

METEOROLOGIA

Pronóstico a corto plazo para determinar la velocidad de los vientos de región nordeste que se registran en el occidente de Cuba*

**Roberto ORTIZ HECTOR
y **Daniela ARCIA LLERENA

RESUMEN. *Se presenta un método de pronóstico sinóptico-estadístico a corto plazo para determinar la velocidad de los vientos de región nordeste que se registran en el occidente de Cuba. La frecuencia con que soplan durante el año es de 48%, alcanzando algunas veces velocidades superiores a los 18 m/s por lo que constituye un suceso meteorológico de importancia para la agricultura, navegación y otros aspectos socio-económicos. Con vista a su logro se empleó un programa computacional para la selección de predictores y cálculo de ecuaciones de regresión. La muestra dependiente fue de 371 casos y resultaron seleccionados 21 predictores de 24 potenciales. El error medio que se obtuvo de una muestra independiente aleatoria de 87 casos arrojó resultados positivos.*

INTRODUCCION

El régimen eólico de la región occidental de Cuba está representado en gran parte a escala sinóptica, por tres tipos de vientos que suelen soplar con bastante fuerza y persistencia en distintas épocas del año influyendo en aspectos socio-económicos de la vida nacional, cuyo conocimiento data desde principios del siglo pasado (Herrera, 1847).

En el período seco de nuestro invierno tropical (noviembre-abril), los rumbos del viento presentan una secuencia de rotación

acimutal en sentido dextrogiro, que se inicia con los llamados *Sures* que afectan la región occidental de Cuba con vientos que han llegado a alcanzar velocidades próximas a las de huracán, 33 m/s (118 km/h). Ellos se deben esencialmente a bajas extratropicales asociadas a frentes fríos en su despla-

*Manuscrito aprobado en noviembre de 1991.

**Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba.

zamiento al primer cuadrante sobre el Golfo de México o estados adyacentes, en combinación con altas presiones en el Atlántico. En igual sentido le siguen los *Nortes* pertenecientes al sector posterior de los frentes fríos y masas de aire que les acompañan, bien sean de origen continental o marítimo. En casos extremos al igual que los Sures, suelen alcanzar velocidades peligrosas, con los consiguientes resultados para la navegación y la agricultura. Días después, luego que la línea frontal se ha alejado y los centros anticiclónicos en su trayectoria al este se hallan en las inmediaciones de nuestro meridiano o más al oriente, los vientos pasan al primer cuadrante siguiendo el giro directo y dan lugar a los llamados por los hombres de mar, brisotazos, brisotes duros, brisas frescas etc., según la intensidad con que se manifiesten. Aunque las velocidades máximas no son comparables con los Sures o Nortes, llegan a soplar con fuerza superior a los 18 m/s, (63 km/h), capaces de dañar algunas cosechas que se encuentren en estado de floración y fructificación. Asimismo, levantan marejadas de región nordeste que pueden ser peligrosas para la navegación de embarcaciones de escaso porte, actividades pesqueras, disfrute de playas y otros propósitos turísticos no menos importantes que se reflejan en aspectos económicos del país. En el verano o período húmedo de mayo a octubre, estas corrientes del primer cuadrante —en la superficie— se instalan sin cumplir el ciclo referido ya que se deben al llamado anticiclón del Atlántico, organismo de buena estructura vertical, fijeza y carácter barotrópico que desde la zona de las Bermudas o las Azores, se extiende al suroeste en forma de cuña y ocasiona los vientos predominantes de región nordeste conocidos a escala regional como Alisios que suelen reforzar las brisas diurnas en nuestra costa norte y retardar los terrales noc-

turnos. Asimismo debe recordarse que en algunos casos la influencia anticiclónica no es de origen oceánico, sino resultado de anticiclones continentales que al moverse hacia el este y pasar al Atlántico por el área de las Carolinas, van perdiendo gradualmente sus características originales o se funden con centros preexistentes, incrementando el gradiente de presión.

Contribuye a ser de importancia el conocimiento de estos vientos del primer cuadrante (*NNE-E*), la frecuencia con que soplan durante el año, que es de 48% correspondiéndole a julio el máximo de 58% y el mínimo a febrero con 37%. La velocidad media anual, para los meses es de 4 m/s (14 km/h) respectivamente, en el período 1967-1979, según datos tomados del Atlas Climático de Cuba (Rego *et al.*, 1987).

