

Para la estación de Las Tunas (Fig. 7), el patrón pronosticado para el año 2000-2004 es muy similar al del quinquenio anterior, aunque con un ligero incremento en los valores de concentración. Esta estación confirma los resultados encontrados para otras estaciones de la región oriental como Puerto Padre, Maisí (Alvarez 2000), Manzanillo y Cabo Cruz, en los que el patrón pronosticado para un quinquenio posterior al último de la serie no presenta cambios sustanciales con respecto a su antecesor debido en gran parte a la alta frecuencia de vientos con rumbo E en esta región del país, lo cual es reflejo de la matriz de tendencia de la frecuencia de ocurrencia de rapidez vs rumbo del viento para esta estación.

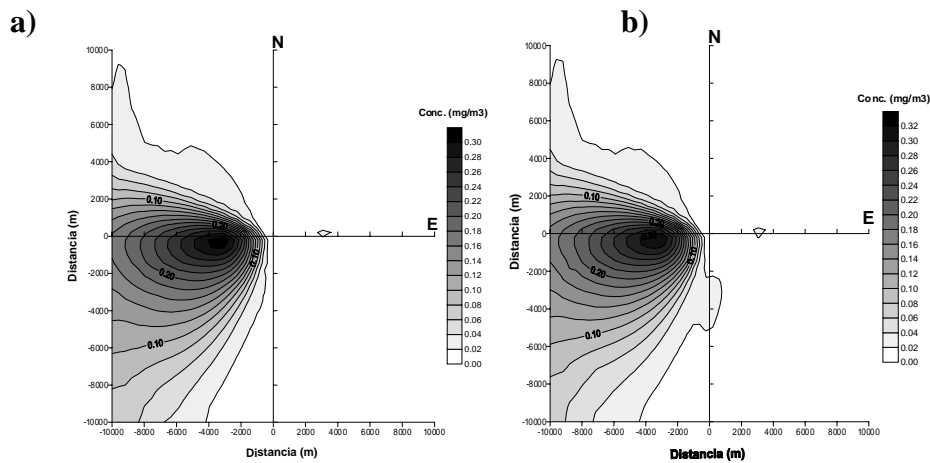


Fig. 7. Patrón de Dispersión de contaminantes para el período a) 1995-1999 y b) pronóstico para 2000-2004 en la estación de Las Tunas. Fuente en (0,0).

Obtención de la matriz de rapidez vs rumbo del viento teniendo implícita la permanencia de horas de calmas.

Cabo de San Antonio

La Fig. 8 nos muestra la matriz de frecuencia de ocurrencia de viento (que lleva implícita la permanencia en calmas) por rumbos contra rapidez de salida de la calma. Esta matriz se conoce con el nombre de matriz de acumulación y permite tener en cuenta el efecto del mismo nombre en los pronósticos de dispersión de contaminantes. En ella pueda apreciarse que los rumbos más frecuentes de salida de la calma se producen entre el NNE-ESE para valores del viento por debajo de 6 m/s, pero principalmente por debajo de 2 m/s.

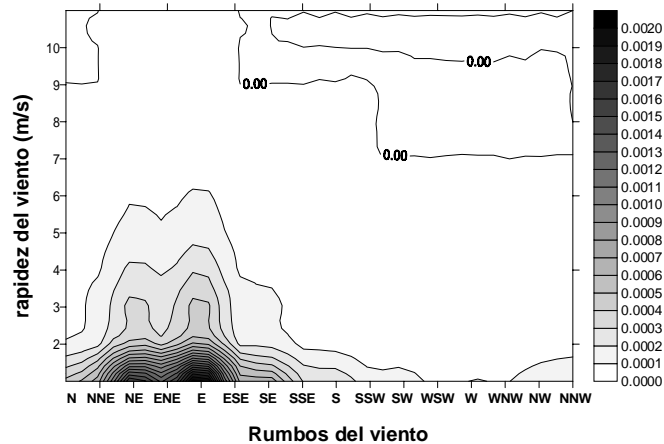


Fig. 8. Matriz de frecuencia de ocurrencia de viento (que lleva implícita la permanencia en calmas) por rumbos contra rapidez de salida de la calma para la estación de Cabo de San Antonio.

El pronóstico de dispersión de contaminantes debido a la acumulación se muestra en la Fig.9 y puede apreciarse que los valores son muy bajos en comparación con el patrón normal que se halla cuando no se tiene en cuenta este efecto. La suma de las concentraciones de ambos patrones constituye el patrón real de dispersión de contaminantes.

