

PATRONES DE AGLOMERACION DE LA CONTAMINACION POR OZONO Y OXIDOS DE NITROGENO EN LA CIUDAD DE MEXICO

Autores:

Carlos Daniel Salcido Merino

Fernanda Lara Gutiérrez, Annia González Torres, Claudia Ivette Rivera Tejeda, Aranzza Leonor Arias Marco

Profesor:

Rafael Mejía Avila

Escuela:

Centro Universitario Anglo Mexicano de Morelos

Área:

C. Ciencias Biológicas, Biomédicas y Químicas

1. Antecedentes

La contaminación atmosférica en las metrópolis es uno de los mayores problemas a nivel mundial debido a los diversos daños que produce a la salud de la población. Este problema es particularmente grave en la Ciudad de México debido a varios factores como son la topografía regional (ciudad rodeada de montañas), las condiciones meteorológicas que ahí prevalecen (vientos de baja intensidad), la concentración de la industria nacional, la gran cantidad de vehículos automotores, y la altísima densidad de población, entre otros. La gravedad y complejidad de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México ha despertado mucho interés a nivel mundial. Así, en marzo de 2006, científicos de muy diversas partes del mundo unieron sus esfuerzos en la iniciativa MILAGRO para la realización de una campaña de mediciones experimentales sin precedentes. [1] Por su parte, las autoridades ambientales de la Ciudad de México, desde hace ya más de dos décadas, han venido realizando un esfuerzo muy importante de vigilancia de los niveles de contaminación de la atmósfera a través de la instancia que hoy se conoce como SIMAT (Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México).[2] Los datos obtenidos por el SIMAT constituyen una fuente de información de enorme importancia sobre las características de la contaminación atmosférica de la Ciudad de México, y se encuentran, además, al alcance de toda la población a través de la Internet, pero particularmente a disposición de los investigadores de la contaminación atmosférica de la Ciudad de México.

En este trabajo, usando la información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del SIMAT, y una herramienta de análisis muy sencilla basada en el concepto de centro de masa [3], se intenta una identificación de los patrones de aglomeración de la contaminación por ozono y óxidos de nitrógeno en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) para un periodo de tiempo que incluye al de la campaña MILAGRO, buscando con ello, aunque modestamente, ser parte de los esfuerzos internacionales realizados en esta gran iniciativa.

2. Objetivo

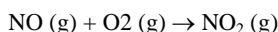
Identificar los principales patrones de aglomeración de los centros de masa de la contaminación por ozono y por óxidos de nitrógeno en la Ciudad de México para el periodo comprendido del 1 de febrero al 30 de abril de 2006.

3. Marco Teórico

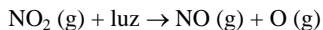
La RAMA es la parte del SIMAT que realiza mediciones continuas y permanentes de ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) y ácido sulfhídrico (H₂S). La información que produce esta red es primordial en la evaluación y vigilancia de la calidad del aire en la Ciudad de México y para su difusión mediante el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). [4]

Los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂, denominados de manera conjunta como NO_x) están constituidos por un átomo de nitrógeno y uno o dos átomos de oxígeno en su estructura molecular. La formación de NO₂ en la atmósfera resulta de la oxidación del NO generado en el uso de combustibles fósiles por fuentes fijas y móviles, aunque también se producen óxidos de nitrógeno durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas LP y el proceso de soldadura. El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato. La exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares, mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos de dióxido de nitrógeno puede causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar similares a un enfisema. El ozono (O₃), por su parte, es un gas altamente reactivo de color azul pálido, constituido por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular. En la troposfera (0 a 12 Km desde la superficie terrestre) el ozono se produce por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) derivados del uso de combustibles fósiles. Los individuos que viven en zonas donde se registran regularmente concentraciones altas de ozono, presentan diversos síntomas, como: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza. Por otra parte, los daños por exposición a ozono dependen de la sensibilidad de cada individuo y del tipo de exposición. En la Ciudad de México, se presentan enfermedades respiratorias crónicas debido a la contaminación por ozono. [5]