Considerando las orientaciones de la Academia de Ciencias de Cuba de hallar métodos objetivos de pronósticos para elevar la calidad de las informaciones meteorológicas, importancia que tiene la fuerza y dirección del viento para nuestro país, métodos de pronóstico similares ya existentes para los frentes fríos y Sures (Ortiz y Arcia, 1984, 1988), es que lleva a efecto el desarrollo de este trabajo sinóptico-estadístico, con validez para 18 horas y las 6 siguientes, a fin de conocer las velocidades con que soplan los vientos de región nordeste. Difiere fundamentalmente de otros en el hecho de estar concebido precisamente para corrientes superficiales del primer cuadrante en la región occidental de Cuba.

Los primeros estudios realizados en nuestro país sobre los brisotes se deben a Millás (1941) quien expresó con carácter de diagnóstico, haber hallado al comparar observaciones barométricas entre La Habana y Tampa, que en régimen de estos vientos hay un valor medio de 4,5 m/s (14 km/h) por cada milímetro de presión (1,3 hPa). También hace pocos años, Mojena *et al.* (198?)

presentaron un trabajo sobre el pronóstico y diagnóstico de los vientos fuertes en los

mares próximos a Cuba para los meses de noviembre a mayo.

MATERIALES Y METODOS

Con vista al método que ahora se ofrece, se consideraron 24 variables sinópticas como predictores potenciales de una muestra de 371 situaciones superficiales seleccionados como fruto de largos años de experiencia observando el estado del tiempo en Cuba y áreas adyacentes y su obediencia a distintos factores atmosféricos; así como el hecho de haber obtenido resultados positivos para pronosticar la velocidad del viento que producen los frentes fríos y Sures (Ortiz y Arcia, 1984, 1988).

La muestra citada recoge casos cuando se han registrado vientos desde el nortenordeste al este con velocidades superiores a los 10 m/s (36 km/h) así como de aquellas situaciones que pudieran parecer favorables al meteorólogo para la ocurrencia de la dirección y velocidad señalada y ello no ha ocurrido. De suerte que el método permite ser aplicado también para pronosticar vientos del primer cuadrante con velocidades menores.

El material sinóptico se tomó del Archivo de Mapas del Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba, quien probablemente posee una de las fuentes de información más extensa y completa del área del Caribe (1917-1989). También del Instituto de Meteorología fueron los anemogramas de la estación de Casablanca; documentos que han servido de base para el desarrollo de la investigación. Finalmente resultó de utilidad la Cronología de los Bristotes (González, 1986).

Como primer predictando (Y_1) se tomó la velocidad promedio máxima durante 3 horas consecutivas durante un período de 18 horas, a partir de los mapas base 0600Z y 1200Z, (0100 hr y 0700 hr del Meridiano

75° W de Greenwich). Como segundo predictando (Y_2) se anotó la racha máxima dentro del período de 18 horas, y un tercer predictando (Y_3) fue la dirección del viento en igual lapso. Estos predictandos se correlacionaron nuevamente para obtener resultados en el período siguiente de 6 horas.

Al igual que en trabajos anteriores de los mismos autores (Ortiz y Arcia, 1984, 1986, 1988) muchos de los datos se han tomado desde un punto móvil. Su obtención en este caso se hace de la forma siguiente: Desde la estación Casablanca (325) se traza una línea hacia el norte hasta interceptar las isobaras inmediatas con el rumbo que presente mayor perpendicularidad respecto a la isolínea bórica. Se lee la presión en Casablanca y siguiendo la línea trazada en el mapa correspondiente a las seis horas antes, se ve el lugar en que se hallaba la presión anotada; esta posición se traslada al mapa base de pronóstico y ella será el punto móvil en cuestión. Si la presión es igual a la observada en las seis horas anteriores o el cambio de presión es negativo, se tomará el valor correspondiente a la misma Casablanca como punto de partida de las mediciones.

El proceso de computación se realizó empleando el programa STPR de la International Business Machines Corporation (19??), con vista a la selección de predictores y cálculo de ecuaciones de regresión, dividida la muestra en dos grupos; de mayo a octubre, período lluvioso (verano), y de noviembre a abril, período seco (invierno), atendiendo a la existencia de características meteorológicas estacionales.

