

CAMBIO EN LOS PATRONES DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DEBIDO A LA VARIABILIDAD NATURAL, A PARTIR DE LA APLICACIÓN SOBRE LA VARIABLE VIENTO DE UN ANÁLISIS MULTIVARIADO.

Autores: : ALFREDO E. ROQUE RODRÍGUEZ, ROSENDO ALVAREZ MORALES, LAURA AENILLE FERRO, LISSETTE BOUZA MARTÍNEZ.

Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología.

RESUMEN:

En este trabajo se pronostica el patrón de dispersión de contaminantes para el quinquenio 1996-2000 en la estación de Casablanca, teniendo en cuenta la variabilidad natural, a partir del análisis de la tendencia de la matriz de frecuencia de rapidez vs rumbo del viento en dicha estación, mediante una variante de la teoría del análisis multivariado. Como modelo de pronóstico fue utilizado el modelo de Berlyand - Alvarez Modificado utilizado para el cálculo de las concentraciones de contaminantes emitidos por una fuente puntual. Los resultados obtenidos demuestran la validez de la metodología empleada y se concluye que el pronóstico de dispersión de contaminantes en la estación Casablanca, para el quinquenio 1996-2000, muestra poca variación con respecto al quinquenio anterior.

Introducción

La dispersión en la Capa Fronteriza Planetaria (CFP), está controlada por la turbulencia en esta capa. Al igual que la turbulencia, la dispersión es un fenómeno aleatorio o estocástico, esto significa que la concentración observada para un tiempo particular localizada en la dirección del viento, no puede ser predicha en general con precisión, por tanto debe ser descrita a través de una distribución de probabilidad (Venkatram et. al., 1993).

El parámetro de entrada más importante a los modelos de dispersión es el viento, por lo que un adecuado análisis de este parámetro conlleva a mejores estimaciones de los modelos.

La variable viento es considerada como un vector, el único de las variables meteorológicas base y por tanto su comparación con las demás resulta un tanto difícil. Sin embargo, si tomamos una matriz de frecuencia proveniente de una tabla de doble entrada podemos trazar una carta (carta característica), donde cada a_{ij} representa la variación de la rapidez y el rumbo simultáneamente (Alvarez, 1983) provocando una transformación del espacio E_2 en otro E_1 , donde este último representa la probabilidad de ocurrencia de ambas magnitudes simultáneamente.

Si además determinamos la tendencia de cada a_{ij} mediante el análisis del comportamiento de cada uno de los elementos en una serie cronológica, nos permitirá conocer cuales serán los cambios que experimentará la variable variable viento en cuanto a rapidez y rumbo para un período de tiempo dado y con ello poder pronosticar el patrón de dispersión de contaminantes para el mismo período. La realización de este análisis mediante una metodología novedosa a partir de la teoría del análisis multivariado, resulta la esencia de este trabajo.

Materiales y Métodos

Según estudios anteriores (Alvarez, 1983), 5 años de datos de viento resulta suficiente para realizar un estudio juicioso de esta variable, dado su carácter repetitivo.

Bajo este criterio una serie de datos de viento con x cantidad de años puede ser dividida en series de 5 años constituyéndose de esta manera varias matrices. En cada matriz obtenida los a_{ij} son las frecuencias de dos variables tomadas simultáneamente de una tabla de doble entrada, representando la probabilidad de ocurrencia de ese elemento en la serie de

5 años (ej: 1 m/s de rumbo N es a_{11} , 1 m/s de rumbo NNE es a_{12} , 2m/s de rumbo N es a_{21})(Alvarez, 1997)

