

Tendencia de la contaminación atmosférica en Tonalá

ROSA ELENA REYES NODHAL¹
TERESITA DE JESÚS ALVARADO CASTELLANOS¹
ERNESTO MARCELO GUEVARA²

Resumen

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar los niveles de contaminación atmosférica en el municipio de Tonalá mediante la comparación de los valores observados para cada contaminante por el monitor “Lomada Dorada” de acuerdo con la norma mexicana actual y con las nuevas pautas propuestas por la Organización Mundial de la Salud en 2006. La información de los valores Imecas ha sido concentrada en promedio trimestral de acuerdo con las estaciones del año desde 1996 a 2009.

Palabras clave: contaminación atmosférica, tendencia, norma mexicana de la calidad del aire, Organización Mundial de la Salud (OMS), Imecas.

Abstract

The aim of this study is to analyze the levels of air pollution in the town of Tonalá by comparing the observed values for each pollutant by the monitor “Loma Dorada” according to current Mexican regulations and new guidelines proposed by the Organization Health World in 2006. Values information Imecas has been focused on quarterly average according to the seasons from 1996 to 2009.

Keywords: atmospheric pollution, trends, Mexican air quality standard, World Health Organization (WHO), Imecas.

1. Investigadoras del Departamento de Economía del CUCEA, Universidad de Guadalajara.
2. Asistente de investigación.

Análisis de contaminantes por el monitor Loma Dorada

En los últimos años se ha observado que las emisiones de contaminantes a la atmósfera parecen estar fuera de control, sobre todo en aquellas ciudades que observan tendencia a la industrialización. En este sentido, los estudios realizados por organismos de la ONU han demostrado que más de dos millones de personas mueren por los efectos de la contaminación ambiental en el mundo.

Se estima que la polución del aire causa aproximadamente dos millones de muertes prematuras en el mundo por año. Más de la mitad de estas muertes se da en personas en los países en vías de desarrollo. En muchas ciudades los niveles medios anuales de PM10 (fuente principal de la quema de combustibles) excede los 70 microgramos por metro cúbico; las nuevas pautas dicen que para prevenir la salud, esos niveles deben estar más abajo de los 20 microgramos por metro cúbico).³

Por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone medidas más estrictas de control de la contaminación al reducir los niveles máximos de concentración por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por tipo de contaminante. Según los estudios realizados por el mismo organismo internacional, se espera que las nuevas pautas logren disminuir las muertes en alrededor de 15% anual.

La OMS, “Dada la evidencia creciente del impacto sobre la salud de la polución del aire, revisó sus pautas de la calidad del aire existentes (AQG) para Europa y las extendió para producir las primeras pautas, que son aplicables a nivel mundial”.⁴

En el municipio de Tonalá la concentración de partículas contaminantes en la atmósfera lo han transformado en la zona más contaminada del área conurbada de Guadalajara, sobre todo después de las políticas de desarrollo basadas en el proceso de descentralización de la actividad económica y sobre todo industrial; sin embargo, dicho proceso, a diferencia de los otros municipios de la ZMG, se observa en todo el municipio de Tonalá y no en zonas estratégicas denominadas corredores o parques industriales, como en Zapopan, Tlaquepaque, Tlajomulco y El Salto.

El análisis de los niveles de contaminación atmosférica en el municipio de Tonalá se hace mediante la comparación de los valores observados para cada contaminante por el monitor “Loma Dorada”, de acuerdo con la norma mexicana y con las nuevas pautas propuestas por la Organización Mundial de la Salud en 2006. La información de los valores Imecas ha sido concentrada en promedio trimestral de acuerdo con las estaciones del año desde 1996 a 2009.

3. ONU (2006). *Air quality guidelines executive summary*.

4. OMS (s/f). *Outdoor air pollution: WHO guidance on the health impacts of air pollution*.

Medición por contaminante

Actualmente se considera a las partículas suspendidas (PM₁₀) el mejor indicador de la calidad del aire por su conformación, que puede ser de origen natural o también pueden formarse por reacción fotoquímica en la atmósfera, constituidas por nitratos y sulfatos o por carbonos orgánicos.