RESULTADOS

Como podrá apreciarse en la relación de predictores escogidos que se presenta, no son comunes a los dos períodos anuales (verano e invierno) la distancia del centro de alta al punto; la diferencia de presión entre Tampa y el punto; tipo de curvatura de la isobara en el punto; gradiente entre el centro de alta y el punto; cambio de presión en el área del Caribe; cambio de presión en Caymán Grande; cambio de presión en Cabo Hatteras; cambio de presión del centro de alta y cambio de presión en Jacksonville. Asimismo se señala el hecho de haber resultado seleccionados predictores ya empleados satisfactoriamente en métodos anteriores de los mismos autores para los frentes fríos y Sures, lo que sugiere su fortaleza y posible consideración en empresas de similar carácter. Ellos son: gradiente entre el centro de alta y el punto; dirección del centro de alta; orientación de las isobaras en el punto; cambio de presión en Nueva Orleans; cambio de presión en Jacksonville; cambio de presión en Bermudas y, por último, día del año.

Predictores seleccionados

- X_1 Diferencia de presión entre Tampa y el punto.
- X_2 Presión del centro de alta.
- X_3 Distancia del centro de alta al punto.
- X_4 Gradiente entre el centro de alta y el punto.
- X_5 Dirección del centro de alta.
- X_6 Orientación de las isobaras en el punto.
- X_7 Diferencia de presión entre el área de baja en el Caribe y el punto.
- X_8 Gradiente entre el área de baja en el Caribe y el punto.
- X_9 — Dirección del área de baja en el Caribe.

- X_{10} — Tipo de curvatura de la isobara en el punto.
- X_{11} — Cambio de presión en Nueva Orleans.
- X_{12} — Cambio de presión en Tampa.
- X_{13} — Cambio de presión en La Habana.
- X_{14} — Cambio de presión en Jacksonville.
- X_{15} — Cambio de presión en Cabo Hatteras.
- X_{16} — Cambio de presión en Bermudas.
- X_{17} — Cambio de presión en Cayman Grande
- X_{18} — Cambio de presión en el centro de alta.
- X_{19} — Cambio de presión en el área de baja en el Caribe.
- X_{20} — Día del año.
- X_{21} — Días con brisote.

Ecuaciones obtenidas para el periodo de 18 horas (Verano)

$$Y_1 = -0,057 \ 64 \ X_{20} + 1,892 \ 55 \ X_1 + 1,870 \ 04 \\ X_{21} + 0,760 \ 48 \ X_{13} - 0,002 \ 18 \ X_3 + 34,133 \ 80$$

$$Y_2 = +3,440 \ 28 \ X_1 - 0,065 \ 99 \ X_{20} + 1,147 \ 91 \\ X_7 + 0,453 \ 28 \ X_{15} - 0,003 \ 29 \ X_3 + 51,384 \ 05 \quad (2)$$

$$Y_3 = -0,005 \ 70 \ X_3 + 1,186 \ 42 \ X_7 + 49,656 \ 89 \quad (3)$$

Periodo de 6 horas siguientes

$$Y_1 = +1,480 \ 19 \ X_1 - 0,049 \ 94 \ X_{20} - 0,088 \ 17 \\ X_6 + 0,652 \ 77 \ X_{13} + 1,665 \ 41 \ X_{21} + 0,015 \ 16 \\ X_5 - 0,058 \ 83 \ X_9 + 0,343 \ 29 \ X_{18} + 35,046 \ 33 \quad (4)$$

$$Y_2 = +2,278 \ 47 \ X_1 - 0,073 \ 81 \ X_{20} + 2,934 \ 51 \\ X_{14} + 0,030 \ 56 \ X_5 - 1,972 \ 61 \ X_{12} - 0,104 \ 93 \\ X_9 + 0,807 \ 47 \ X_8 - 0,150 \ 26 \ X_6 + 62,384 \ 5 \quad (5)$$

$$Y_3 = -3,168 \ 90 \ X_{11} + 0,385 \ 78 \ X_6 + 48,756 \ 24 \quad (6)$$

Ecuaciones obtenidas para el periodo de 18 horas (Invierno)