Agrupando cada uno de los a_{ij} , conformamos la matriz múltiple. Sobre la matriz múltiple se calculó la curva de mejor aproximación para cada a_{ij} , teniendo en cuenta que una serie cronológica puede descomponerse en un movimiento a largo plazo o tendencia, movimientos sistemáticos a corto plazo y componentes aleatorias (Yule et al, 1958) y una serie meteorológica puede ser descompuesta en oscilaciones de pequeña escala, de mesoescala, sinópticas, globales, estacionales, interanuales (cuasi-bienales particularmente en la atmósfera ecuatorial), ENSO, autooscilaciones anuales de las ramas Norte de la corriente del Golfo, intercentenales, de largo período, además de los efectos de feedback (Kagan, 1995). Aproximándola por una curva que contenga un término lineal y varios que contengan términos de oscilación, se llega a la curva:

$$y = c_1 \text{sen } x + c_2 \text{cos } x + \dots + c_{13} \text{sen } 7x + c_{14} \text{cos } 7x + c_{15} x + c_{16} \quad (1)$$

Desechando los términos oscilatorios en las series de cada uno de los a_{ij} , ya que una oscilación tiene el mismo valor al principio y al final se tomó el coeficiente del término lineal en la aproximación como la tendencia (pendiente de la recta) de cada a_{ij} y el conjunto de todas las tendencias de las a_{ij} conformó la matriz de probabilidad de tendencia para series de 5 años de datos.

A partir de las matrices obtenidas para las variables en estudio: rapidez del viento vs rumbo del viento, se obtienen las cartas bidimensionales de cambios de estas variables simultáneamente.

Al realizar un análisis escalar sobre la matriz de tendencia obtenida se determina los aumentos (disminuciones) de la tendencia del par de variables.

Esto permite su aplicación al pronóstico de concentración de contaminantes y estudiar las diferentes variaciones a que ha estado sujeto dicho patrón y a su vez pronosticar con la tendencia cual sería el patrón de contaminantes aproximado que deberá obtenerse para un quinquenio posterior al último de la serie.

Para obtener el mejor ajuste de los a_{ij} en la matriz múltiple mediante la ecuación dada (1), se fijó el ajuste superior al 70 % de correlación, encontrándose que para el viento el coeficiente de correlación entre la curva real y la ajustada fue de acuerdo con la hora del día en el 54 % de los casos igual a 0.99; en el 21 % de los casos entre 0.989 - 0.98; el 17 % entre 0.979 - 0.97 y el 8 % restante entre 0.969 - 0.93.

Considerando la serie de datos de dirección y rapidez del viento de la estación Casablanca desde el año 1906 hasta 1995 y agrupándola por quinquenios, se obtienen como resultado 18 grupos en forma continuada de observaciones bihorarias con excepción del año 1916 en que no pudo resolverse la información por su estado de decrepitud.

Debe señalarse que los resultados obtenidos aquí no contemplan fenómenos de forzamiento de la variabilidad climática mayores que 5 años por estar el espacio ortonormalizado en ese período de tiempo, pudiendo considerarse esta variabilidad calculada como de fondo. Tampoco contemplan fenómenos aperiódicos que violen la ortonormalización, como es el caso del ENOS (el Niño - Oscilación del Sur) por citar un ejemplo.

Aunque la analiticidad del método permite hablar de comparación de patrones a partir de esta forma de calcular la tendencia, ya que el tiempo aparece como la variable fundamental ya sea explícita o implícitamente al ordenar los datos temporalmente, los autores realizaron un análisis de la diferencia entre cada uno de los quinquenios y el sucesivo de manera que pueda seguirse una secuencia del cambio, aunque, por simplicidad estos análisis aparecen parcialmente en el artículo.

El método de cálculo de dispersión utilizado aquí es el de Berlyand-Alvarez Modificado y es el único validado en Cuba: primero en el estudio de dispersión del complejo de níquel programado para Nicaro con datos obtenidos en Mayarí sobre muestras tratadas con microscopía electrónica, y segundo en el estudio realizado en Moa para el cálculo de la contaminación en la zona.

La fórmula de cálculo para la concentración máxima, ajustada experimentalmente, viene dada por la relación:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2(V\Delta T)^{1/3}} \quad (2)$$

donde:

A - Coeficiente calculado para condiciones normales de intercambio vertical y horizontal.

M - Cantidad de materia expulsada (g/s^{-1}).