En este sentido, al observar las mediciones promedio de Imecas de 1996 a 2009 en el monitor “Loma Dorada” ubicado en el municipio de Tonalá (véase mapa 1), se tiene que si bien su nivel de concentración muestra una ligera tendencia negativa, en 56 observaciones 85.0% de las mediciones están por arriba de los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendados por la OMS, e incluso se observan concentraciones cercanas a los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el rango no satisfactorio de acuerdo con la norma mexicana, principalmente en las estaciones invierno y primavera para el periodo analizado.

Cabe mencionar que los promedios trimestrales en primavera de 2003 a 2009 las partículas (PM₁₀) se elevan de 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que significa un incremento porcentual en su concentración de 67.4%; en otoño es de 47.1% y para invierno de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con 17.2%; en ambos casos los niveles exceden los valores máximos de la OMS para proteger la salud de la población. El incremento porcentual más notable de partículas suspendidas se observó en los veranos de 2003 a 2009 con 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; esto representa 92.3%, llegando al límite máximo permitido por la OMS (véase cuadro 1).

Otro factor importante que interviene en el problema de la contaminación en la ZMG, son los vientos que concentran o dispersan en la atmósfera el ozono y las partículas en suspensión; se sabe que a mayor velocidad del viento, los contaminantes se dispersan rápidamente; de otra manera, en periodos de calma los contaminantes mantienen su concentración en la atmósfera; esto es particularmente relevante, ya que los vientos dominantes en Tonalá son los de dirección *este* de junio a octubre.

El ozono, cuya aparición se debe a la reacción de hidrocarburos en la atmósfera, es otro contaminante que ha rebasado los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados por el monitor ubicado en el municipio de Tonalá; esto puede ser resultado del intenso flujo vehicular y de las características climáticas de municipio, seco en invierno y primavera, y semicálido en verano.

La concentración de ozono (O₃) en la temporada de invierno observa valores positivos a partir del año 2003, cuando registró 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hasta 2009 con 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa un incremento de 74.0%. En primavera las mediciones de ozono también muestran concentraciones positivas de 2003 a 2009 de 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que significa un incremento porcentual de 12.0% anual, valores que rebasan en todos los casos la norma establecida por la OMS para este contaminante, de 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora (cuadro 1).

Para verano y otoño se observa el incremento en el índice de calidad del aire para el periodo de 2003 a 2009, con 35.0 y 15.0% de incremento anual, respectivamente; en el resto de los años analizados los niveles de concentración de partículas han estado por debajo de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono, considerado como límite por la OMS por cada ocho horas (cuadro 1).

Nótese que las temporadas del año que concentran mayores niveles de contaminación por partículas en suspensión (PM10) y de ozono (O_3) son en invierno y primavera; esto se debe probablemente a la actividad industrial dispersa en todo el municipio, principalmente con la producción artesanal de artículos de barro, vidrio y hierro, y con la fabricación de materiales para la construcción, cuyos hornos queman combustibles hidrocarburos, llantas y leña, entre otros, que generan partículas y las emiten al medio ambiente, que en conjunto con el clima seco y la gran actividad vehicular en el municipio en estas épocas del año producen el efecto invernadero, que mantiene una capa densa de contaminantes en el ambiente y no le permite liberarse en tanto no ascienda la temperatura.

Esta situación provoca alta incidencia de enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio en la población, por una parte, debido a los cambios de temperatura y, por otra, a las altas concentraciones de partículas en el ambiente (cuadro 1).

En el caso del bióxido de nitrógeno (NO_2), cuya fuente principal es la combustión en industrias y vehículos, resulta ser el otro contaminante presente en la atmósfera del municipio de Tonalá, ya que en el periodo analizado (1996-2009) se observa que 11.0% de las mediciones de NO_2 exceden los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual recomendados por la OMS; sin embargo, del 89.0% restante, 42.0% presenta concentraciones de (NO_2) entre 30 y $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ muy cerca del límite recomendado (cuadro 1).

