Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)

Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)

Revisión editorial
Ana María Sánchez Mora

Diseño y formación
LDG Maya Campos Farfán
Fotografía de la portada: ©Juan Pablo de la Vega de la Academia de Artes Visuales

D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209. Col. Jardines de la Montaña
C.P. 14120. Delegación Tlalpan, México, D.F.
www.semarnat.gob.mx

Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
Periférico Sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco
C.P. 04530. Delegación Coyoacán, México, D.F.
www.ine.gob.mx

Primera edición 2011

ISBN: 978-607-7908-58-6
Impreso en México.

Índice

05 Agradecimientos
07 Siglas y acrónimos
09 Resumen ejecutivo
17 Introducción

21 **1.** El estado de la calidad del aire en México: 18 ciudades
93 **2.** Zona Metropolitana del Valle de México
115 **3.** Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.
129 **4.** Área Metropolitana de Monterrey, N.L.
143 **5.** Zona Metropolitana del Valle de Toluca, edo. de Méx.
157 **6.** Puebla, Pue.
171 **7.** Tijuana, B.C.
185 **8.** León, Gto.
199 **9.** Zona Metropolitana de Juárez, Chih.
211 **10.** San Luis Potosí, SLP.
223 **11.** Zona Metropolitana de Mexicali, B.C.
237 **12.** Durango, Dgo.
247 **13.** Irapuato, Gto.
261 **14.** Gómez Palacio y Lerdo, Dgo.
271 **15.** Celaya, Gto.
285 **16.** Salamanca, Gto.
299 **17.** Silao, Gto.
311 **18.** Tecate, B.C.
323 **19.** Playas de Rosarito, B.C.
335 **20.** Tabasco, Tab.
343 **21.** Zona Metropolitana de Tula y Tepeji del Río de Ocampo, Hgo.
351 **22.** Métodos, procedimientos y criterios para analizar la calidad del aire en México

367 Consideraciones finales
373 Bibliografía
379 Glosario

383 **Anexo I.** Proceso de consulta y retroalimentación con los responsables de las redes de monitoreo atmosférico incluidas en este almanaque

384 **Anexo II.** Indicadores calculados para evaluar el cumplimiento de las NOM de la calidad del aire en cada localidad (2000-2009)

393 **Anexo III.** Información sobre el porcentaje de datos validados disponibles para la clasificación de las localidades por su grado de contaminación

397 **Anexo IV.** Número de días en los que se exceden los límites de las NOM de la calidad del aire por localidad (2000-2009)

402 **Anexo V.** Delegaciones y municipios que forman la ZMVM

403 **Anexo VI.** Límites de los contaminantes del aire establecidos en las normas oficiales mexicanas de la Secretaría de Salud

404 **Anexo VII.** Número de habitantes considerados en el cálculo de la concentración promedio anual ponderada por población (2009).

405 **Anexo VIII.** Lista de participantes

Agradecimientos

Las dependencias que se enumeran a continuación proporcionaron amablemente los datos horarios empleados para elaborar este cuarto almanaque. Sin su apoyo no habría sido posible publicar este informe:

- Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
- Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Jalisco
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SMRN) del Gobierno del Estado de Puebla
- Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California
- California Air Resources Board en Estados Unidos (CARB, por sus siglas en inglés)
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato
- Dirección General de Ecología y Protección Civil del municipio de Juárez, Chihuahua
- Texas Commission for Environmental Quality en Estados Unidos (TCEQ, por sus siglas en inglés)
- Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Estado de San Luis Potosí
- Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango
- Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo

Los comentarios proporcionados por las siguientes instancias fueron de gran utilidad para robustecer la calidad de los resultados que se muestran en esta publicación:

- Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Jalisco
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (Celaya, Irapuato, León, Salamanca, Silao)
- Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California (Mexicali, Rosarito, Tecate, Tijuana)

Asimismo, la colaboración de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (DGGCARETC) de la SEMARNAT, que amablemente nos proporcionó los datos de los inventarios de emisiones de la mayoría de las localidades incluidas en este almanaque.