F - Coeficiente adimensional, calculado para las condiciones de salida de la mezcla gas-aire en el punto de emisión. Para expulsiones gaseosas y aerosoles (partículas con velocidad de precipitación $< 3m/s$, $F=1$).

m, n - Coeficientes adimensionales, que dependen de la velocidad de salida de la mezcla (m/s), diámetro de la chimenea (m); de la diferencia de la

temperatura entre la mezcla y el aire, altura de la fuente y el volumen de emisión de la mezcla gas-aire (m^3/s).

H - Altura efectiva de la fuente emisora (m).

V- Volumen de emisión (m^3 / s).

ΔT - Diferencia entre la temperatura de emisión y la ambiente ($^{\circ}C$).

La distancia a la cual ocurre la concentración máxima (X_m) se calcula considerando la altura de la fuente (H), el coeficiente adimensional de filtrado (F) y un parámetro (d), que depende de la llamada velocidad peligrosa del viento (V_m), la cual es función del volumen de la mezcla gas-aire y de la diferencia de temperatura entre el gas y el aire.

La concentración máxima y la distancia a la cual ocurre esta para una rapidez del viento u diferente de V_m se obtiene como:

$$C_{mu} = r (C_m) \quad (3)$$

$$X_{mu} = p (X_m) \quad (4)$$

El cálculo de la concentración a cualquier distancia de la fuente en la dirección del penacho será entonces

$$C_m = S (C_{mu}) \quad (5)$$

$$C_{mu} = S_1 (C_{mu}) \quad (6)$$

donde $S_1 (X/X_m, F)$ considerando la rapidez peligrosa del viento, o bien $S_1 = S_1 (X/X_{mu}, F)$

En lo referente a la matriz de viento utilizada, esta presenta en las columnas las 16 direcciones fundamentales con que se codifica el mismo en superficie, mientras las filas son los 34 rangos de rapidez del viento, incluyendo posibles valores superiores a 75 km/h.

El pronóstico para los diferentes quinquenios se hace atendiendo a una fuente puntual situada en el lugar de estudio, cuyos datos reales de emisión son los siguientes:

H = 110 m	(Altura de la chimenea)
$W_g = 13.3 \text{ m/s}$	(Velocidad de salida del gas)
A = 200	(Constante de estratificación térmica)
F = 3	(Constante adimensional)
$\Delta T = 23^{\circ} C$	(Diferencia de temperatura entre el gas y el aire)
$M = 8,91 \text{ Exp}(12) \text{ Bq/d.}$	(Emisión del gas por la chimenea)

La distancia para la cual se hace el pronóstico es de hasta de 10 kms, a partir de la fuente.

Para este trabajo se calculó con la matriz rapidez - rumbo del viento el patrón de dispersión de contaminantes correspondiente a tres situaciones diferentes: el quinquenio 1906 - 1910, el quinquenio 1990 - 1995 y lo que ocurrirá en el 1996-2000 tomando en cuenta sólo la variabilidad dada por el cambio de las tendencias de la matriz rapidez - rumbo del viento.

Toda vez que el pronóstico de dispersión realizado con la metodología descrita y una matriz rapidez - rumbo quinquenal se toma como patrón de dispersión para los estudios de planificación física realizados en Cuba, la variabilidad de fondo provocará los cambios en el patrón que se describen en el trabajo.

Discusión de los resultados

Carta característica del viento.

Rapidez - Rumbo.

En la fig. 1 podemos ver la carta característica de tendencias de rapidez vs rumbo del viento para la estación meteorológica de Casablanca, obtenida a partir de 90 años de datos procesados según la metodología explicada. En ella podemos ver que, en general, la tendencia es a que aumente el número de casos de valores bajos de la rapidez del viento (entre 1 y 3 m/s) para rumbos entre el N y el ESE con énfasis especial en los rumbos ENE - 3 m/s y E - 1 m/s; por otra parte, a que disminuya rápido encuentra mínimos en el NE - 4 m/s, NE - 6 m/s, E - 4 m/s y un lugar alejado en el NNW - 4 m/s. En general, podemos decir que hay una tendencia clara a la disminución de los W para casi todos los valores de rapidez del viento detectados.

