



# DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Ramírez Sánchez, Hermes Ulises; García Guadalupe, Mario Enrique; Meulenert Peña, Ángel R.; Alcalá Gutiérrez, Jaime; García Concepción, Omar; Ulloa Godínez, Héctor Hugo

Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara. Av. Vallarta 2602. Col. Arcos Vallarta. C.P. 44130. Guadalajara Jal, México. Tel: 53 3336164937, Fax: 52 3336159829. Email: ramirez@astro.iam.udg.mx.



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es identificar los principales factores que influyen en la dispersión de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). Para ello, se analizó el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, la velocidad de los vientos y la presencia de las inversiones térmicas durante los últimos 10 años. Los resultados evidenciaron que durante las primeras horas del día, los factores dominantes son la influencia de inversiones térmicas y la frecuencia de viento calma (vientos entre 0 y 5 km/h) que no permiten la dispersión de los contaminantes en la zona. Es hasta cerca del mediodía (12:00 horas) cuando la radiación solar permite que la temperatura de la capa inferior de la inversión térmica alcance la temperatura de equilibrio para romper la inversión e inicie la dispersión de contaminantes en la vertical. Es te proceso ocurre aunado al incremento de la rapidez del viento en horas de la tarde, generando dispersión horizontal hacia el exterior del valle de Atemajac y la planicie de Tonalá, posiblemente afectando el área del valle de Toluquilla. En conclusión, los factores dominantes en la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la ZMG son las inversiones térmicas y la velocidad del viento.

## INTRODUCCIÓN

**ZMG-30 años - Población: 4 434 252 habitantes (INEGI 2010, COEPO 2010)**

**Crecimiento Urbano**  
Parque Vehicular: 2 millones (SV 2013)  
Industrial

El crecimiento urbano = Crecimiento en el consumo de energéticos y elevadas descargas a la atmósfera

**SEMARNAP/GEJ/SS 1997-2001 - Porcentajes de emisiones (%) - PROAIRE 2011-2020**

Fuentes móviles: 73.5	Fuentes móviles: 92.5
Fuentes de área: 4.2	Fuentes de área: 4.5
Fuentes fijas: 1.1	Fuentes fijas: 2.5
Fuentes naturales: 21.2	Fuentes naturales: 0.5

Normatividad en CA es adoptada de otros países - escenarios negativos de contaminación a niveles fuera de norma

NOM-PM10-Fuera de norma	
2000 - 199	2004 - 94
2001 - 180	2005 - 93
2002 - 183	2006 - 101
2003 - 115	2007 - 47

Los fenómenos meteorológicos y las condiciones dominantes desempeñan una función clave para que sus efectos se agudicen, particularmente, en la población más vulnerable.

**Viento predominante:**  
Rapidez (magnitud)  
Dirección (sentido)

**Medio físico natural:**  
Topografía - Relieve - Cadenas montañosas  
Barrera física natural  
Dominio de baja circulación del viento  
Poca dispersión del viento

**Inversión térmica**  
Frecuencia, intensidad, espesor y hora de ruptura

Indicador de contaminación	Organización Mundial de la Salud (OMS)	Agencia de Protección Ambiental (USEPA)	Normas Oficiales Mexicanas (NOM) - DOF	Justicia de recursos del aire de California (CARB)	Norma Italiana	Norma Española
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.08 (8 h) 0.05 (8 h)	0.12 (1 h) 0.075 (8 h)	0.25 0.08 (8 h)	0.11 (1 h) 0.08 (8 h)	0.07 (8 h)	0.1 (1 h)
Monóxido de carbono (CO)	9 (8 h) 28 (1 h)	1000 31 (1 h)	4000 4000	11 (8 h) 29 (1 h)	9 (8 h) 29 (1 h)	<1 5-200
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.154 (1 h) 0.033 (año)	0.25 (1 h) 0.053 (año)	470 100	0.21 (1 h) 0.030 (año)	NCL 0.030 (año)	NCL 0.001-0.01
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.007 (24 h) 0.081 (18 mes)	0.14 (24 h) 0.03 (año)	385 50	0.13 (24 h) 0.03 (año)	0.03 (1 d) 0.001-0.01	0.02-2
Material particulado respirable (PM <sub>10</sub> )	50 (24 h) 20 (año)	150 (24 h) 50 (año)	120 (24 h) 50 (año)	80 (24 h) 50 (año)	150 (24 h) 10-20 (año)	70-700 (24 h) 10-1000 (año)
Materia particulado fino (PM <sub>2.5</sub> )	25 (24 h) 10 (año)	35 (24 h) 15 (año)	65 (24 h) 15 (año)	35 (24 h) 15 (año)	35 (24 h) 15 (año)	35 (24 h) 15 (año)