Siglas y acrónimos

AGEB	Áreas Geo-estadísticas Básicas
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
CARB	California Environmental Protection Agency
CNA	Comisión Nacional del Agua
CO	Monóxido de Carbono
COT	Compuestos orgánicos totales
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CPAPP	Concentración promedio anual ponderada por población
D.I.	Datos insuficientes
DF	Distrito Federal
DGCENICA	Dirección General del Centro de Investigación y Capacitación Ambiental
DOF	Diario Oficial de la Federación
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación A.C.
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
IEEG	Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografia e Informática

km^2	Kilómetros cuadrados
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NH_3	Amoníaco
NO	Óxido nítrico
NO_2	Bióxido de nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
NO_x	Óxido de nitrógeno
O_3	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PM	Partículas suspendidas
PM_{10}	Partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores de 10 µg/m³
$PM_{2.5}$	Partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores de 2.5 µg/m³
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
REDMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico

REHIMAT	Red de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo
RMA	Red de Monitoreo Atmosférico
RMMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico
S.I.	Sin información en el INE
S.M.	Sin medición
S.C.	Sin clasificar
SEMA	Sistema Estatal de Monitoreo Ambiental
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIMA	Sistema Integral de Monitoreo Ambiental
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México
SINAICA	Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire
SMA	Secretaría de Medio Ambiente
SO_2	Bióxido de azufre
SO_3	Trióxido de azufre
SO_4	Iones sulfato
SO_x	Óxido de azufre
TCEQ	Texas Comission for Environmental Quality
TNRCC	Texas Natural Resources Conservation Commission
TSP	Partículas suspendidas totales
UE	Unión Europea
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency)
WHO	World Health Organization
ZMG	Zona Metropolitana de Guadalajara
ZM-Juárez	Zona Metropolitana de Juárez
ZM-Mexicali	Zona Metropolitana de Mexicali
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca
$\mu g/m^3$	Microgramo sobre metro cúbico
µm	Micrómetros

Resumen ejecutivo

En nuestro país se estima que 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica (Stevens *et al*., 2008). Estos efectos suponen costos considerables para la sociedad. Por ejemplo, las cifras más recientes del INEGI indican que la contaminación atmosférica representó los mayores costos ambientales en 2009, al ubicarse en 520 mil 300 millones de pesos, lo que equivale al 4.4 por ciento del producto interno bruto (INEGI, 2011a).