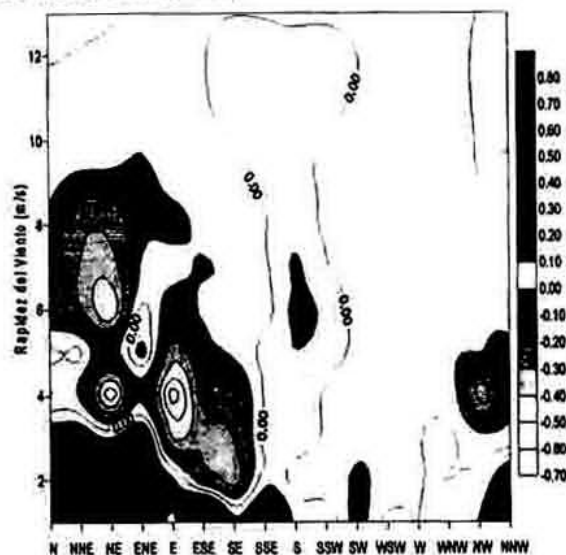


Fig. 1. Carta característica de la matriz de tendencia de rapidez vs rumbos del viento. Estación Casablanca.

Con esta análisis del viento se procedió entonces a la introducción de los resultados en el modelo de dispersión de contaminantes con el fin de estudiar las variaciones que ha sufrido el patrón de dispersión de contaminantes durante los años y determinar cual sería el Patrón a obtener en el quinquenio 1996-2000.

Variabilidad en los patrones de dispersión de contaminantes en la estación Casablanca.

El patrón de dispersión para el quinquenio 1906-1910 (fig. 2), muestra que los valores más frecuente se concentran entre el 3 y 4 cuadrante, o sea, las isolíneas de igual concentración se ubican a uno y otro lado del rumbo oeste (W), indicando la alta frecuencia de los vientos del 1 y 2 cuadrante.

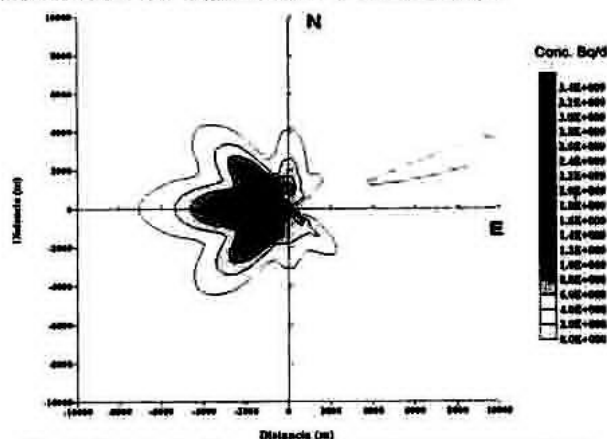


Fig. 2. Patrón de Dispersión de contaminantes para el período 1906-1910 en Casablanca. Fuente en (0,0).

En el quinquenio 1991-1995 (fig. 3) con relación al quinquenio 1906-1910, el patrón de dispersión se muestra dirigido hacia el Oeste, pero de una manera más regular, mostrándose tanto en el anterior como en este la alta frecuencia de los vientos con componente E. Las distancias para la que se alcanzan los valores de concentración, han tenido poco cambio, por lo que la zona de afectación en ambos períodos es muy similar.

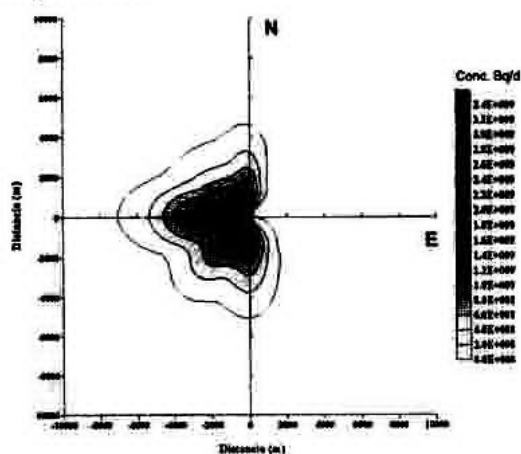


Fig. 3. Patrón de Dispersión de contaminantes para el período 1991-1995 en Casablanca. Fuente en (0,0).

