

Nueva metodología para el estudio de los cambios en la dirección del viento

ROSENDO ÁLVAREZ MORALES

RESUMEN

Se establece un nuevo método para el procesamiento de datos con vista a su empleo en el estudio de la dirección del viento. Se obtienen las curvas representativas de la cantidad de rumbos que gira el viento con mayor probabilidad durante el año y en cada uno de los meses del año. Se hacen aproximaciones y se encuentra que las curvas más representativas del proceso corresponden a funciones armónicas. Se dan conclusiones y recomendaciones.

1. INTRODUCCIÓN

En los estudios del transporte de contaminantes en la atmósfera, provenientes de centros industriales, una de las variables principales a ser tratadas es el viento, ya que una vez que la fuente productora del contaminante lo libera a la atmósfera, éste queda a merced de la estabilidad vertical y la fuerza del viento horizontal. Pero si analizamos los métodos instaurados hasta ahora para el pronóstico del desplazamiento de contaminantes (BERLYAND, 1975*a, b*; HESEK, 1982), podremos ver que los análisis realizados implican escoger de antemano una dirección dada del viento para realizar el cálculo.

Por otra parte, un cálculo trigonométrico sencillo nos dice que una desviación de 5° en la dirección del viento hace que el contaminante que se supone deba caer en un punto, caiga 100 m más lejos, transversalmente, que lo estimado, a una distancia longitudinal de 1 km, y 1 000 m a una distancia de 10 km.

Debido a la importancia del conocimiento del giro del viento para nuestra zona tropical es que se acomete este trabajo.

Manuscrito aprobado el 30 de junio de 1983.

R. Álvarez Morales pertenece al Instituto de Meteorología, de la Academia de Ciencias de Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la realización del trabajo se partió del siguiente criterio:

- Cuando el viento no gira de una medición a la próxima horaria se asigna el valor cero.
- Cuando el viento gira un rumbo (en la rosa de 16) a la derecha se asigna el valor 1, y cuando gira a la izquierda el valor -1 .
- Este proceso se sigue hasta los valores de giro 7 y -7 y 8, siguiendo el criterio del camino más corto, es decir, el giro nunca será mayor que 8 rumbos a la derecha ni mayor que 7 rumbos a la izquierda, suponiéndose que, por ejemplo, el giro de 9 rumbos a la derecha se corresponde con -7 .
- Las calmas no tienen rumbo y, por lo tanto, las series se interrumpen al aparecer éstas, reanudándose el conteo después que queda establecido el primer rumbo posterior a la calma.

Se procesaron 10 años de observaciones horarias, durante 24 horas, en forma consecutiva, desde 1967 hasta 1976, de la estación Casa Blanca, para un total de 87 600 casos, de los cuales se descontaron 16 515 resultantes de las interrupciones por calmas, quedando una muestra de 71 085 casos. El procesamiento de datos puede realizarse con la aplicación de un programa numérico, escrito en FORTRAN IV, que es, a su vez, una subrutina de otro más general para el procesamiento de datos de viento.

3. RESULTADOS

La distribución por frecuencias puede verse en la Fig. 1, donde se presenta un 55% que indica permanencia de una hora a la otra de la dirección del viento, así como que, si ampliamos el intervalo a los valores comprendidos entre -1 y 1, tenemos el 86% de los casos; y si ampliamos a los valores comprendidos entre -2 y 2, alcanzamos el 94% de los casos.

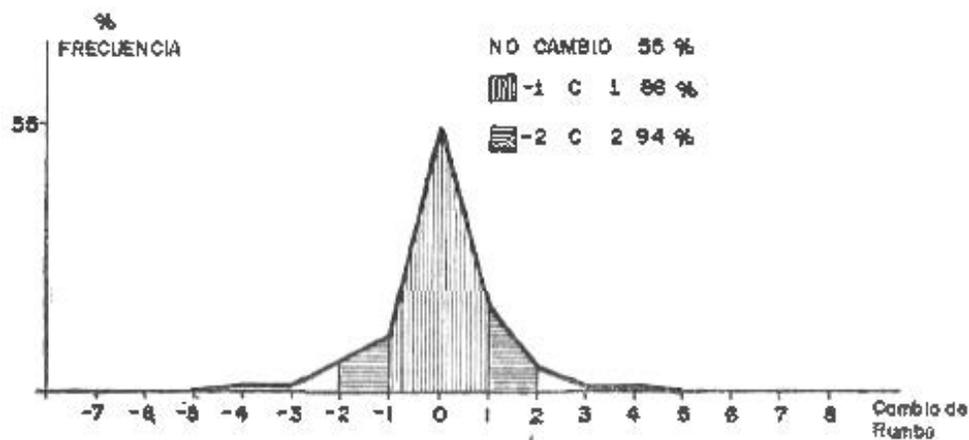


FIG. 1. Distribución de frecuencias de los cambios en el giro del viento.