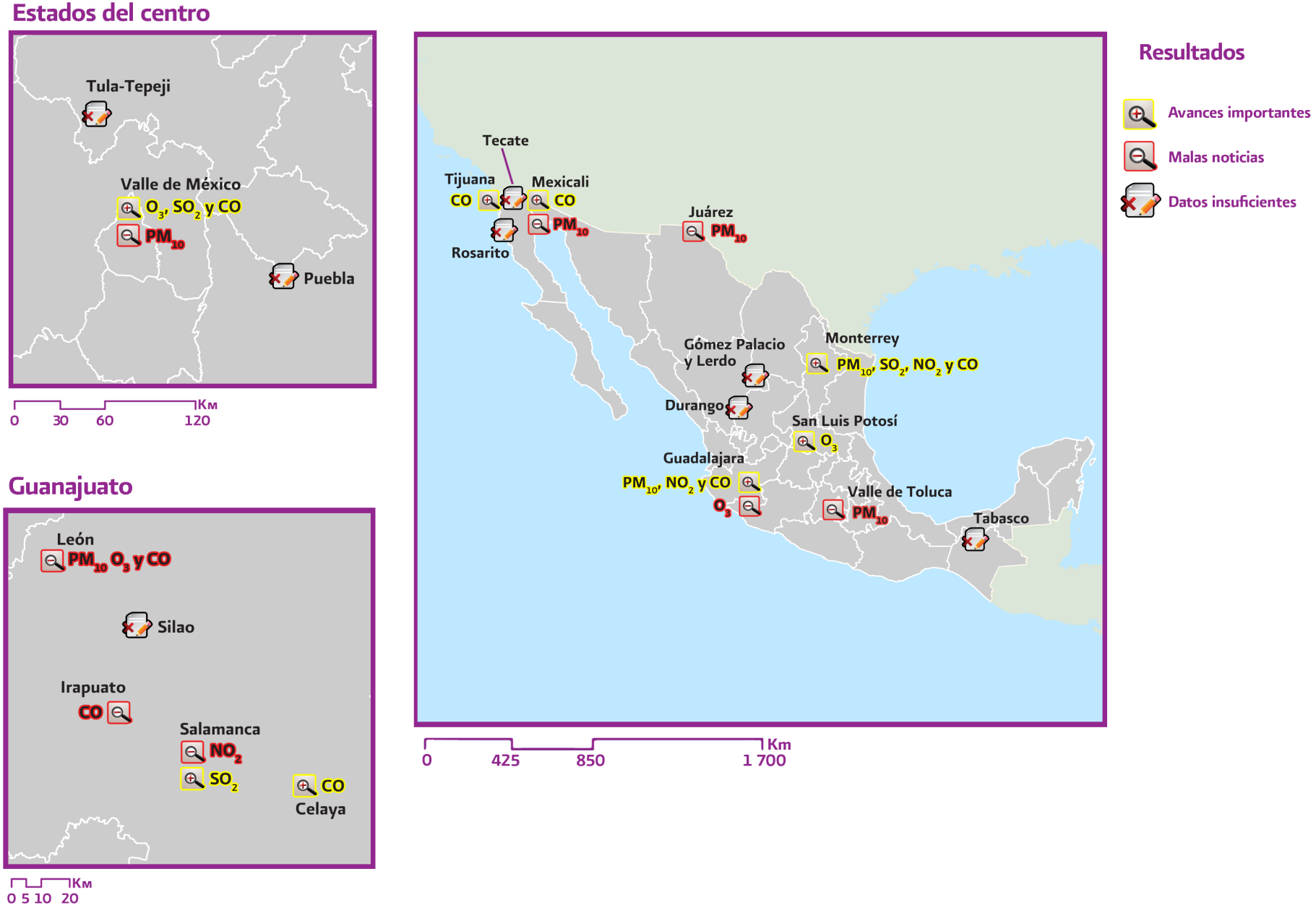
Las autoridades requieren de los datos registrados en las estaciones de monitoreo y de los inventarios de emisiones para diseñar medidas de control de la contaminación atmosférica. En México actualmente hay más de ochenta localidades que cuentan con redes o estaciones de monitoreo. Sin embargo, únicamente en las tres grandes zonas metropolitanas (Guadalajara, Monterrey y el valle de México) los datos se han generado de manera constante desde que comenzaron sus operaciones. Esto quiere decir que solamente el 40% de la población mexicana puede conocer la calidad del aire que respira, y que las autoridades en las demás ciudades no cuentan con información completa para dimensionar el problema, proponer soluciones y evaluar estrategias. Además, las normas mexicanas para evaluar la calidad del aire son menos estrictas que lo que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) y, por tanto, el cumplimiento con los límites máximos permisibles que establecen no significa, para algunos contaminantes, que la población esté protegida contra los impactos negativos de esos contaminantes.

En este documento el INE publica, por vez primera, el análisis sistemático de toda la información disponible de la calidad del aire de veinte localidades de nuestro país. En comparación con el tercer almanaque (Zuk *et al.*, 2007), esta publicación incluye información de más ciudades, con mayor grado de detalle, y presenta la evaluación del desempeño de las redes de monitoreo. Este cuarto almanaque tiene una resolución a escala urbana, lo que permite comparar la situación de las ciudades con respecto a cada contaminante, y también incluye la información a una escala más detallada, por estación de monitoreo.

Hallazgos relevantes

En la figura RE-1 y el cuadro RE-1 se resumen los principales resultados de este documento. Se advierten mejoras en la calidad del aire en algunas localidades, y retrocesos en otras (figura RE-1); en general, resalta la falta de información para clasificar las ciudades por su grado de contaminación en 2009 (cuadro RE-1).

Figura RE-1. Avances y malas noticias con respecto a la calidad del aire en México



Cuadro RE1. Resumen de los resultados de la evaluación del desempeño de las redes y de la clasificación de las ciudades y zonas metropolitanas con respecto a su grado de contaminación, por contaminante (2009)