El patrón de dispersión de contaminantes pronosticado según la tendencia para el quinquenio 1996-2000 (fig. 4), muestra poca variación y solo muestra como detalle significativo el acercamiento hacia la fuente de las concentraciones localizadas entre los rumbos Oeste y Oestenoeste, aunque en general el patrón de dispersión para los próximos 5 años, mantendrá las mismas características principales antes mencionadas del quinquenio 1991-1995. Esto es observable en la fig. 5, donde se muestra la superposición de ambos patrones.

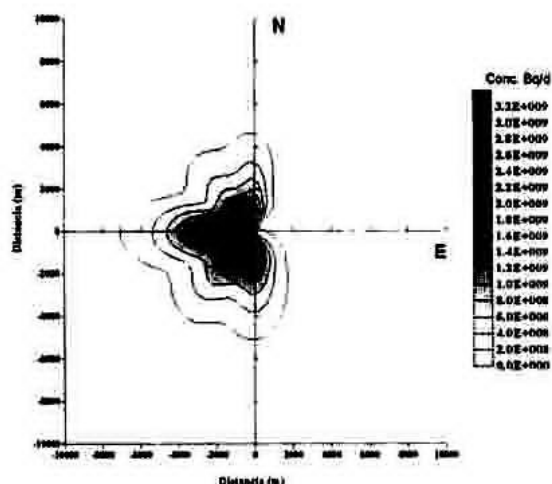


Fig. 4. Pronóstico del Patrón de Dispersión de contaminantes para el período 1996-2000 en Casablanca. Fuente en (0,0).

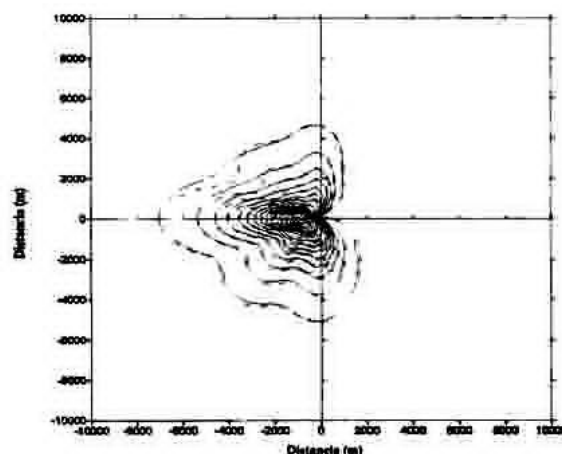


Fig. 5. Superposición de los patrones de Dispersión de Contaminantes correspondiente a los períodos 1991-1995 (línea continua) y el pronóstico para el período 1996-2000 (línea discontinua) en Casablanca.

Como prueba del método empleado se decidió pronosticar cual sería el patrón de dispersión de contaminantes para el quinquenio 1991-1995, a partir del quinquenio 1986-1990 (fig. 6), pudiendo observarse como resultado la efectividad del método empleado.

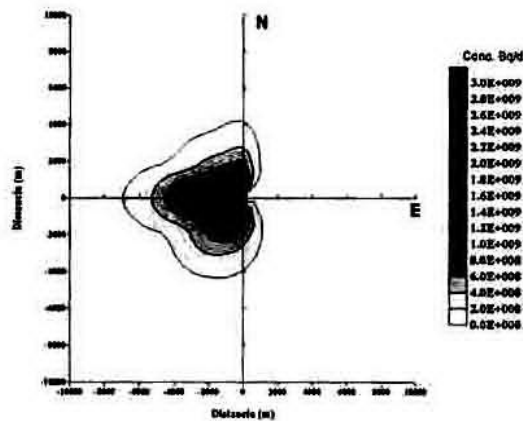


Fig. 6. Pronóstico de Dispersión de Contaminantes para el período 1991-1995, a partir de la tendencia aplicada al período 1986-1990 en Casablanca. Fuente en (0,0).

Otra prueba adicional de la efectividad del método lo constituye el hecho de que el patrón obtenido para el cuatrienio 1995-1998 (fig. 7), es muy similar al del 1991-1995 e incluso al pronosticado por la tendencia para el quinquenio 1996-2000.