Las sustancias generadas por la combustión incompleta de hidrocarburos, que contienen carbono, se identifican como monóxido de carbono (CO); este contaminante ha presentado mediciones de entre ocho y 40 puntos Imecas durante el periodo analizado; se puede mencionar que 89.0% de las mediciones exceden los niveles aceptados por la norma mexicana de $13.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendada por la OMS; sin embargo, en el invierno de 2009 los puntos Imecas de CO registraron su valor más bajo: $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cabe mencionar que el bióxido de azufre (SO_2) producto de la combustión de carbón, diesel, combustóleo y gasolina con azufre, además de fundiciones de betas metálicas ricas en azufre, procesos industriales y erupciones volcánicas, también está presente en la atmósfera de Tonalá, con niveles de concentración que se ubican muy por debajo de los límites establecidos por la norma mexicana de $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y cerca de los valores recomendados por la OMS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el periodo analizado (cuadro 1).

Estimación de la tendencia por contaminante

El análisis del comportamiento de las mediciones registradas por el monitor “Loma Dorada” de los elementos contaminantes, se hace con base en las tendencias estimadas mediante series de tiempo para los promedios trimestrales de 1996 a 2009 para los cinco contaminantes presentes en la atmósfera del municipio de Tonalá.

Los resultados obtenidos mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) manifiestan en términos generales tendencias negativas en el periodo 1996-2009, excepto para el ozono (O_3). En el cuadro 2 se muestran los resultados para cada uno de los elementos incluidos en el análisis.

Las estimaciones de los parámetros para cada serie son reveladoras, ya que si bien es cierto que los niveles de contaminación han descendido de acuerdo con las normas mexicanas de la calidad del aire, al compararlas con las pautas recomendadas por la OMS, las partículas en suspensión (PM₁₀) y el monóxido de carbono (CO) aún se mantienen por arriba de los valores máximos permitidos.

En concreto, la estimación del parámetro alfa para las partículas en suspensión (PM₁₀) es de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.5 veces mayor al recomendado por la OMS de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; esto es alarmante, porque de acuerdo con las *Guías de calidad del aire (GCA)* publicadas por la OMS, las concentraciones de partículas en alrededor de 70 mg/m^3 —objetivo intermedio de protección -1 (OI-1)— aumenta el riesgo de mortalidad en periodos largos de exposición al contaminante, mayor a 15% en las zonas urbanas. En lo que se refiere al valor del parámetro beta de (-0.10), es poco significativo, apenas un décimo de microgramo por metro cúbico en el periodo analizado (cuadro 3).

La tendencia estimada para el monóxido de carbono (CO) muestra resultados preocupantes ($\text{CO} = 29.92 - 0.19\text{T}$), esto es, el valor promedio de 29.92 mg/m^3 rebasa los límites establecidos por la norma mexicana en 2.18 veces y la pauta recomendada por la OMS en 2.8 veces, cuyos valores límites son 13.7 mg/m^3 y 10.8 mg/m^3 respectivamente, lo que muestra que su disminución en la atmósfera de (-0.19T) en el tiempo analizado es apenas la quinta parte de un mg/m^3 , es decir, que tendrían que pasar cinco años para que las concentraciones de CO disminuyeran en un mg/m^3 . El monóxido de carbono en exposiciones prolongadas puede ser causal de hipoxia, ya que éste altera, entre otras cosas, el funcionamiento del sistema cardiovascular y disminuye la actividad cerebral (cuadro 2).

El ozono es otro de los elementos contaminantes con mayor presencia en el municipio, el resultado de la estimación de su tendencia es positiva ($\text{O}_3 = 53.00 + 0.17\text{T}$); con base en los valores de la ecuación estimada, se puede observar que el valor del parámetro alfa de 53.0 mg/m^3 se mantiene por debajo de los 100 mg/m^3 de acuerdo con la OMS, pero este valor promedio es considerado para la calidad de aire como moderado, con base en el indicador del *índice de calidad del aire de 51 a 100 mg/m^3* (AQI por sus siglas en inglés); además, dada la tendencia positiva del parámetro beta de (0.17T), este promedio se incrementará con el tiempo si no se toman las medidas necesarias para controlar las emisiones de este contaminante que agrava las enfermedades de las vías respiratorias, sobre todo en la población afectada con asma, enfisema pulmonar o bronquitis (cuadros 2 y 3).