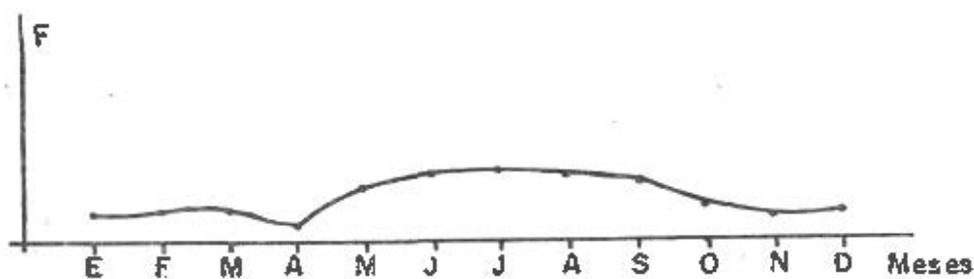


FIG. 2. Diferencia entre el total de casos y la frecuencia de cambios entre -2 y 2 .

En la Tabla 1 puede verse el mismo cambio anterior pero distribuido por meses del año, y en la Fig. 2 se ha planteado la diferencia entre la frecuencia de cambios entre -2 y 2 y el total de mediciones. Aquí podemos observar que la estabilidad del viento es menor en los meses de verano (mayo, junio, julio, y agosto) que en los meses de invierno (enero, febrero, noviembre, y diciembre), y presenta cambios diferentes en los meses de abril y octubre.

Para ganar claridad en la distribución de los giros del viento se analizó el cambio de frecuencias de cada valor del cambio en el giro por meses y por año. En las Figs. 3 y 4 puede observarse que con excepción de 0 (cero) cambio, todos los demás oscilan muy poco a ambos lados de

TABLA 1. Cambio mensual (en %) en los giros del viento.

Mes	0 cambio	Entre -1 y 1	Entre -2 y 2
Enero	59	89	96
Febrero	63	90	96
Marzo	59	89	95
Abril	60	91	97
Mayo	51	83	92
Junio	45	79	90
Julio	46	79	90
Agosto	46	80	91
Septiembre	46	80	91
Octubre	56	87	95
Noviembre	62	90	96
Diciembre	61	89	96