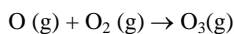
A grandes rasgos, la formación del ozono en la troposfera recorre el siguiente camino [6]: el monóxido de nitrógeno (NO), resultante principalmente de la combustión de combustibles fósiles, reacciona con el oxígeno del aire formando dióxido de nitrógeno:



Durante las horas diurnas, el dióxido de nitrógeno, por acción de la luz solar, se descompone en monóxido de nitrógeno y oxígeno atómico:



El monóxido de nitrógeno, puede oxidarse para formar otra vez NO₂ y hacer que el proceso vuelva a comenzar. Pero, el oxígeno atómico es una especie muy reactiva que puede participar en muchas reacciones importantes, una de las cuales es la formación de ozono.



La distribución espacial de los contaminantes atmosféricos depende, naturalmente, tanto de la distribución de su producción como de su transporte por los vientos. Una estimación de la distribución espacial de un contaminante cerca de la superficie terrestre puede obtenerse usando los datos de estaciones de monitoreo y alguna técnica de interpolación bidimensional (Krigging, por ejemplo). Tal es el caso de los mapas de ozono que se presentan en el portal web de la RAMA. Una alternativa de análisis muy sencilla, sin embargo, se deriva del uso del concepto de centro de masa (CM) de la concentración de un contaminante a nivel de superficie. El CM es un punto donde, para propósitos de evaluación y análisis, puede considerarse concentrada toda la masa del contaminante. Cuando se cuenta con datos de una red de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, como es el caso de la RAMA en la Ciudad de México, una estimación de la posición del centro de masa de un contaminante dado se obtiene como el promedio de las coordenadas de las estaciones de monitoreo, pesadas por las concentraciones del contaminante medidas en dichas estaciones. De esta manera, si se cuenta con N estaciones con posiciones \mathbf{r}_i y en ellas se miden las concentraciones m_i , el vector de posición del centro de masa esta dado por

$$\mathbf{R} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_i \quad (1)$$

donde M es la suma de las concentraciones m_i . Al transcurrir el tiempo, la posición del centro de masa de un contaminante se mueve hacia las regiones de mayor concentración de éste, las cuales están determinadas (de manera muy compleja) por la distribución espacial y temporal de las emisiones, por las transformaciones químicas y por el transporte derivado de los vientos. Estadísticamente, sin embargo, los centros de masa de un contaminante pueden aglomerarse siguiendo ciertos patrones característicos determinados por la periodicidad de los fenómenos y procesos involucrados en la dinámica de la contaminación atmosférica (el día y la noche, la regularidad de las horas pico del tráfico vehicular, periodicidad de las actividades laborales y escolares, los vientos de ladera que bajan de las montañas durante la noche, etc).

4. Metodología

La Ciudad de México, la cual constituye nuestro dominio espacial de interés, se consideró dividida en los sectores N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, tomando como origen a la Plaza de la Constitución (El Zócalo), específicamente el punto de coordenadas (UTM) 486028.19 m E y 2148711.15 m N.

En el portal web que la RAMA ha habilitado para consulta (<http://www.sma.df.gob.mx/simat/consultas.htm>) se obtuvieron los datos horarios de las concentraciones (ppm) de NO_x y O_3 registradas en todas las estaciones equipadas para medir estos contaminantes (identificadas como TAC, EAC, SAG, TLA, XAL, MER, PED, CES, HAN, BJU, TLI, ATI, VIF, PLA, LAG, AZC, UIZ, TAX y SUR) durante el periodo de Febrero a Abril de 2006 (89 días en total). Se obtuvieron ahí también las coordenadas de estas estaciones y se transformaron a UTM.

Aplicando la definición de centro de masa, Eq. (1), para cada hora del periodo de interés se calcularon las coordenadas de los centros de masa de NO_x y O_3 , y se identificaron los sectores de la ciudad donde se ubicaron. Luego, para cada hora del día (0, 1, 2, ..., 23), para cada sector de la ciudad se contó el número de veces que el centro de masa (tanto de O_3 como NO_x) visitó ese sector en el periodo dado.