Por otra parte, la tendencia estimada para el dióxido de azufre ($\text{SO}_2 = 11.47 - 0.13\text{T}$) muestra que la disminución por año de esta sustancia contaminante es poco significativa, es decir, menor a un $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el lapso de 1996 a 2009. Se puede decir en el caso del dióxido de azufre que es un elemento altamente peligroso por su absorción en suelos y la contaminación del agua en las capas superficiales y subterráneas; en el aire puede permanecer de tres a cinco días, favoreciendo su expansión en grandes extensiones de terreno. El valor negativo de su tendencia de (-0.13T) en los 13 años analizados parece indicar que el control de las emisiones para limpiar la atmósfera de partículas de azufre es demasiado lento y su incidencia en las enfermedades respira-

torias como el asma, bronquitis y enfisemas pulmonares y molestias como la irritación de los ojos es alta, e incluso en casos agudos se puede presentar paro cardiaco y colapso circulatorio.

La misma situación se observa para la ecuación de la tendencia estimada para el dióxido de nitrógeno (NO_2), cuyo valor para el parámetro beta es de $(-0.21T) \mu\text{g}/\text{m}^3$; no obstante, el valor obtenido para el parámetro alfa de $34.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es cercano a las pautas recomendadas por la OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuya disminución es apenas significativa en los 13 años analizados, sobre todo porque su permanencia en la atmósfera contribuye a la formación o alteración de otros contaminantes como el ozono (O_3) y las partículas en suspensión (PM10). Asimismo, estas partículas agravan el asma y las reacciones alérgicas respiratorias.

Cuadro 1

Comparación de las mediciones por contaminante entre la norma mexicana y las propuestas por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Contaminante	Exposición aguda (Concentración y tiempo promedio)	
	Norma mexicana*	Modificación** OMS
Ozono (O_3)	216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.075 ppm)
	0.11 ppm (1 hora)	(por ocho horas) 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		Promedio por (1 hora)
Bióxido de azufre (SO_2)	340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas)
	0.13 ppm (24 horas)	0.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio por (1 hora)
Bióxido de nitrógeno (NO_2)	395 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media anual)
	0.21 ppm (1 hora)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (una hora)
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	9 ppm (8 horas)
	13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas fracción respirable (PM10)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Media anual)
		50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas)

* Comisión Estatal de Ecología, 2006.

** World Health Organization (2005). *WHO gives the air quality guidelines for particulate ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Global update 2005.

Fuente: UdeG, CUCEA, Departamento de Economía, 2010.

Cuadro 2
 Series de tiempo por contaminante*
 Estación Loma Dorada

<i>Variable dependiente</i>	<i>Regresor</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Prueba "t"</i>	<i>R²</i>
NO ₂	1	34.23	NO ₂ = 34.23 - 0.21T	2.68	12.74	0.10
	Tiempo	- 0.21		0.09	- 2.32	
PM10	1	70.00	PM10 = 70.00 - 0.10T	5.83	12.09	0.069
	Tiempo	- 0.10		0.16	- 0.60	
CO	1	29.92	CO = 29.92 - 0.19T	2.64	11.32	0.11
	Tiempo	- 0.19		0.08	- 2.57	
SO ₂	1	11.47	SO ₂ = 11.47 - 0.13T	1.32	8.67	0.17
	Tiempo	- 0.13		0.04	- 3.30	
O ₃	1	53.00	O ₃ = 53.00 + 0.17T	5.60	9.40	0.03
	Tiempo	0.17		0.16	1.04	

* La tendencia representa el comportamiento predominante de la serie. Ésta puede ser definida como el cambio de la media a lo largo de un periodo; la ecuación a estimar es de la forma:

$$Y_{(t)} = \alpha + \beta T + e.$$

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2006.

Cuadro 3
 Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones medias anuales

<i>Objetivo</i>	<i>MP10 (µg/m³)</i>	<i>MP2,5 (µg/m³)</i>	<i>Fundamento del nivel elegido</i>
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	70	35	Estos niveles están asociados a un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1
Objetivo intermedio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	Éstos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP2,5

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2006.