Grupo	Zona metropolitana /ciudad	Desempeño de la red de monitoreo	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2	NO_2	CO
Grupo 1: zonas metropolitanas grandes	1. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	Muy bueno	4°	S.C.	1°	4°	1°	3°
	2. Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	Requiere atención	8°		2°	6°		1°
	3. Área Metropolitana de Monterrey (AMM)	Bueno	3°		4°	5°	2°	4°
Grupo 2: zonas metropolitanas y ciudades medianas	4. Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)	Mínimo aceptable	2°					
	5. Puebla	Mínimo aceptable						
	6. Tijuana	Bueno						
	7. León	Bueno	5°		3°	3°		
	8. Zona Metropolitana de Juárez (ZM Juárez)	Muy bueno	1°					
Grupo 3: zonas metropolitanas y ciudades pequeñas	9. San Luis Potosí, SLP	Requiere atención			S.C.		S.C.	S.C.
	10. Zona Metropolitana de Mexicali (ZM Mexicali)	Bueno						
	11. Durango, Dgo.	Requiere atención						
Grupo 4: ciudades con menos de 550 mil habitantes	12. Irapuato	Mínimo aceptable	9°			2°		
	13. Gómez Palacio y Lerdo	Requiere atención						
	14. Celaya	Mínimo aceptable						
	15. Salamanca	Bueno	6°			1°		2°
	16. Silao	Mínimo aceptable	7°		5°	7°		
	17. Tecate	Bueno						
	18. Rosarito	Bueno						
	19. Tabasco	Requiere atención						
	20. ZM de Tula-Tepeji	Requiere atención						

Notas:
Las celdas en gris indican que no fue posible clasificar la localidad debido a que los datos no fueron suficientes, no se llevaron a cabo mediciones o la información no fue enviada al INE.
S.C. = Sin clasificar. Se contó con información suficiente para la clasificación de la ZMVM con respecto a las $PM_{2.5}$, pero no hay más ciudades con datos. Las concentraciones de O_3, NO_2 y CO en San Luis Potosí son mucho más bajas que las de las ciudades que sí pudieron clasificarse, por lo que se decidió dejarla fuera de la clasificación a pesar de que sí cuenta con información suficiente.

Ciudades con avances prometedores para algunos contaminantes atmosféricos: PM_{10} en Monterrey y Guadalajara, O_3 en el valle de México y San Luis Potosí, SO_2 en Salamanca, y CO en Mexicali, Tijuana y Celaya

En estas localidades se observan reducciones muy alentadoras en las concentraciones de ciertos contaminantes entre 2000 y 2009, aunque todavía no se resuelve la problemática de la calidad del aire.

- En el **Área Metropolitana de Monterrey** se cumple con las normas de la calidad del aire para el SO_2 y el CO; las concentraciones de estos contaminantes se han reducido en los últimos años y muestran una tendencia decreciente. Asimismo, para las PM_{10} el número de días en los que se rebasa la norma se redujo casi el 50% desde 2005, y a partir de ese año disminuyó en 12% la exposición promedio anual; sin embargo, esta ciudad es la tercera ciudad más contaminada con PM_{10}, pues aún no se cumple con la norma de este contaminante.
- En la **Zona Metropolitana de Guadalajara** la norma del CO se cumplió en todo el periodo y las concentraciones siguen disminuyendo. Además, el número de días en los que se rebasa la norma de las PM_{10} decreció el 80%, por lo que la exposición promedio anual a este contaminante disminuyó el 13%. Sin embargo, todavía no se cumple la norma de las PM_{10}.
- En el **valle de México** las normas del SO_2 y del CO se cumplen, y se observa una clara tendencia decreciente en sus concentraciones. Por otra parte, la exposición promedio anual al ozono se redujo el 27%, el número de días en los que se rebasa la norma disminuyó más del 45%, y se observa una trayectoria decreciente en las concentraciones de este contaminante. No obstante, aún no se cumplen los límites de la norma y continúa siendo la ciudad más contaminada con ozono.
- En **San Luis Potosí** se han cumplido los límites normados para el ozono desde que comenzaron a operar las tres estaciones de monitoreo con que cuenta, y la tendencia en las concentraciones es claramente decreciente.
- En **Salamanca** las concentraciones de SO_2 disminuyeron tanto que la exposición promedio anual de la población se redujo el 70%, y desde 2009 se cumple con los dos límites de la norma. Sin embargo, aún es la ciudad con más contaminación por bióxido de azufre en el país.
- En **Mexicali** la concentración de CO se redujo en 2008 a un tercio respecto a la registrada en 2001, por lo que desde 2007 ya se cumple con la norma, y se observa que las concentraciones continúan reduciéndose.
- En **Tijuana** se cumplió con la norma para el CO en todo el periodo, y se observa una tendencia descendente en las concentraciones de los últimos años.
- En **Celaya** las concentraciones registradas de CO cumplen holgadamente la norma desde que la red inició operaciones.