$$Y_1 = +0,298 \ 88 \ X_{12} + 1,776 \ 66 \ X_{21} + 0,619 \ 97 \\ X_8 + 0,021 \ 92 \ X_6 - 0,006 \ 92 \ X_5 + 0,084 \ 49 \\ X_9 + 0,228 \ 30 \ X_{18} - 0,010 \ 34 \ X_{20} + 0,656 \\ 49 \ X_{13} + 0,186 \ 01 \ X_4 + 8,887 \ 72 \quad (7)$$

$$Y_2 = +0,548 \ 21 \ X_{18} + 1,446 \ 73 \ X_{12} + 2,148 \ 10 \\ X_{21} - 0,014 \ 46 \ X_5 + 0,186 \ 89 \ X_9 + 0,759 \ 91 \\ X_7 - 0,332 \ 48 \ X_{15} + 0,432 \ 51 \ X_4 - 0,013 \ 34 \\ X_{20} + 21,780 \ 11 \quad (8)$$

$$Y_3 = -0,072 \ 11 \ X_5 - 10,405 \ 92 \ X_{10} - 5,398 \ 75 \\ X_{13} + 6,400 \ 67 \ X_{17} - 3,868 \ 75 \ X_{19} + 91,273 \\ 90 \quad (9)$$

Periodo de 6 horas siguientes

$$Y_1 = +0,801 \ 66 \ X_{12} + 0,596 \ 40 \ X_8 + 1,887 \ 63 \\ X_{21} + 0,009 \ 59 \ X_5 + 8,339 \ 17 \quad (10)$$

$$Y_2 = +1,792 \ 11 \ X_{12} + 1,199 \ 35 \ X_8 - 0,875 \ 47 \\ X_{11} + 3,175 \ 54 \ X_{21} + 0,010 \ 28 \ X_5 + 0,143 \\ 26 \ X_9 - 0,301 \ 55 \ X_{16} + 0,826 \ 58 \quad (11)$$

$$Y_3 = +0,825 \ 66 \ X_9 - 2,100 \ 14 \ X_7 - 0,049 \ 18 \\ X_5 - 2,204 \ 91 \ X_2 + 2,371 \ 46 \ X_4 + 0,180 \ 17 \\ X_6 + 2 \ 216,081 \ 54 \quad (12)$$

Una inspección de las tablas 1 y 2 muestra la aceptable correlación existente entre predictores y predictandos así como admisibles errores estándar y medio.

TABLA 1. Resultado del proceso de filtrado para el periodo húmedo (Verano), con una muestra dependiente de 173 casos, donde R es el coeficiente de correlación múltiple; E es el error estándar, y E es el error medio. Velocidad del viento en km/h y dirección en grados.

	Predictandos	R	E	E
Y ₁	Viento promedio	0,56	6,6	5,2
	(Para 18 horas)			
Y ₂	Racha máxima	0,52	10,4	7,8
Y ₃	Dirección del viento	0,23	14,5	11,2
	(Para 6 horas siguientes)			
Y ₁	Viento promedio	0,50	7,9	6,3
Y ₂	Racha máxima	0,48	14,1	11,3
Y ₃	Dirección del viento	0,37	24,7	16,9

TABLA 2. Resultado del proceso de filtrado para el periodo seco (Invierno), con una muestra dependiente de 198 casos, donde R es el coeficiente de correlación múltiple; E es el error estándar, y E es el error medio. La velocidad del viento se expresa en km/h y la dirección en grados.

	Predictandos	R	E	E
	(Para 18 horas)			
Y ₁	Viento promedio	0,57	5,3	4,15
Y ₂	Racha máxima	0,55	8,7	6,8
Y ₃	Dirección del viento	0,42	33,6	16,8
	(Para 6 horas siguientes)			
Y ₁	Viento promedio	0,43	7,57	6,0
Y ₂	Racha máxima	0,45	12,2	9,5
Y ₃	Dirección del viento	0,41	46,6	27,6

Prueba con una muestra independiente

Después de conocidas las ecuaciones se aplicaron a muestras independientes aleatorias

para ver el comportamiento del método en situaciones equivalentes a la práctica, obteniéndose los resultados que aparecen en las tablas 3 y 4.