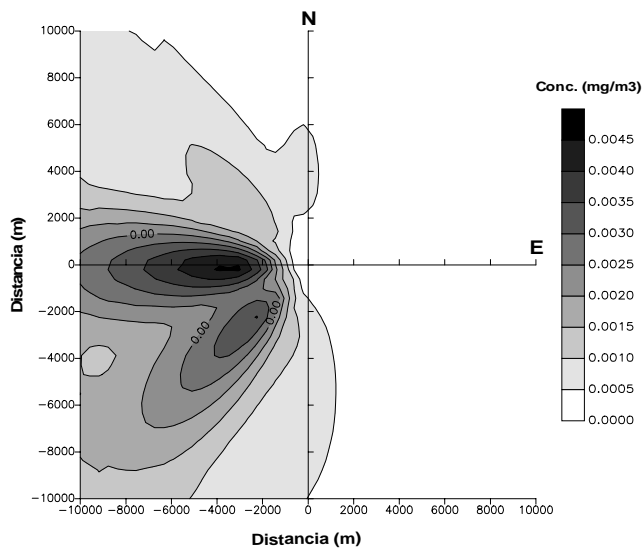


Fig. 9. Pronóstico de Dispersión de contaminantes por efecto de acumulación. Cabo de San Antonio

Caibarién

Para esta estación pueda apreciarse (Fig. 10) que los rumbos más frecuentes de salida de la calma se producen entre el SE-S para valores del viento por debajo de 2 m/s, presentando un máximo secundario ENE-ESE para valores por debajo de 4 m/s. Este

comportamiento de las calmas es diferente a lo encontrado para las otras 2 estaciones estudiadas.

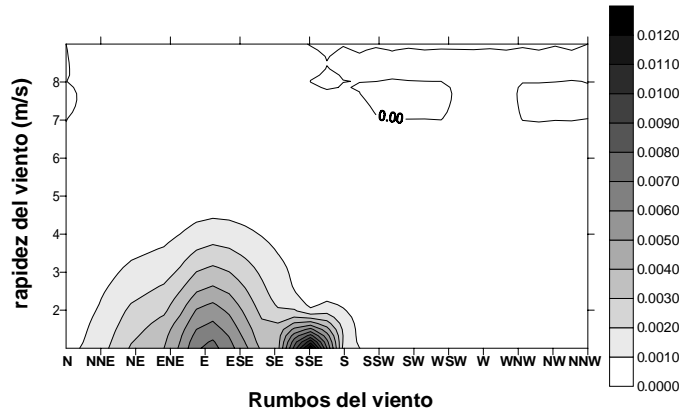


Fig. 10 Matriz de frecuencia de ocurrencia de viento (que lleva implícita la permanencia en calmas) por rumbos contra rapidez de salida de la calma para la estación de Caibarién

Igual que para la anterior estación, el pronóstico de dispersión de contaminantes por efecto de acumulación se muestra en la figura 11 para la estación de Caibarién.

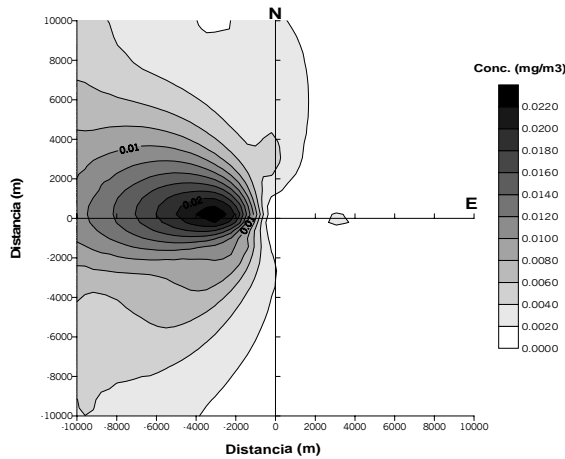


Fig. 11. Pronóstico de Dispersión de contaminantes por efecto de acumulación Caibarién.

En la misma puede apreciarse que los valores de concentración siguen siendo muy bajos y que los mismos deben sumarse al patrón cuando no se toma en cuenta este efecto provocando un incremento de las concentraciones hacia las regiones entre los cuadrantes III y IV.