Malas noticias sobre las PM_{10} en Juárez, Toluca, el valle de México y Mexicali, el O_3 en Guadalajara y León, el NO_2 en Salamanca y el CO en Irapuato

Entre 2000 y 2009, el ozono y las PM_{10} siguieron siendo los principales problemas de la calidad del aire en varias zonas del país. En algunos casos se evidenciaron por primera vez, y en otros persistieron o se agravaron los que ya se habían documentado en almanaques anteriores.

- **Juárez** fue la ciudad más contaminada con PM_{10} en 2009, pues la exposición promedio anual aumentó casi un 10% con respecto a 2005. En los últimos tres años, casi el 45% de los muestreos que se registran anualmente no cumplen con el límite de 24 horas y, por lo tanto, tampoco se cumple con el límite anual.
- **Toluca** fue clasificada como la segunda ciudad más contaminada con PM_{10} en 2009. Durante ese año se rebasó la norma

en el 42% de los días del año, más que en cualquier otra localidad, y el límite anual se superó con concentraciones que son el doble de dicho límite.

- **El valle de México** figura ahora como la cuarta ciudad más contaminada con PM_{10}, pues no se cumple con ninguno de los límites de la norma, y el número de días en los que se excedió la norma diaria aumentó en los últimos dos años, especialmente en las estaciones del noreste, hasta llegar a 48 en 2009.
- **Mexicali**, que figuraba como el primer lugar en el país por contaminación con PM_{10} en el tercer almanaque, no pudo ser clasificada en 2009 por falta de datos. Durante 2008, sin embargo, en el 65% de los muestreos efectuados se rebasó el límite diario, y los registros de años anteriores corresponden a valores que son el doble o el triple de los dos límites de la norma.
- **Guadalajara** continúa siendo la segunda ciudad más contaminada con ozono, después del valle de México. La exposición promedio anual a este contaminante aumentó el 27%. Los indicadores de la norma de 2009 sobrepasaron los niveles registrados en el valle de México y muestran una tendencia creciente.
- **León** se convirtió en la tercera ciudad más contaminada con ozono en México. En los últimos cuatro años el indicador del límite anual aumentó el 80%, y el número de días en los que se rebasó la norma aumentó de 0 a 23. En esta ciudad tampoco se cumplen los límites de la norma para las PM_{10} desde que la red de monitoreo inició operaciones, y las concentraciones de CO de los últimos dos años excedieron la norma.
- En **Salamanca** casi se triplicó la concentración de NO_2 en los últimos tres años, y la concentración de 2009 se encuentra muy cerca del valor de la norma.
- En **Irapuato** las concentraciones de CO aumentaron desde que comenzó a operar la red de monitoreo; los dos últimos años muestran un incremento muy notable de dichas concentraciones, con valores muy próximos al límite normado.

Insuficiencia de información de las ciudades y zonas metropolitanas medianas y pequeñas

La calidad y la cantidad de los datos reportados por las distintas redes de monitoreo son muy heterogéneas. Solamente en el valle de México los datos reportados fueron adecuados y suficientes para evaluar la calidad del aire con respecto a todos los contaminantes durante todo el periodo 2000 a 2009. En general, los datos que reportan la mayoría de las redes de monitoreo son insuficientes para realizar un diagnóstico completo de la calidad del aire entre 2000 y 2009.

- En **Toluca, Puebla, Juárez, Tijuana, Mexicali, Tecate y Rosarito** no se generó información suficiente para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire o, inclusive, se dejaron de realizar mediciones de uno o varios contaminantes durante uno o varios años.
- Las redes de monitoreo que recientemente iniciaron operaciones enviaron, en su mayoría, información incompleta o insuficiente para el diagnóstico. Destacan las ciudades de **Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Celaya, y la redes de Tabasco y Tula-Tepeji**, para las cuales no fue posible hacer un diagnóstico de la calidad del aire para ninguno de los contaminantes en 2009. De León, San Luis Potosí, Irapuato, Salamanca y Silao la información fue incompleta, aunque suficiente para evaluar uno, dos o tres contaminantes.