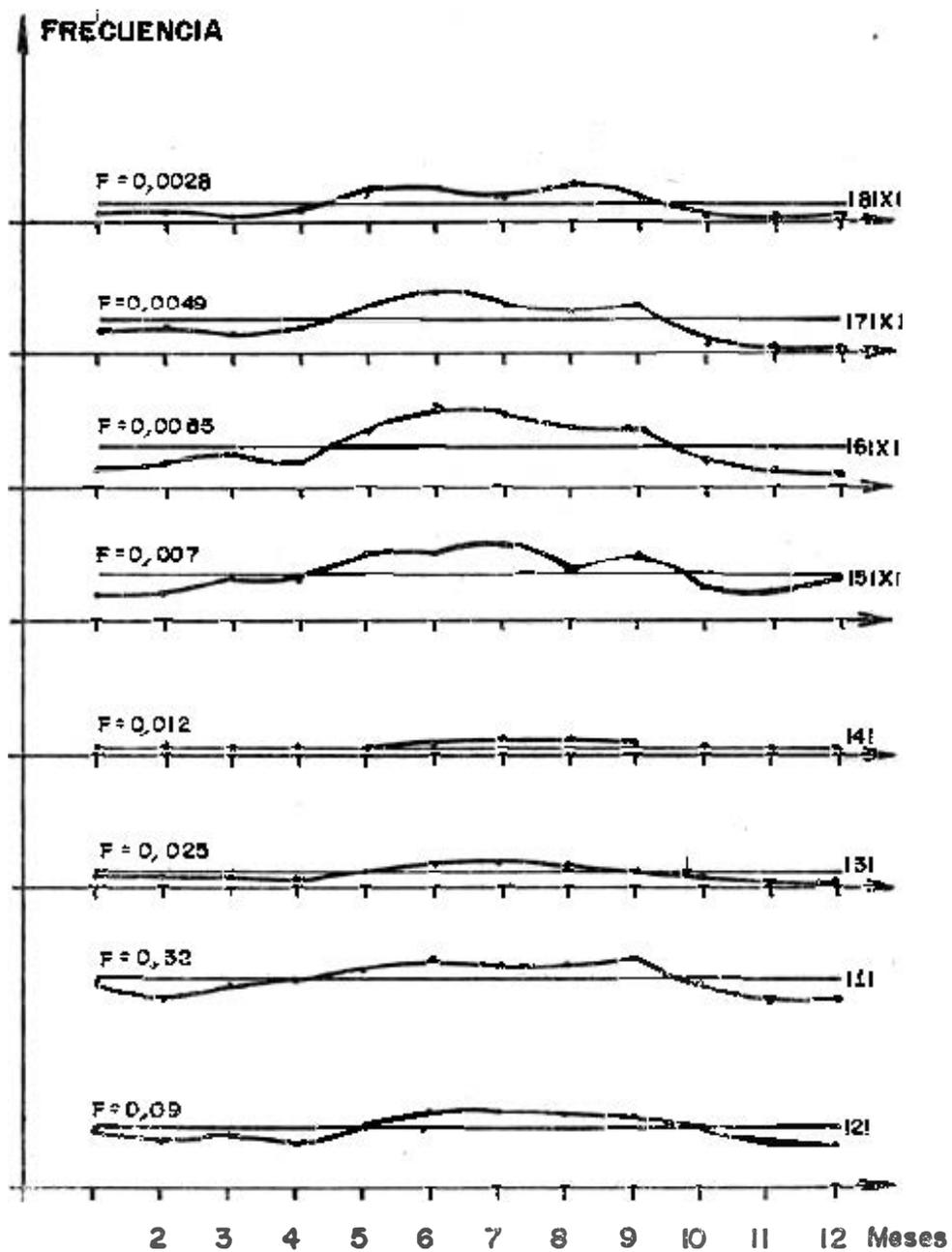


FIG. 3. Cambio de frecuencias para cada uno de los cambios en el giro del viento por meses del año.