Las Tunas

Para la estación de Las Tunas (Fig. 12) los rumbos más frecuentes de salida de la calma se producen entre NNE-ESE, para valores de rapidez del viento por debajo de 4

m/s, pero principalmente menores que 2 m/s, de igual manera a lo ocurrido en la estación de Cabo San Antonio

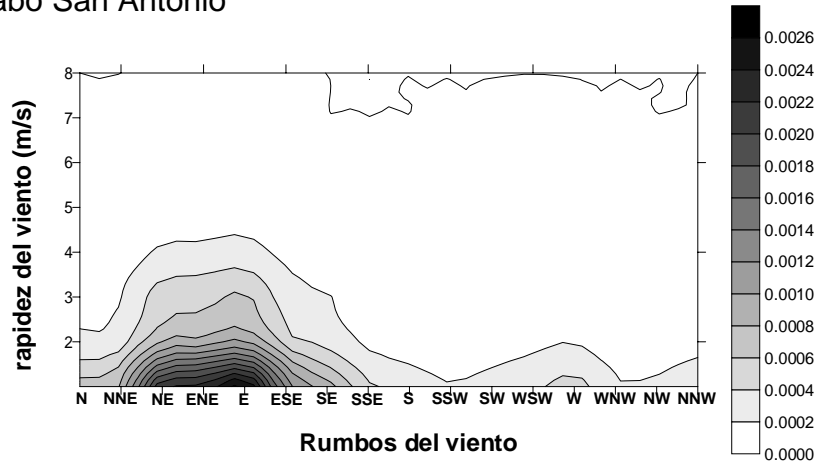


Fig. 12 Matriz de frecuencia de ocurrencia de viento (que lleva implícita la permanencia en calmas) por rumbos contra rapidez de salida de la calma para la estación de Las Tunas.

Su correspondiente patrón de dispersión de contaminantes se muestra en la figura 13, donde se alcanzan los valores más altos de concentración de las tres estaciones en correspondencia con la mayor ocurrencia de calmas en esta estación. Es significativo a diferencia de las otras 2 estaciones analizadas, la presencia de una zona de concentración entre el I y II cuadrante, aunque con valores bajos de concentración.

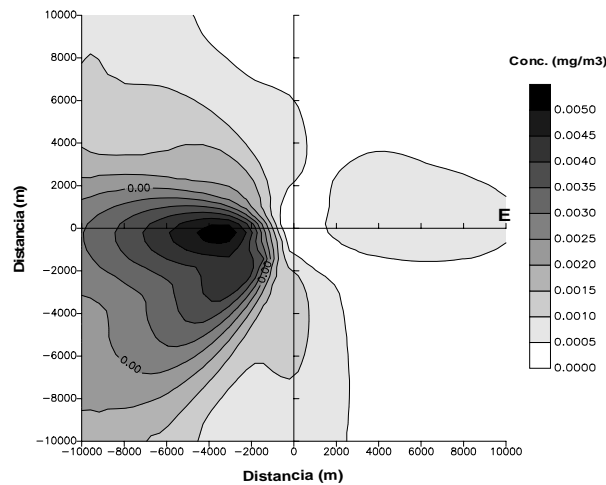


Fig. 13. Pronóstico de Dispersión de contaminantes por efecto de acumulación. Las Tunas.

Resultados finales de la nueva metodología.

En este epígrafe se procederá a mostrar los resultados finales de la dispersión de contaminantes teniendo en cuenta la variabilidad natural del viento y el efecto de

acumulación. Este procedimiento consiste en sumar las concentraciones de ambos patrones para obtener el patrón real de contaminantes para cada estación.

Sin embargo debe destacarse que en las tres estaciones los valores de concentración hallados teniendo en cuenta el efecto de acumulación son de 2 y hasta 3 ordenes de magnitud menor que los valores de concentración cuando no se toma en cuenta este efecto, lo cual no ocurrió así para la estación de Casablanca (Alvarez, 2000). Esto es debido a que en las estaciones analizadas las calmas no son representativas en la cantidad de observaciones, por lo que es de esperarse que las concentraciones reales o totales sean muy similares a cuando se tiene en cuenta el efecto de acumulación.

Cabo de San Antonio

La fig. 14 muestra el patrón real de contaminantes para esta estación. En ella puede apreciarse que no aparecen diferencias con el patrón hallado para esta estación y que se representó en la figura 9. Lo mismo ocurre para las otras estaciones, como se muestra en las figuras 15 y 16, las que no se diferencian de sus correspondientes figuras 8 y 10.