Limitaciones en la medición de las $PM_{2.5}$

A pesar de ser un contaminante de primera relevancia por sus impactos negativos en la salud (seguramente el más relevante en términos de mortalidad prematura), la medición de las $PM_{2.5}$ todavía no se consolida en las redes de monitoreo que cuentan con equipo para tal efecto. Unicamente fue posible evaluar el cumplimiento de las normas en el valle de México para todos los años, y en Mexicali para tres años. En Monterrey, a pesar de que

se realizaron mediciones, la información recopilada solamente fue suficiente para evaluar el número de días en los que se rebasa la norma diaria, y en Guadalajara los datos fueron declarados inválidos por los responsables de la red.

Desempeño favorable de las redes de monitoreo del valle de México, Juárez, Monterrey, León, Rosarito, Salamanca, Tecate, Tijuana y Mexicali

Las actividades de mantenimiento de las redes, su operación y los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad que se implementaron entre los años 2000 y 2009 en las redes del valle de México y Juárez redundaron en un desempeño *muy bueno*, mientras que en Monterrey, León, Rosarito, Salamanca, Tecate, Tijuana y Mexicali el desempeño se calificó como *bueno*. En estas redes persisten, empero, áreas de oportunidad importantes, como la frecuencia de auditorías en el valle de México, Monterrey y León. El porcentaje de datos válidos (en particular de ozono y PM_{10}) y la oportunidad de la validación son los aspectos más importantes a mejorar en las cuatro redes del estado de Baja California.

Grandes oportunidades de mejora en el desempeño de once redes de monitoreo

En las redes de monitoreo con desempeño considerado *mínimo aceptable* (Celaya, Irapuato, Puebla, Silao y Toluca) y que *requiere atención* (Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Tabasco, Tula y Tepeji del Río, Guadalajara y San Luis Potosí), las áreas de oportunidad más importantes se detectaron con respecto a la baja frecuencia o la ausencia de las auditorías, el bajo porcentaje de aprobación de los equipos de medición (particularmente de PM_{10} y NO_2) en las auditorías que sí se realizaron, la baja trazabilidad de los equipos de calibración y el bajo porcentaje de datos válidos (particularmente de PM_{10} y ozono). En contraste, en la mayoría de estas redes se cuenta con *buenos* o *muy buenos* procedimientos de validación, que se realizan con oportunidad; la difusión de la información producida es, en general, adecuada.

Recomendaciones

El monitoreo atmosférico de los contaminantes del aire es, junto con los inventarios de emisiones, una herramienta fundamental para proteger a la población de los impactos negativos de la contaminación atmosférica . En la medida en que estos instrumentos estén actualizados y proporcionen información confiable, la gestión de la calidad del aire se hará de manera más costo-efectiva, y se aprovecharán mejor los recursos humanos, tecnológicos y económicos disponibles para mejorar la calidad del aire en el país. Para lograr lo anterior, se recomienda lo siguiente:

Actualizar y complementar las normas de la calidad del aire

Es necesario revisar las normas de la calidad del aire, en especial las correspondientes al SO_2 y el NO_2, para que se alineen con los objetivos intermedios y, finalmente, con los valores recomendados por la OMS. Asimismo, es recomendable incluir en la normatividad mexicana criterios y lineamientos específicos para el manejo adecuado de los datos provenientes de las redes de monitoreo. Los criterios de suficiencia de información y de cumplimiento de las normas a escala urbana, por ejemplo, están ausentes de la normatividad actual y son indispensables para evaluar correctamente la calidad del aire.

Mejorar la operación de las redes de monitoreo

En este almanaque se incluye información de menos de la mitad de las más de ochenta redes de monitoreo que se han instalado en el país. Es necesario que todas las redes que aún no lo hacen reporten con regularidad sus mediciones, establezcan programas de operación y mantenimiento eficaces, y desarrollen actividades de control

y aseguramiento de la calidad de los datos. Esto es indispensable para que se cumpla el propósito para el cual fueron instaladas: que toda la población que se encuentra en su área de cobertura conozca, a partir de datos confiables, la calidad del aire que respira.

