 pp.
- SNEYERS, R. (1975): Sur L'analyse statistique des séries d'observations. Organización Meteorológica Mundial, *Nota Técnica*, 21:6.

CLIMATOLOGICAL ASPECTS OF THUNDERSTORMS AT HAVANA CITY

ABSTRACT

From thunderstorm occurrence data for the period 1963-1976 in Casa Blanca, Havana, the monthly and annual frequency of thunderstorm days are determined and compared with those obtained in other regions of the world. A period with great activity occurs from May to October, and an empirical criterion is proposed to determine its extension in any one year. The relationship between the frequency of thunderstorm days and some climatological elements are studied. Also determined were the frequency distributions of occurrence hours, the associated precipitation and the intensity, and an approximate distribution function is calculated for the last of these variables.