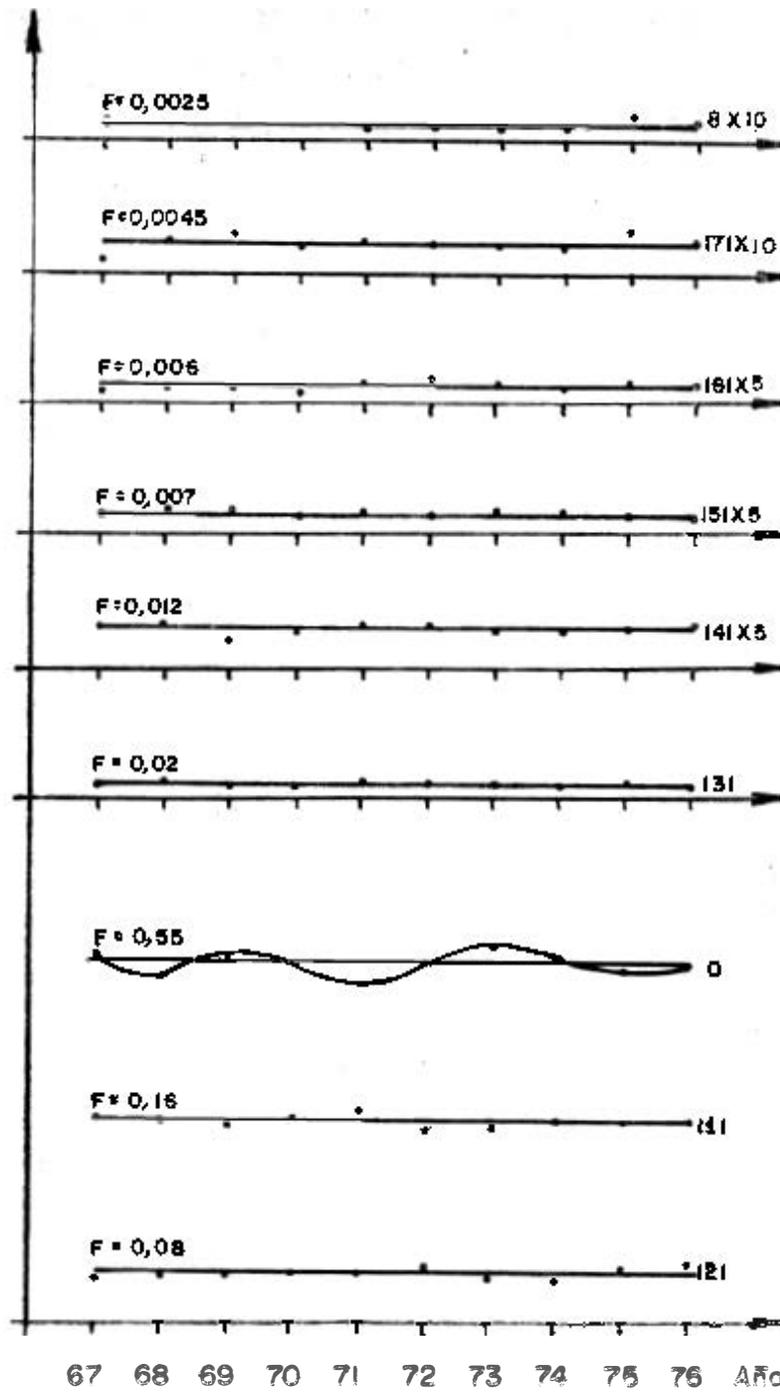


FIG. 4. Cambio de frecuencias para cada uno de los cambios en el giro del viento por año de la serie 10 años.

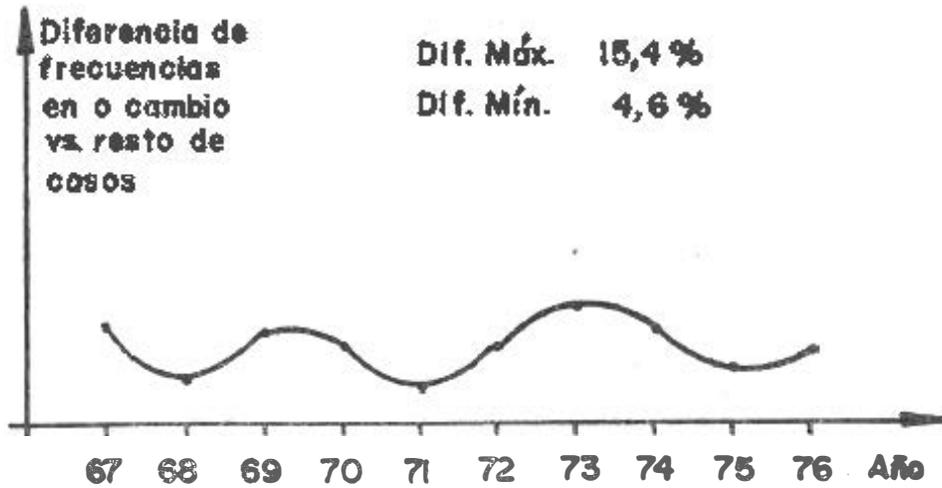


FIG. 5. Diferencia de frecuencias por año entre los casos con cero giro menos casos con giro de algún tipo.

valores medios, presentándose siempre, aunque muy débil la tendencia general, en lo que se refiere a los meses, y una oscilación de tipo armónica en lo que respecta a los años, que puede apreciarse con mayor claridad en la Fig. 5, donde se ha consignado la diferencia de frecuencias (casos con cero giro menos casos con giro de algún tipo) por año.

Aunque la forma de variación de cero cambios representa una curva de tipo armónico, como puede verse en la Fig. 6, también podemos notar que a medida que se amplía la gama de tolerancia (entre -1 y 1 , entre -2 y 2), la curva pierde su carácter armónico, dejando bastante bien

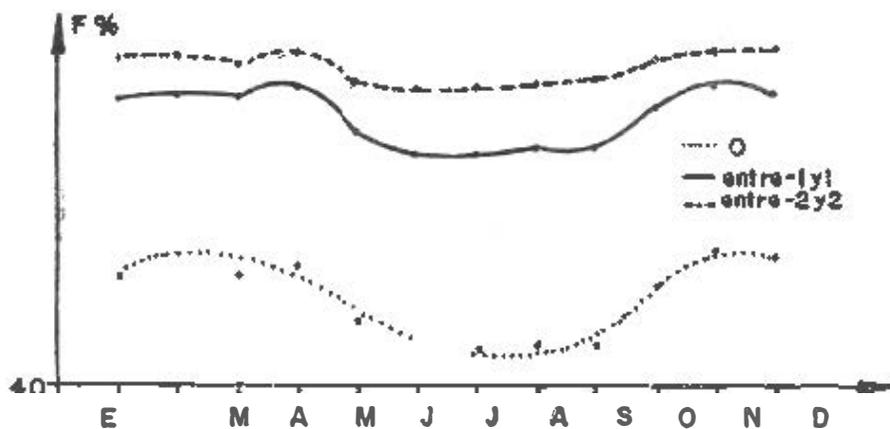


FIG. 6. Cambios mensuales de frecuencia para los valores de cero giro, giros entre -1 y 1 , y giros entre -2 y 2 .