Las veinte redes de monitoreo que comprende este almanaque cuentan ahora con un diagnóstico de su desempeño que deberá servir como primer paso para la mejora de sus operaciones. Se requiere, por tanto, que los responsables de las redes de monitoreo desarrollen e implementen planes de mejora de las áreas de oportunidad identificadas en esta primera evaluación de su desempeño, sobre todo en lo que respecta a las auditorías de los equipos de medición. Esto es indispensable particularmente en las zonas metropolitanas de Puebla, Tijuana y Toluca, donde se concentran cerca de cinco millones de personas, y en la zona de Tula-Tepeji, donde se encuentra un complejo importante para el sector energético del país y donde, además, se construirá una nueva refinería.

Asimismo, la Semarnat, en conjunto con los responsables de las redes, debe desarrollar protocolos detallados para todos los aspectos de la operación, el mantenimiento, la evaluación del desempeño y el manejo de los datos provenientes de las redes.

Aumentar la infraestructura de monitoreo y mejorar la representatividad de los datos

La cantidad y la ubicación de los equipos de monitoreo en una zona determinan la representatividad de los datos obtenidos. Las redes de Rosarito, Silao y Tecate, por ejemplo, se componen de una sola estación de monitoreo, cuyas mediciones difícilmente pueden considerarse representativas de toda una zona urbana, pero que, en ausencia de más estaciones distribuidas en esta región, se interpretan erróneamente como representativas. Otras redes comprenden varias estaciones, pero de éstas algunas se encuentran ubicadas en el área de influencia de fuentes de emisión importantes, lo que reduce su representatividad a una zona muy específica. La estación Progreso de Mexicali, por ejemplo, que registra las concentraciones más altas de PM_{10} en esa ciudad, recibe la influencia del polvo proveniente de una zona aledaña sin cubierta vegetal. Por lo tanto, es necesario ampliar la infraestructura de monitoreo en las zonas donde es insuficiente; y en aquellas zonas donde existen suficientes estaciones de monitoreo, es preciso que los responsables de las redes definan la clasificación de todas las estaciones con respecto a su representatividad y evalúen su distribución para garantizar que los datos obtenidos sean representativos de la calidad del aire a escala urbana.

La información sobre la calidad del aire: prioridad de salud pública y ambiental

En la medida en que la información sobre la calidad del aire se ponga a disposición del público, del sector privado y de las autoridades ambientales, la sociedad en su conjunto podrá, en principio, tomar conciencia sobre los problemas de contaminación atmosférica de su localidad y, por ende, proponer y participar activamente en las acciones para mejorarla. El primer paso para aspirar a reducir los miles de casos de mortalidad y morbilidad que ocasiona la contaminación atmosférica en nuestro país cada año es conocer y dar a conocer el estado que guarda el aire. La instrumentación de las recomendaciones que se plantean en los párrafos anteriores muy probablemente demandará incrementar los recursos humanos, tecnológicos y monetarios destinados a la gestión de la calidad del aire y a la operación de las redes de monitoreo. En el entorno económico actual, estos recursos serán inaccesibles a menos que esta información se comunique adecuadamente a la población, a los investigadores, a las autoridades ambientales y de salud de los tres órdenes de gobierno, y a los miembros del Congreso de la Unión. Respirar una calidad del aire adecuada debe convertirse en una prioridad de salud pública nacional. Eso es lo que demandan los miles de mexicanos que

padecen asma o enfermedades cardiopulmonares, los hipertensos, los diabéticos, los niños, los adultos mayores de 65 años, las mujeres embarazadas, los policías de tránsito, los atletas y todos aquellos que están expuestos continuamente a la contaminación ambiental por la naturaleza de las actividades que realizan diariamente. Eso es lo que demandamos todos los mexicanos.

Introducción

En nuestro país se estima que 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 a causa de la contaminación atmosférica; de éstas, aproximadamente 5000 fueron niños. Estas cifras representan más del doble de las muertes atribuidas a las enfermedades diarreicas ocasionadas por el consumo de agua no potable y por la falta de medidas sanitarias. La mortalidad debida a la contaminación atmosférica ocurre más frecuentemente en las zonas urbanas, pues cerca del 63% de los casos ocurrieron en las zonas metropolitanas del valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla y Toluca (Stevens *et al*., 2008). En términos monetarios, las cifras más recientes del INEGI arrojan que la contaminación atmosférica representó los mayores costos ambientales en 2009, al ubicarse en 520 mil 300 millones de pesos, equivalente al 4.4 por ciento del Producto Interno Bruto (INEGI, 2011a).