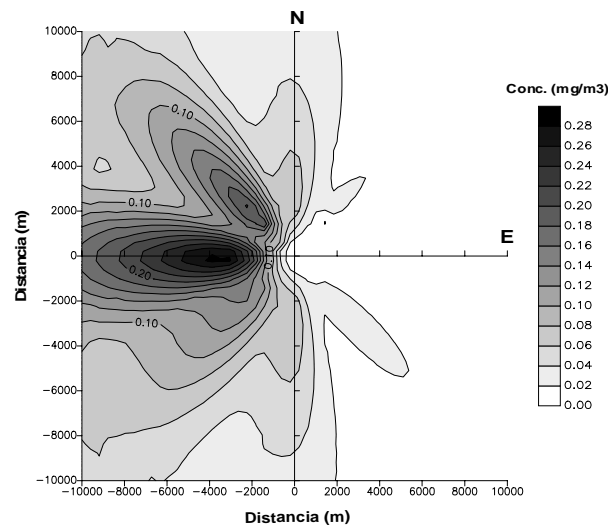


Fig. 14. Pronóstico de Dispersión de contaminantes real o total para la estación de Cabo de San Antonio.

Caibarién

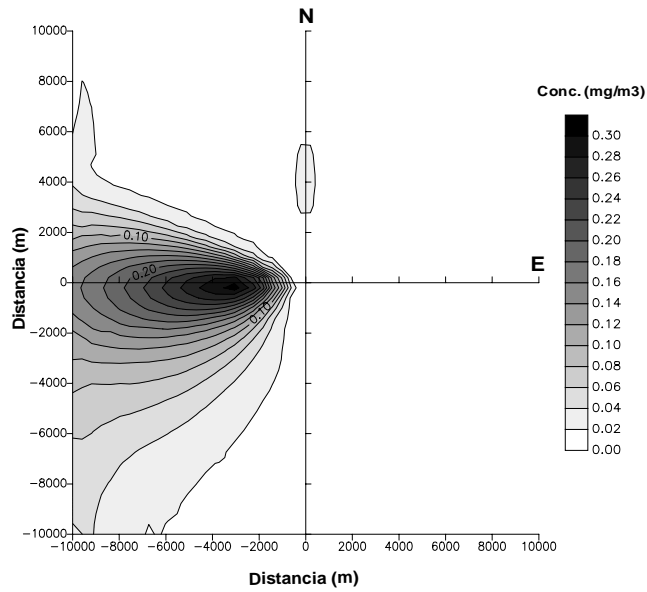


Fig. 15. Pronóstico de Dispersión de contaminantes real o total para la estación de Caibarién.

Las Tunas

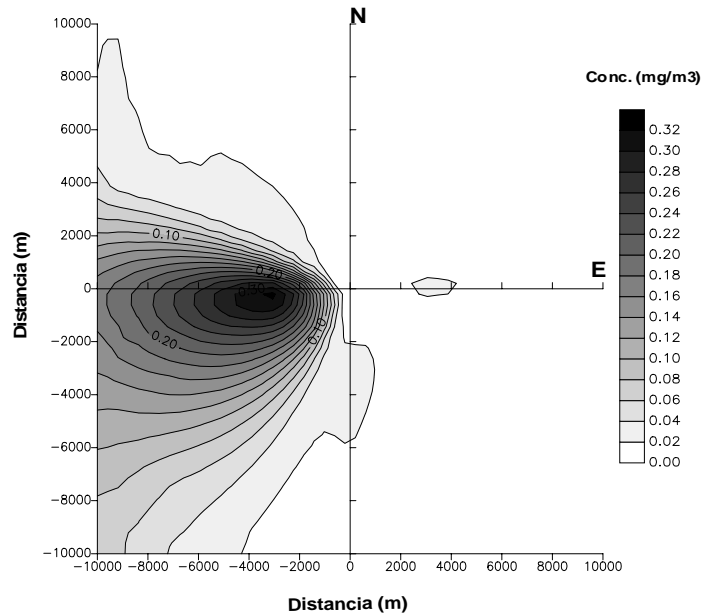


Fig. 16. Pronóstico de Dispersión de contaminantes real o total para la estación de Las Tunas.