Comentarios finales

En el municipio de Tonalá la concentración de partículas contaminantes en la atmósfera lo han transformado en la zona más contaminada del área conurbada de Guadalajara, sobre todo después de las políticas de desarrollo basadas en el proceso de descentralización de la actividad económica y sobre todo industrial; dicho proceso, a diferencia de los otros municipios de la ZMG, se observa en todo el municipio de Tonalá y no en zonas estratégicas denominadas corredores o parques industriales como en Zapopan, Tlaquepaque, Tlajomulco y El Salto.

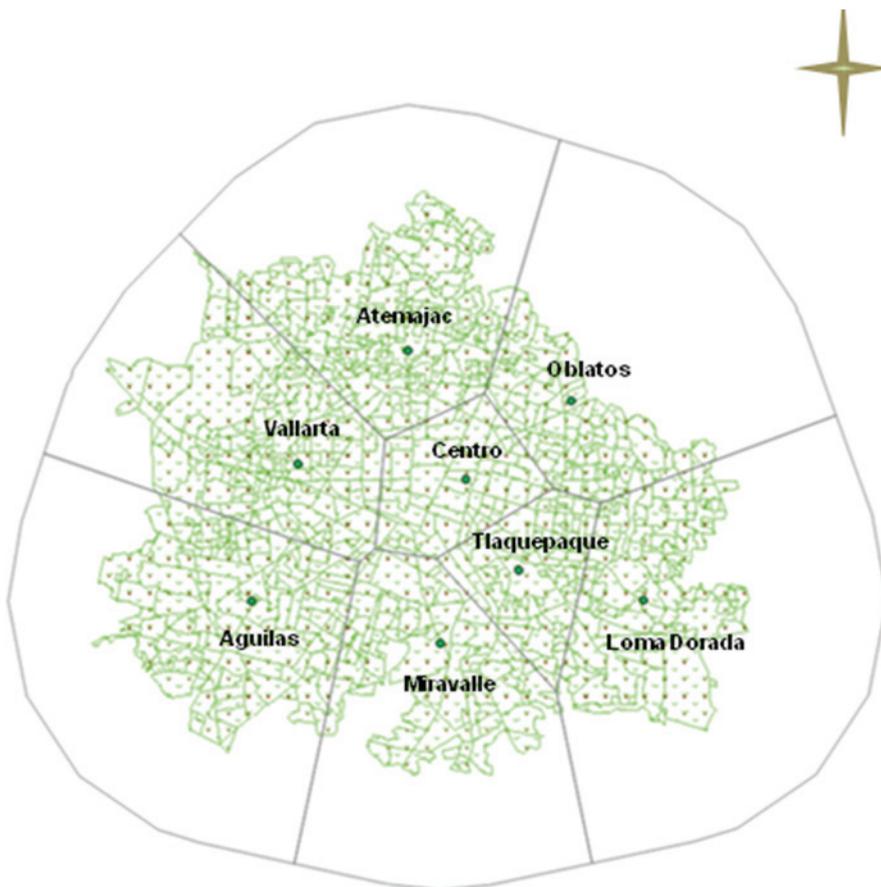
Cabe mencionar que los promedios trimestrales de las partículas en suspensión (PM10) y de ozono (O₃) han aumentado su concentración de 2003 a 2009; en la primavera de esos años las partículas en suspensión mostraron un incremento notable de 67.4%, al elevarse de 46 µg/m³ a 77 µg/m³; el incremento porcentual más notable de (PM10) se observa en el verano de 2003 a 2009 con 26 µg/m³ a 50 µg/m³ respectivamente, lo cual representa 92.3%, llegando al límite máximo permitido por la OMS. Para el caso del ozono, en esos dos años los niveles de concentración suben en la época de invierno a razón de 74.0%, al pasar de 46 µg/m³ a 80 µg/m³ (cuadro 1).