delimitadas las zonas de mayor y menor ocurrencia, de acuerdo con las épocas del año.

Con vista a delimitar la gama de valores entre los cuales puede presentarse la ocurrencia de casos para un mes dado, se definieron los espectros de variación mensual y anual como la diferencia entre el mayor y el menor número de casos ocurrido en un mes o en un año. Debido al comportamiento de los valores en una amplia gama, se definió también el espectro de variación de frecuencias para los meses y para los años sustituyendo el valor del número de casos por el valor de frecuencia. Ambos casos pueden verse en las Figs. 7 y 8 para la variación mensual y anual, respectivamente.

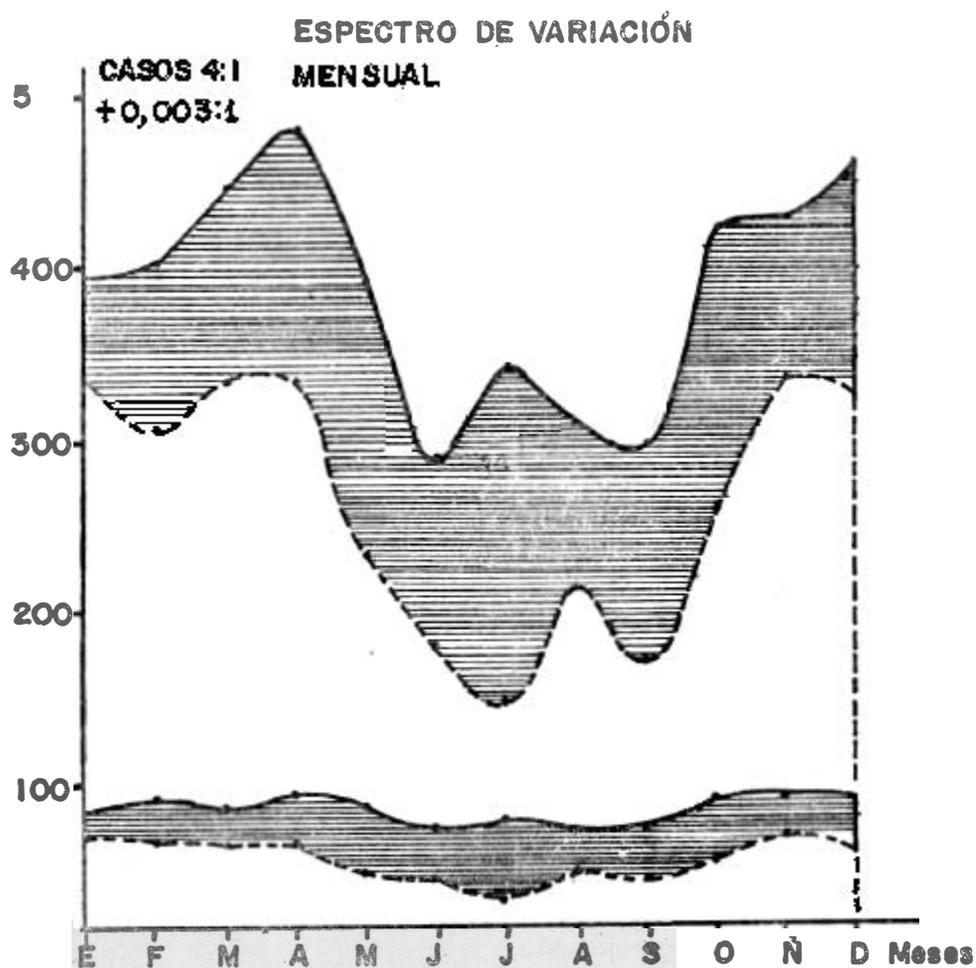


FIG. 7. Espectro de variación y espectro de variación de frecuencias para cada uno de los meses del año, en los 10 años de la serie.