5. Resultados

En el caso de los óxidos de nitrógeno, se identificaron básicamente tres diferentes patrones de aglomeración de sus centros de masa, correspondiendo estos a las horas de la noche, de la mañana, y de la tarde. Para el ozono se identificaron sólo dos patrones de aglomeración diferentes, los cuales corresponden a las horas nocturnas y diurnas. Estos resultados han sido resumidos en las Tablas 1 y 2. En la Tabla 3 se presentan ejemplos de los principales patrones de aglomeración de los centros de masa de NO_x y O_3 que fueron identificados en el periodo de estudio.

Tabla 1. Patrones de Aglomeración del Centro de Masa de NO_x en la Ciudad de México

Patrón	Horario	Dirección Principal de la Aglomeración del Centro de Masa
NOX-N	Noche: Entre las 23 y las 6 horas	N
NOX-M	Mañana: Entre las 7 y las 11 horas	WNW
NOX-T	Tarde: Entre las 12 y las 19 horas	WSW

Tabla 2. Patrones de Aglomeración del Centro de Masa de Ozono en la Ciudad de México

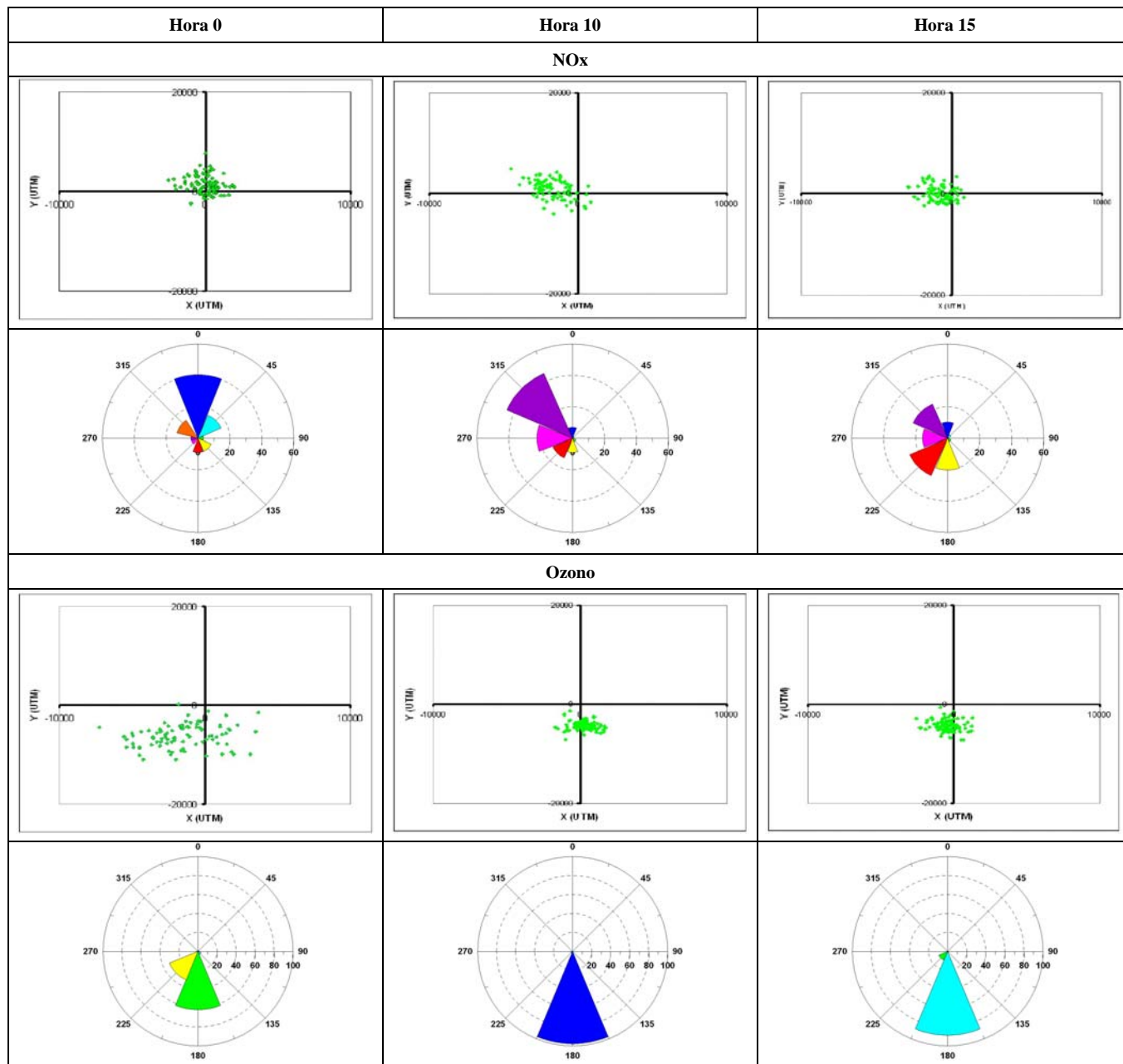
Patrón	Horario	Dirección Principal de la Aglomeración del Centro de Masa
O3-N	Nocturno: Entre las 23 y las 7 horas	SSW
O3-D	Diurno: Entre las 8 y las 22 horas	S