Los tres elementos restantes: NO₂, CO, SO₂ en términos generales disminuyen su concentración en todos los valores trimestrales en 2003 y 2009, excepto para el dióxido de nitrógeno, que en 2005 en el invierno eleva su valor a 41 µg/m³, valor que rebasa la pauta recomendada por la OMS; para 2009 su valor llega a 33 µg/m³.

Es importante destacar que en el municipio de Tonalá el ozono es el único elemento cuyo resultado de la tendencia es positiva (O₃ = 53.00 + 0.17T); con base en los valores de la ecuación estimada se puede observar que el valor del parámetro alfa de 53.0 mg/m³ se mantiene por debajo de los 100 mg/m³ de acuerdo con la OMS, pero este valor promedio es considerado para la calidad de aire como moderado, con base en el indicador AQI (por sus siglas en Inglés) de 51 a 100 mg/m³; además, dada la tendencia positiva del parámetro beta de (0.17T), este promedio se incrementará con el tiempo si no se toman las medidas necesarias para controlar las emisiones de este contaminante que agrava las enfermedades de las vías respiratorias, sobre todo en la población afectada con asma, enfisema pulmonar o bronquitis.

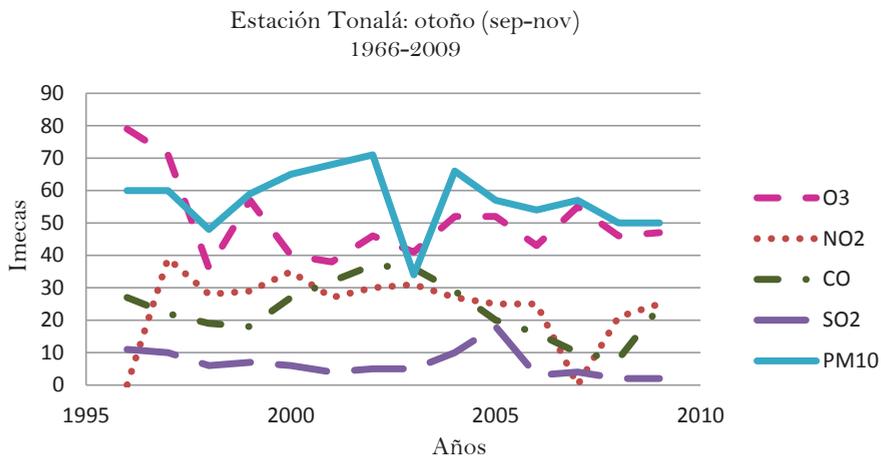
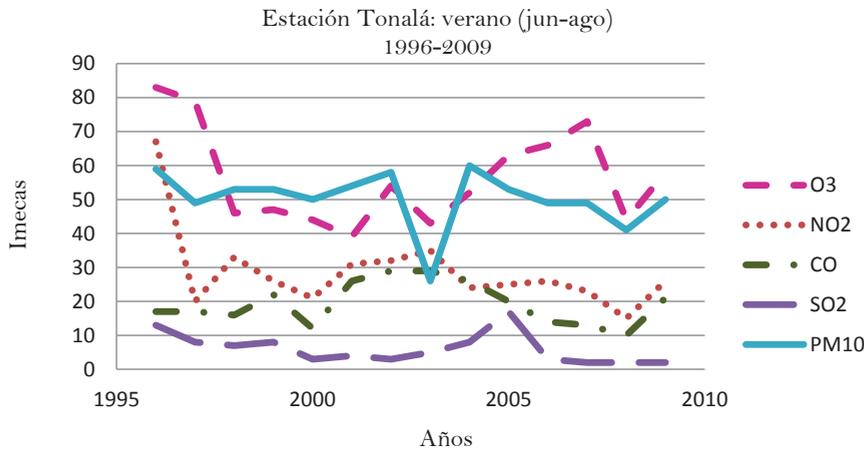
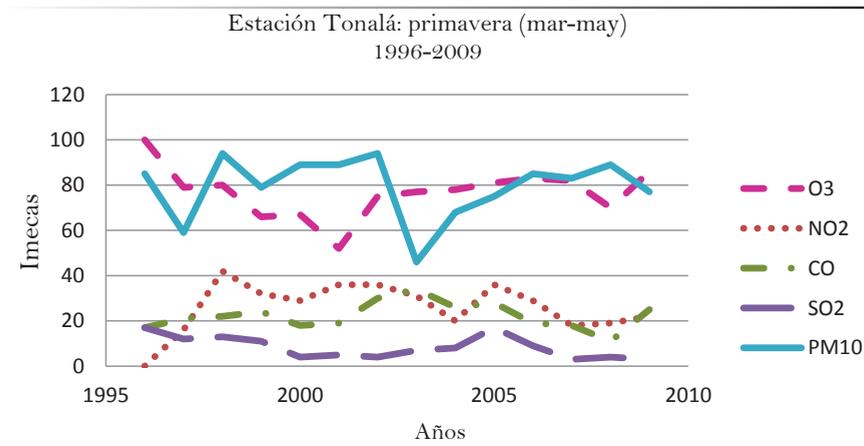
Apéndice