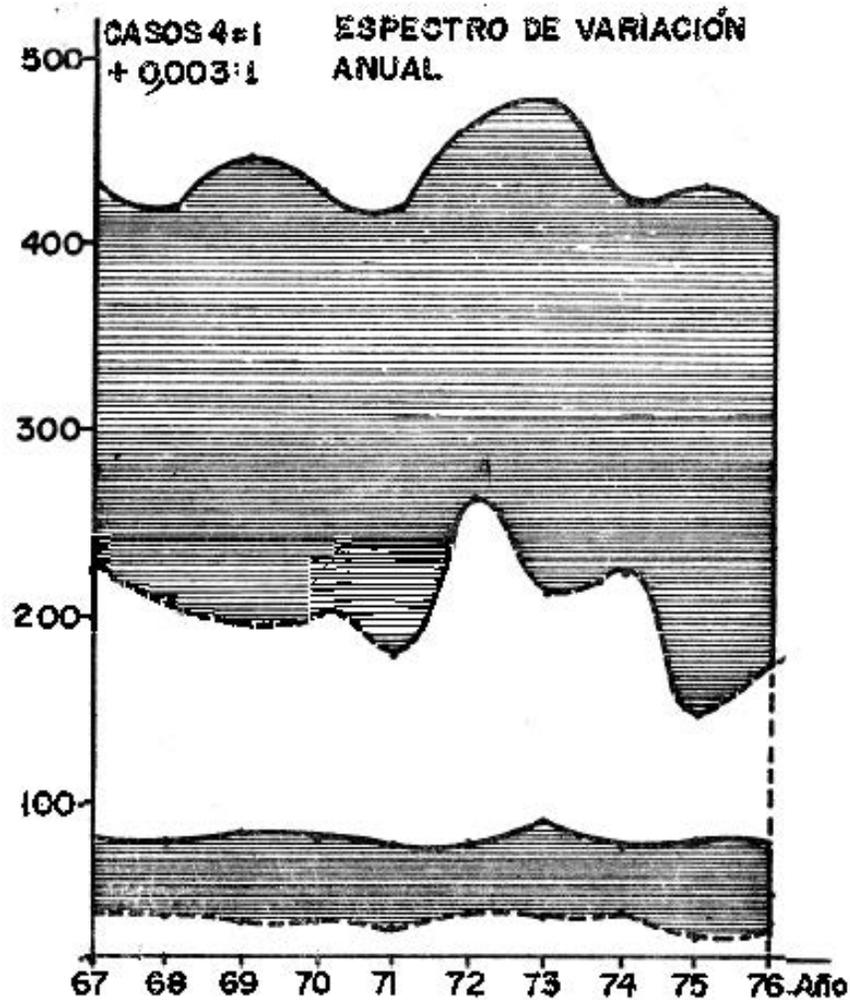


FIG. 8. Espectro de variación y espectro de variación de frecuencias para los 10 años de la serie.

Siguiendo la línea de trabajo, se halló la diferencia entre cero giros y el resto de los casos (en frecuencia), de la misma manera que para los años, pero en este caso para los meses. Los resultados pueden verse en la Fig. 9, donde además se ha trazado la curva representativa de la ocurrencia de frentes fríos por meses para la estación Casa Blanca (R. Álvarez, inédito)¹, notándose una buena coincidencia en la forma de ambas curvas, lo que puede interpretarse como que el paso de frentes fríos por la estación está íntimamente relacionado con la cantidad de horas que el viento permanece sin cambiar de rumbo.

¹ "Estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de Cuba". Tesis de grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-matemáticas, IFA, Moscú, 1978.

Por último, se buscó la expresión analítica más aproximada al cambio mensual de la estabilidad del viento. En la Fig. 10 puede verse la curva de cambio mensual de cero y diferente de cero, encontrándose como mejor aproximación que el cambio de frecuencias de cero giro cumple aproximadamente con la ecuación:

$$F_o = \text{sen}(x - \pi/4) + 53,$$

y la curva de cambio de frecuencias para los valores de estabilidad diferentes de cero cumple aproximadamente con la ecuación:

$$F_\phi = -\text{cos}(x - \pi/2) + 46$$

4. CONCLUSIONES

- Tomando la estación Casa Blanca como representativa, en forma muy general, de los cambios en la dirección del viento de una hora a la próxima, la probabilidad de permanencia del viento de un rumbo durante dos observaciones consecutivas es del 55%, lo que hace que las fórmulas analíticas o estadísticas que precisen de una certidumbre mayor no puedan ser aplicadas en nuestras condiciones climáticas tropicales.
- Considerando la dispersión de contaminantes para vientos del mismo rumbo o cambios de un rumbo a la derecha o a la izquierda (entre -1 y 1) de una observación a la próxima (1 hora), la probabilidad de ocurrencia aumenta hasta el 86% y los contaminantes tienen un 31% de probabilidad de caer, en este caso, 430 m a la derecha o a la izquierda de la dirección prefijada, a la distancia longitudinal de 1 km y de 4,3 km a la derecha o a la izquierda a una distancia de 10 km.