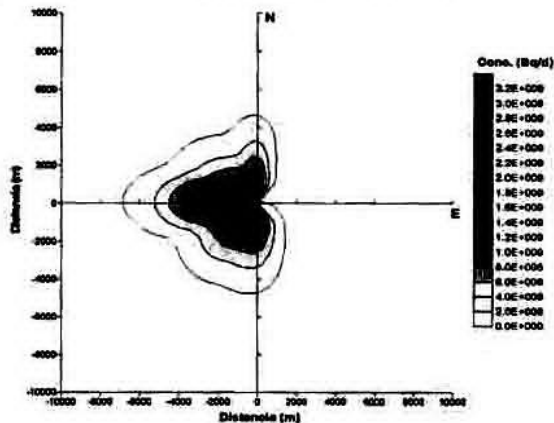


Fig. 7. Patrón de Dispersión de Contaminantes para el período 1995-1998 en Casablanca.

Conclusiones

No cabe dudas que los modelos de Dispersión de Contaminantes constituyen una herramienta eficaz en la búsqueda de soluciones para el control de la calidad del aire, lo cual ha llevado a que numerosos científicos presten gran atención a la mejora de los modelos o la creación de otros nuevos, prueba de ello es el trabajo presentado, en la que se hace uso de una nueva metodología, obteniéndose las siguientes conclusiones.

Para la estación Casablanca los rumbos del viento tienden a variar en el primero y segundo cuadrantes (direcciones desde el N hasta el SSE) en superficie con disminución en el NE y el E y aumento en el ENE. A partir del S y hasta el NNW el rumbo presenta gran estabilidad.

El Patrón de Dispersión de Contaminantes pronosticado para el período 1996-2000 no muestra diferencias significativas con relación al quinquenio anterior, es decir mantendrá las mismas características que el Patrón del quinquenio 1991-1995.

La metodología descrita permitió en principio pronosticar el patrón de dispersión de contaminantes teniendo en cuenta solo la variabilidad natural o de fondo, lo cual constituye un paso de avance en los propósitos planteados anteriormente, sin embargo, debe seguirse trabajando en la búsqueda de nuevos métodos de pronóstico que tengan en cuenta no solo la variabilidad natural, sino también los Cambios Climáticos.

Referencias

Alvarez, R. (1983): Nuevo método de empleo de los datos del viento para su aplicación a los problemas de la contaminación del aire. Ciencias de la Tierra y el Espacio. Pp. 139-141.

Alvarez, R. et.al, (1996): Aplicación de las matrices de probabilidad a los problemas del medio ambiente y discusión de algunas operaciones matriciales de nueva creación. VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires. 293-294 pp.

Alvarez, R. et. al (1997): Análisis de los cambios en los patrones de dispersión de contaminantes, del potencial eólico energético y algunas variables meteorológicas debido a la variabilidad y/o los cambios climáticos. Análisis de la estación Casablanca. Informe de Resultado. Departamento de Aerología. Instituto de Meteorología. CITMA.

Kagan, B.A. (1995): Ocean - Atmospheric Interaction and Climate Modeling, Cambridge University. Press London.

Venkatram, A. et. al, (1992): Evaluating Air - Quality Models: Review and Outlook, Journal of Applied Meteorology, vol. 31, No.10, October 1992.

Yule, M. A. y Kendall, M. A. (1958): An introduction to the Theory of Statistics. Griffin 701 pp.

ABSTRACT

In this paper the pollutants dispersion pattern for the quinquennium 1996-2000 at the Casablanca station is prognosticated based on the natural variability from the analyses made on the tendency of the vetocided frequency matrix facing the wind direction in such station by using a variant of the multivariate analysis theory. The Berlyand-Alvarez Modified model was the one used as prognostic model in order to calculate the pollutants concentrations emitted by a point source. The obtained results show the validity of the used approach and it is concluded that the pollutant dispersion pattern for the quinquennium 1996-2000 at the Casablanca station has slight variation compared th the previous five-year period.