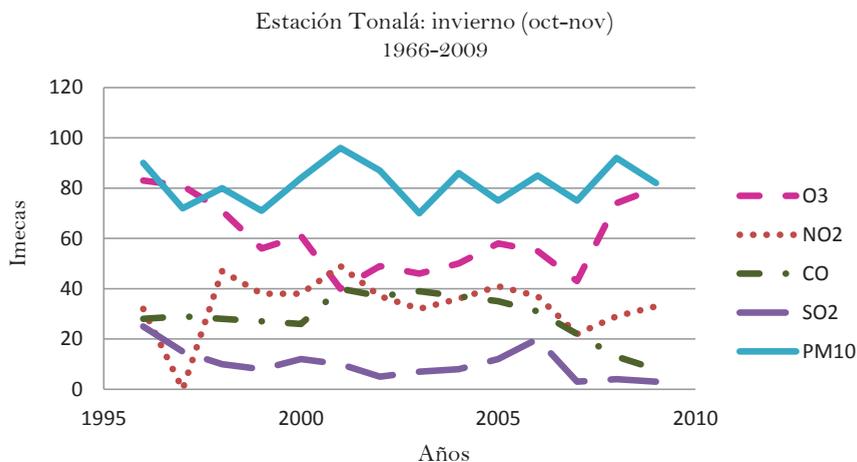
Mapa 1
Red de monitoreo en la ZMG



Nota: Los polígonos de Thiessen son uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana, siendo especialmente apropiada cuando los datos son cualitativos. Se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia

Fuente: Departamento de Economía y
Sistemas de Información Geográfica, CUCEA 2010





Referencias bibliográficas

- Carpermor, A. C. (1995). *Contaminación atmosférica e infección respiratoria en México*. Fiel, Barry (1990). *Economía ambiental*. México: McGraw-Hill.
- Freeman (1995). *Control de la contaminación del agua y del aire*. México: Limusa.
- García, Alfonso, y Fernández, Óscar (1998). “La contaminación y la pequeña industria en México”, *Comercio Exterior*, vol. 48. México.
- Gobierno de Jalisco (1997). *Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana de Guadalajara 1997-2001*. Jalisco: Gobierno de Jalisco.
- Gobierno Municipal de Tonalá (2009). *Plan Municipal de Desarrollo 2010-2012*. Tonalá: Gobierno Municipal de Tonalá.
- INEGI (2004 y 2009). *Censos Económicos*. México: INEGI.
- Ludevid, Anglada (1998). *El cambio global en el medio ambiente*. México: Alfaomega.
- Michel, Jean (1979). *La contaminación atmosférica y la salud*. Guadalajara: UdeG.
- Pemex (1999). *Programa de Trabajo 1999-2000*. México: Pemex.
- Robbins (2000). *Manual de patología estructural y funcional*. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Seinfeld, John (1978). *Contaminación atmosférica*. Madrid: Leadl.
- Sistema de Información Empresarial Mexicano (2010). *Directorio industrial*. México: Secretaría de Economía.
- Strauss, W., y Mainwaring (1995). *Contaminación del aire*. México: Trillas.

Fecha de recepción: Mayo 18, 2011

Fecha de aceptación: Junio 10, 2011