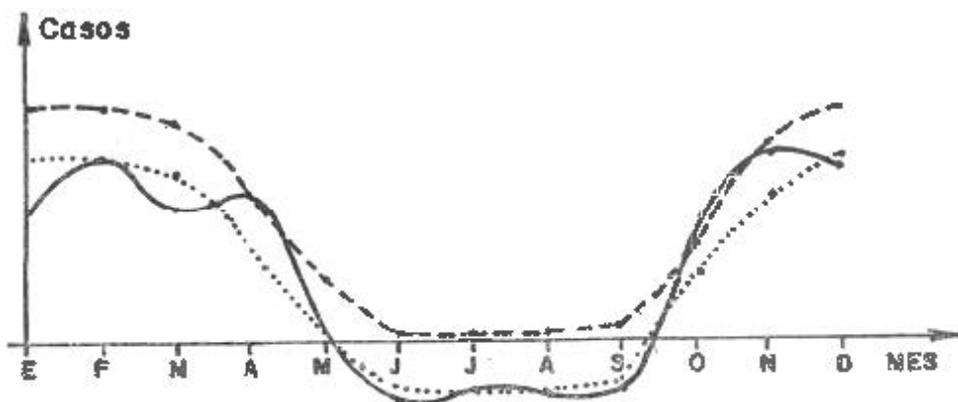


FIG. 9. Diferencia entre casos con cero giro y el resto de los casos. Se ha representado también la curva de ocurrencia de frentes fríos por año por estación, en cambio mensual para la Estación Casa Blanca. Línea continua: diferencia de f entre cero y el resto de los casos; línea discontinua: número de frentes fríos por año y por estación; línea de puntos: curva de los frentes, desplazada hacia abajo.

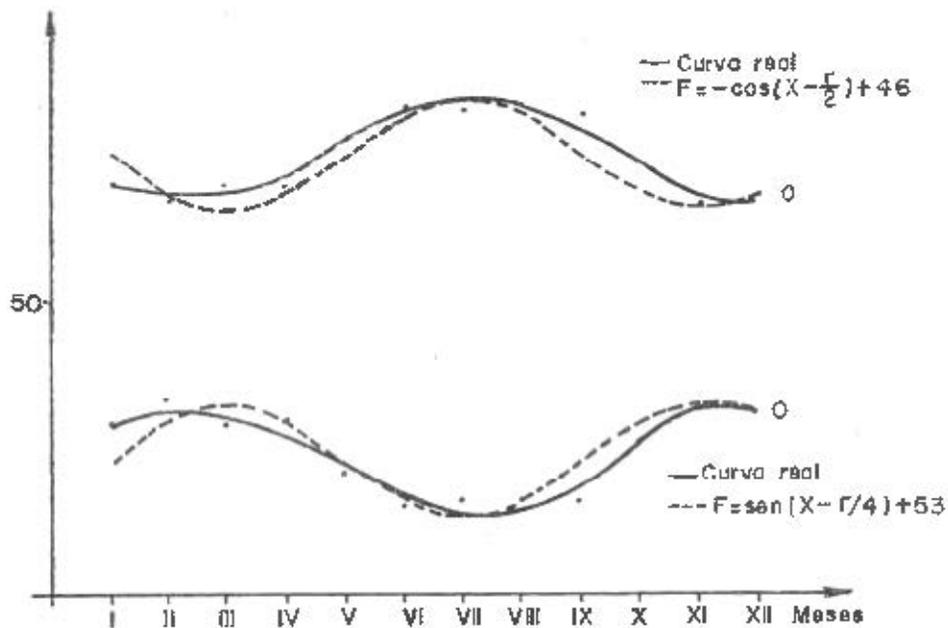


FIG. 10. Cambio mensual de los valores de cero giro y diferentes de cero giro totalizados. Se han dibujado también las curvas de las mejores aproximaciones analíticas.