Conclusiones

La aplicación de la variabilidad natural del viento y el efecto de acumulación al pronóstico de dispersión de contaminantes permitió mejorar el modelo hasta ahora

empleado en la norma cubana de calidad del aire, pues permite tener en cuenta los cambios del viento en el tiempo y el comportamiento de las calmas.

Esta nueva metodología permite por tanto pronosticar cual será el patrón a obtener en un período (en nuestro caso 5 años) posterior al último de la serie y en el caso en que la ocurrencia de calmas sea significativa para alguna estación, tener en cuenta el denominando efecto de acumulación.

El uso de esta nueva metodología permitirá a mejorar los estudios de impacto ambiental que usan el modelo de Berlyand-Alvarez o el modelo de Berlyand-Alvarez Modificado.

Dada la red de estaciones de superficie con que cuenta el servicio meteorológico se recomienda extender estos estudios a todas las estaciones que cuenten con registros largos de datos de manera que permita proveer a los investigadores de los datos necesarios para una mejor evaluación.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Lic. Dulce Pérez Betancourt y a las técnicas Laura Aenlle y Leticia Muñiz por el procesamiento de la información utilizada en este trabajo.

Referencias

Alvarez, R., et. al. (1980): Diagnóstico y pronóstico de la contaminación del aire en la zona industrial de Nicaro. Informe de resultado. Revista CEMACC. No. 5.

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.

Álvarez, R. (1984): Nueva metodología para el estudio de los cambios en la dirección del viento. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 8: 81-92.

Alvarez, R. (1990): Caracterización de la dispersión de contaminantes en la zona minero - metalúrgica de Moa. Informe de Resultado. IDICT, Instituto de Meteorología. CITMA.

Alvarez, L., R. Alvarez (1992): La permanencia como propiedad general de las variables meteorológicas I. Resultados preliminares. Revista Cubana de Física, 12(2): 115-120.

Alvarez, R., Roque, A. Alvarez, L., Amaro, L., 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.

Alvarez, R., Roque, A. Alvarez, L., Amaro, L., et. al. (1998): 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 las estaciones Cienfuegos, Caibarién y Santa Clara. Informe de Resultado. Departamento de Aerología. Instituto de Meteorología. CITMA.

Alvarez, R., Roque, A. Alvarez, L., Amaro, L., et. al. (1999): 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 Maisí. Informe de Resultado. Departamento de Aerología. Instituto de Meteorología. CITMA.

Alvarez R., L. Alvarez (1999): El efecto de acumulación y su influencia en el patrón de contaminantes. Memorias del la Convención Trópico 99. Ciudad de la Habana, Cuba, 29 de marzo al 2 de abril de 1999, publicación electrónica (MT010).

Alvarez, R., Roque, A., Alvarez, L., et. al. (2000): Nueva metodología para el estudio de la variabilidad climática. Informe Científico Técnico, INSMET, 200 pp.

Alvarez R., L. Alvarez (1999): El efecto de acumulación y su influencia en el patrón de contaminantes. Memorias del la Convención Trópico 99. Ciudad de la Habana, Cuba, 29 de marzo al 2 de abril de 1999, publicación electrónica (MT010).

Amaro, L., Alvarez, R., Roque, A., Alvarez, L., et. al. (2001): Nueva metodología para la caracterización de la contaminación atmosférica producida por fuentes radiactivas y convencionales. Informe Científico Técnico, INSMET, 215 pp.

Berlyand, M. E. (1975): Problemas actuales de la difusión atmosférica y la contaminación de la atmósfera [en ruso]. Guidrometeoizdat, Leningrado, 448 pp.

Hesek, F. (1982): Air pollution model based on a nogaussian puff formula. Contrib. Geophys. Inst. Slovak Acad. Sci. , Serie Meteorológica, 4: 109-118.

López C. M., et. al (1988): Diagnóstico y pronóstico de la contaminación del aire en la zona de desarrollo petrolero Cárdenas - Varadero. Informe de Resultado. IDICT, Instituto de Meteorología. CITMA.

NC 93-02-202 (1999): Normas de Gestión Ambiental. MEP – CITMA. Oficina Nacional de Normalización, 148 pp.

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

Roque, A. Alvarez, R., Aenlle, L. y Bouza, L. (2001): Cambios 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.

SNIP (1975): Normas para el cálculo de la distribución en la atmósfera de las sustancias dañinas contenidas en los desechos industriales [en ruso]. Stroiizdat, Moscú, SN-369-74.

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