6. Conclusiones

Se presentó una técnica de análisis muy sencilla para identificar los patrones de aglomeración de los centros de masa de la contaminación atmosférica. Esta técnica se aplicó al caso de la Ciudad de México para la contaminación por óxidos de nitrógeno y ozono, pudiéndose identificar, entre Febrero y Abril de 2006, tres patrones importantes para el primer contaminante y dos para el segundo. En este periodo, la aglomeración de los óxidos de nitrógeno tuvo lugar principalmente hacia las regiones norte y noroeste de la ciudad, mientras que el ozono se aglomeró hacia las regiones sur y suroeste. Los resultados obtenidos para el ozono son consistentes con lo que frecuentemente se comenta en los medios de comunicación masivos en el sentido de que el SW es la zona más contaminada por ozono en la Ciudad de México. Sin embargo, algunas de las justificaciones que también se dan podrían no ser muy contundentes, particularmente respecto a la participación del viento, pues en esa zona no pudimos observar aglomeración de los centros de masa de otros contaminantes, como son el CO y el SO_2 . Además, aunque existe claramente una correlación entre las concentraciones de NO_x y O_3 , los resultados aquí presentados no permiten identificarla, particularmente por razones como las siguientes: (a) existen otras vías de producción de ozono a través de los hidrocarburos, las

cuales son tanto o más importantes que la descrita en la Sección 3 de este trabajo; (b) la ubicación del centro de masa de un contaminante depende fuertemente de la distribución espacial de sus tasas de producción; (c) es necesario tomar en cuenta en los análisis a los vientos que prevalecen en la Ciudad de México, a fin de estudiar también los patrones de flujo de los contaminantes atmosféricos; entre otras.

Tabla 3. Patrones de Aglomeración de los Centros de Masa de NOx y Ozono



7. Agradecimientos

Se agradecen al Dr. Alejandro Salcido del Instituto de Investigaciones Eléctricas sus comentarios y sugerencias, sin los cuales hubiera sido muy difícil la realización de este trabajo.

8. Referencias

- [1] MILAGRO (Megacity Initiative: Local and Global Research Observations). http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/milagro/milagro_intro.html.
- [2] RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Cd. México) <http://www.sma.df.gob.mx/simat/consultas.htm>
- [3] Contaminación Atmosférica V, Eds. L. García Colín y R. Varela, El Colegio Nacional, 2006.
- [4] <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnrama2.htm>
- [5] Véanse: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnno2.htm> y <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnozono.htm>
- [6] <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/RC-24.htm>