Continuando en este razonamiento, la probabilidad de caer dos rumbos a la derecha o a la izquierda (entre -2 y 2) es del 11%, lo que representa una dispersión de 1 010 m a la derecha o a la izquierda, a 1 km de distancia, y 10,1 km a la derecha o a la izquierda, a 10 km de distancia. Con el propósito de visualizar este comportamiento se dibujó un diagrama a escala que aparece en la Fig. 11. Dada la poca ocurrencia de los demás valores de giro, éstos pueden ser obviados a la hora del cálculo de la dispersión de contaminantes.

- c) Como se aprecia en las Figs. 2, 3, y 4, los valores de giro mayores que dos rumbos se comportan, tanto mensual como anualmente, de forma estable, con valores de frecuencia pequeños, lo que ratifica la posibilidad de no incluirlos en los cálculos. También, de las Figs. 5 y 6 puede apreciarse que la influencia en el giro de los vientos está determinada por los valores -2 Giro 2.
- d) De las Figs. 7 y 8 puede concluirse que, de acuerdo con las premisas establecidas para el método de trabajo, el empleo del número de casos tiende a falsear los resultados, ya que al no tomarse en cuenta el valor real de la muestra, ésta queda influida por la diferencia de días entre cada uno de los meses del año, así como por la ocurrencia de calmas

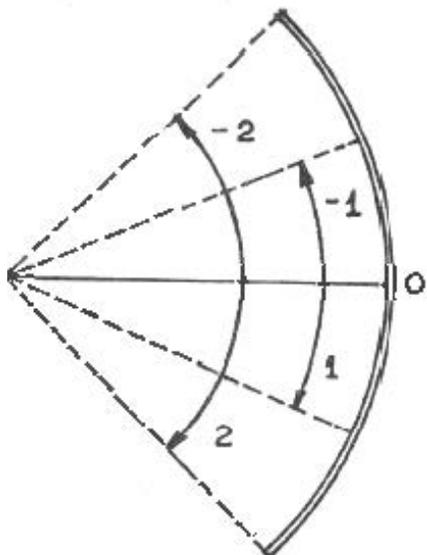


FIG. 11. Dispersión de contaminantes desde la dirección original, al provocarse cambios en el giro del viento.

en cada uno de ellos, las cuales varían en forma irregular con los meses del año (R. Álvarez, inédito)¹.

- e) Como puede verse en la Fig. 9, la entrada de frentes fríos en nuestro territorio debe estar íntimamente ligada a la estabilidad en el rumbo del viento.
- f) De acuerdo con la aproximación realizada y el número de datos procesados, podemos decir que los no cambios en el giro del viento están representados por la ecuación:

$$F_o = \text{sen}(M - \pi/4) + 53$$

donde M es la relación de correspondencia:

enero = 0; febrero = $\pi/4$; marzo = $\pi/2$; ...

y los cambios por:

$$F_\phi = -\text{cos}(M - \pi/2) + 46$$

donde M tiene la misma representación anterior.

5. RECOMENDACIONES

- a) Ampliar el método de trabajo a estaciones más alejadas de la costa.
- b) Procesar los datos de giro del viento por esta metodología en todas las estaciones del País, con el fin de construir mapas de isofrecuencias de giros.

- c) Reanalizar los métodos de pronósticos de la contaminación del aire para Cuba, a la luz de los resultados obtenidos acerca del comportamiento de los giros del viento.

REFERENCIAS

- BERLYAND, M. E. (1975a): Sovremennye problemy atmosfieroi diffuzii i zagriaznieniye atmosfieri. Gidrometizdat, Leningrado, 448 pp.
- , ed. (1975b): Ukazaniia po raschietu rassieivaniia y atmosfera vriednyj vechest sodieryachijsia v vybrosaj priedpriatii. Stroiizdat, Moscú, pp. 369-374.
- HESEK, F. (1982): Air pollution model based on a nongaussian puff formula. *Contrib. Geophys. Inst. Slovak Acad. Sci.*, ser. Meteorol., 4:109.

NEW METHODOLOGY FOR THE STUDY OF CHANGES IN WIND DIRECTION

ABSTRACT

A new methodology for wind data processing, to be used in air pollution problems, is presented. Curves are shown for the quantity of directions that wind changes with the highest probability in one year and each month of the year. Approximations are made and it is found that the most representative curves of the process are harmonic functions. Conclusions and recommendations are given.