México & Zimmerman 2012. DOF: 23/12/1994. Normas Oficiales Mexicanas (NOM-020-SSA1-1993; NOM-021-SSA1-1993; NOM-022-SSA1-1993; NOM-023-SSA1-1993; NOM-024-SSA1-1993; NOM-025-SSA1-1993; NOM-026-SSA1-1993). Límites Máximos Permisibles establecidos por la Ley de la Salud (Normalización de 1983). Norma Española de calidad del aire - Información obtenida de: Contaminación atmosférica. Senfield, J., Madrid 1978, p. 9 (Libro electrónico: Cercas de la Tierra y del Medio Ambiente; <http://www.esi.una.es/signatura/ecologia/hipertexto/00General/IndiceGral.html>); partes por millón, ppm; partes por millón, ppm; microgramos por metro cúbico.

La American Association for the Advancement of Science, Air Conservation, Washington DC (1965) - Postula en base a la calidad del aire urbano: "El aire es de dominio público. Suposición necesaria para tratar la contaminación del aire como un problema público".

Principio II - Cumbre de Estocolmo, 1972, (ONU sobre medio humano): Las normas aplicadas por algunos países pueden resultar inadecuadas y representar un costo económico injustificado para otros países, en particular, los países en desarrollo

Las grandes ciudades experimentan fenómenos adversos; uno es la contaminación del aire.

El entorno físico natural y las condiciones meteorológicas influyen en la agudización del problema.

Casos: Londres y París. Los Angeles, ZMS-Chile, ZMCM, ZMG

La contaminación del aire está presente en la ZMG y la población ve influenciada su bienestar debido a las elevadas emisiones de contaminantes

La normatividad no se ajusta a los Mecanismos de prevención y mitigación

Conocimiento de la problemática actual en la ZMG.

Toma de decisiones - Mejor calidad de vida.

## METODOLOGÍA

- Análisis del entorno natural y entorno urbano - sus variables -
  - Diagnóstico del estado actual de la contaminación del aire en la ZMG
- Para llevar a cabo las etapas, es necesaria la información de:
- Los contaminantes atmosféricos mediante la RAMA de la SEMADES-GEJ (2001-2010).
  - Las variables meteorológicas (rapidez y dirección de los vientos) de la RAMA.
  - Inversiones térmicas (Intensidad, espesor y hora de ruptura) -- Mediante los radiosondeos atmosféricos que realiza la CNA: estación Colomos y sondeos virtuales de la NOAA.

## OBJETIVO GENERAL

Analizar la dispersión de la contaminación del aire en la ZMG en relación con las inversiones térmicas y la velocidad del viento.

## RESULTADOS

**Diagnóstico de la ZMG (2001-2010): Variables meteorológicas**

**Comportamiento del viento: Rapidez**

Se observa que los periodos de calma más significativos ocurren entre la madrugada y la mañana con más del 50%

**Escala Beaufort**

F	Definición	Km/h	Observaciones en tierra (T)
0	Calma	<1	El humo sube verticalmente.
1	Ventolina	1-5	La dirección del viento la define el humo, no las velas y banderas.
2	Brisa muy débil	6-11	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, velas y banderas.
3	Brisa débil	12-19	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se desplazan las banderas.
4	Brisa moderada	20-28	El viento levanta los árboles pequeños. En los estancos se forman olas pequeñas.
5	Brisa fresca	29-38	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Se levantan las hojas del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
6	Brisa fuerte	39-49	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Se levantan las hojas del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	Viento	50-61	Todos los árboles se mueven; difícil andar contra el viento.
8	Temporal (Duro)	62-74	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.