TABLA 3. Resultado obtenido para el período húmedo (Verano) con una muestra independiente de 35 casos donde σ es la desviación estándar y E es el error medio. La velocidad del viento se expresa en km/h y la dirección en grados.

Predictandos		σ	E
(Para 18 horas)			
Y_1	Viento promedio	4,0	5,9
Y_2	Racha máxima	6,2	9,3
Y_3	Dirección del viento	10,5	14,3
(Para 6 horas siguientes)			
Y_1	Viento promedio	5,6	7,3
Y_2	Racha máxima	9,0	12,7
Y_3	Dirección del viento	10,4	15,4

TABLA 4. Resultado obtenido para el período seco (Invierno) con una muestra independiente de 52 casos donde σ es la desviación estándar y \bar{E} es el error medio. La velocidad se expresa en km/h y la dirección en grados.

Predictandos		σ	E
(Para 18 horas)			
Y_1	Viento promedio	3,1	4,6
Y_2	Racha máxima	3,9	5,7
Y_3	Dirección del viento	15,7	19,2
(Para 6 horas siguientes)			
Y_1	Viento promedio	4,0	6,2
Y_2	Racha máxima	7,7	10,8
Y_3	Dirección del viento	17,1	26,7

CONCLUSIONES

Existen correlaciones lineales significativas entre las variables seleccionadas como predictores y predictandos, lo que permite inferir que el método propuesto contribuirá a mejorar los pronósticos de los vientos de región nordeste que soplan en el occidente

de Cuba, quedando así completado conjuntamente con métodos anteriores de los mismos autores, el pronóstico sinóptico-estadístico de los vientos que con mayor frecuencia y/o intensidades, soplan en el oeste de nuestro territorio.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al CDr. Antonio García, a los Lics. Evelio García y Pedro Beauballet, sus valiosas ayudas en el proceso de computación, así como al Lic. Juan Rego por sus acertadas sugerencias, todos del Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba.

REFERENCIAS

- González, O., (1986): "Estudio sobre los brisotes", [inédito], tesis Universidad de La Habana.
- Herrera, D. (1847): *Memoria de los huracanes de la Isla de Cuba*, La Habana.
- International Business Machines Corp. (19??): IBM de la Biblioteca SSP, Technical Publication Dep., White Plains, Nueva York.
- Millás, J., C. (1945): *Los brisotes en La Habana*. Boletín del Observatorio Nacional, Epoca IV, Volumen 1, La Habana.
- Mojena, E., y otros (198?): "Pronóstico y diagnóstico de los vientos fuertes en los mares próximos a Cuba" [inédito].
- Ortiz, R., y D. Arcia (1984): Pronóstico de la velocidad de los vientos que producen los frentes fríos al entrar en la región occidental de Cuba. *Cienc., Tierra Espacio*, 8:117-121, Academia de Ciencias de Cuba.
- _____ (1986): Pronóstico a corto plazo para determinar la entrada de los frentes fríos en la región occidental de Cuba, *Cienc., Tierra Espacio*, 11:103-108, Academia de Ciencias de Cuba.
- _____ (1986): Pronóstico a corto plazo para determinar la velocidad de los vientos de región sur que se registran en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 1:91-92.,
- Rego, J., P. Romero, M., Osorio y M. Seguí (1987): *Atlas Climático de Cuba*. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, confeccionado por el Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba.

Ciencias de la Tierra y del Espacio, 23-24, 1994

SYNOPTIC-STATISTICAL SHORT RANGE FORECAST TO DETERMINE
NORTHEAST REGION WINDS VELOCITY THAT ARE REGISTERED IN
WESTERN CUBA

Roberto ORTIZ HECTOR
and Daniela ARCIA LLERENA

ABSTRACT. A synoptic-statistical short range forecast to determine northeast region winds velocity that are registered in Western Cuba is presented. The direction frequency observed during the year is 48%, sometimes reaching higher velocities than 18 m/s, thus it constitutes an important meteorological event for agriculture, navigation and other socio economical aspects. For its achievement, a computational program to select the predictors and calculation of the regression equations was employed. The dependent sample was of 1371 cases, and 21 predictors were selected of 24 potential ones. Finally, the obtained error from an independent sample of 87 cases showed positive results.