**ZMG (2001-2010): Inversiones térmicas (IT)**

**Porcentaje (%) promedio anual de las inversiones térmicas en la ZMG (2002-2010)**

Año	Porcentaje (%)
2002	73.66
2003	75.09
2004	68.02
2005	67.93
2006	68.02
2007	68.02
2008	68.02
2009	68.02
2010	55.1

**Intensidad promedio anual de IT en la ZMG (2002-2010)**

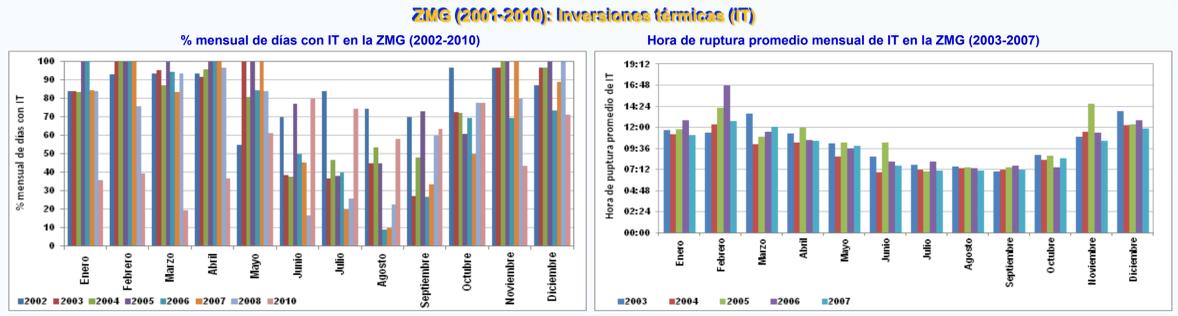
Año	Intensidad (°C)
2002	5.6
2003	3.35
2004	2.85
2005	3.79
2006	3.28
2007	3.22
2008	1.59
2009	1.59
2010	6.5

**Espesor promedio anual de IT en la ZMG (2002-2010)**

Año	Espesor (m)
2002	114.6
2003	185.83
2004	148.87
2005	201.05
2006	177.76
2007	141.64
2008	188.15
2009	188.15
2010	105.2

**Horas de ruptura promedio anual de IT en la ZMG (2003-2007)**

Año	Horas
2003	10:14
2004	09:26
2005	10:34
2006	10:20
2007	09:39



El análisis de los ocho años de define un comportamiento similar, particularmente en las IT fuertes.

Se muestra que las IT más importantes son de moderadas a fuertes.

En el análisis mensual se aprecia que (al igual que otros parámetros de las IT) los valores más relevantes ocurren entre noviembre y mayo, descendiendo en los meses lluviosos.

Año	Intensidad baja	Intensidad moderada baja	Intensidad moderada alta	Intensidad fuerte	
2002	0.1-1.0°C	1.1-2.0°C	2.1-3.0°C	3.1-4.0°C	>4.0°C
2003	24.91%	12.95%	6.64%	7.30%	48.17%
2004	11.36%	12.27%	18.18%	12.73%	45.45%
2005	21.12	17.67	14.66	13.79	32.76
2006	17.58	15.15	15.76	12.73	38.79
2007	7.69	13.85	12.31	16.38	60.77
2008	8.74	8.74	17.48	16.50	48.54
2009	32.53 %	28.91 %	22.08 %	8.83 %	7.63 %
2010	33.16 %	9.05 %	6.03%	4.02 %	47.73 %