Este problema está generalizado a escala mundial. De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud, 1.5 millones de personas murieron en 2004 debido a cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionadas con la exposición a la contaminación atmosférica en zonas urbanas. En los países de ingresos medios y bajos del continente americano, como México, el 2% de todas las muertes registradas en 2004 se relacionó con la contaminación atmosférica, particularmente con la exposición a partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Esta proporción es diez veces mayor que la mortalidad asociada con el cambio climático global (WHO, 2009).

Se estima que más de la mitad de la mortalidad mundial debida a las PM_{10} ocurre en países en desarrollo en donde las concentraciones promedio anuales de esas partículas exceden los 70 microgramos por metro cúbico. La OMS calcula que, de reducirse estas concentraciones a 20 microgramos por metro cúbico, valor recomendado para proteger la salud de la población, se reduciría en 15 % la mortalidad relacionada con la contaminación atmosférica, mas no se eliminaría, pues no existe un umbral "seguro" de concentración de partículas en el ambiente (WHO, 2006).

Reducir la concentración de contaminantes en la atmósfera involucra acciones de control de emisiones cuyos costos son variables pero, en general, cuantiosos. Prácticamente todas las actividades humanas generan emisiones contaminantes, y reducirlas requiere de la instalación de equipos de control así como cambios en los procedimientos de operación, en el uso de materias primas o, inclusive, cambios tecnológicos. Sin embargo, la reducción de la mortalidad y la morbilidad de la población redunda en beneficios económicos para toda la sociedad, no sólo por los ahorros en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y cardiopulmonares, diabetes y otros padecimientos, sino también porque se reducen las pérdidas en la productividad laboral, en el rendimiento de los cultivos agrícolas y forestales y en la visibilidad.

En Estados Unidos, por ejemplo, en 1970 se publicó el Acta del Aire Limpio, cuyo principal objetivo era lograr el cumplimiento de las normas de la calidad del aire establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, sus siglas en inglés) mediante la

regulación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas y móviles. Esta acta ha sido reformada en varias ocasiones y sigue vigente. En 1999, casi treinta años después de que fuera publicada y como respuesta a una solicitud del Congreso de ese país, la EPA realizó un estudio retrospectivo que demostró que "la inversión del país en el aire limpio estaba más que justificada por los grandes beneficios que se obtuvieron en términos de la salud de la población, la calidad del medio ambiente y la productividad". Las reducciones en las concentraciones de contaminantes atmosféricos registradas en las redes de monitoreo de ese país trajeron beneficios *netos* acumulados –resultado de la diferencia entre los beneficios y los costos derivados de la aplicación del Acta del Aire Limpio durante veinte años– calculados en 22 billones (millones de millones) de dólares (EPA, 1999; EPA, 2011a).

Los resultados de estudios como éstos son extremadamente valiosos para los encargados de mejorar la calidad del aire en Estados Unidos, pues justifican la intervención gubernamental con elementos difíciles de refutar. Se basaron en los datos registrados en las estaciones de monitoreo de todo el país que, junto con los inventarios de emisiones, constituyen el diagnóstico presente e histórico de la calidad del aire y son el punto de partida para estimar su comportamiento en el futuro. Estos datos son utilizados con confianza, pues han sido obtenidos, actualizados y revisados sistemáticamente mediante el esfuerzo conjunto de las autoridades locales y federales comprometidas con el cumplimiento de los objetivos del Acta del Aire Limpio. Los resultados de los estudios mencionados representan, entonces, la culminación de los esfuerzos para obtener, generar y preservar la información de la calidad del aire en un país.

En México el monitoreo sistemático de la calidad del aire comenzó en el Distrito Federal en el año 1984, después de varios intentos fallidos por generar datos confiables a finales de la década de los sesenta y durante la década de los setenta. En 1986 la Red Automática de Monitoreo Atmosférico comenzó la difusión pública de la información obtenida en las 25 estaciones que la conformaban. En ese mismo año se declararon las primeras contingencias atmosféricas y se implementaron medidas para reducir la contaminación en la ciudad, que se complementaron y se fusionaron en el *Programa integral contra la contaminación atmosférica*, publicado en 1990. Para 1995 se habían instalado redes de monitoreo y publicado *Proaires* (programas para mejorar la calidad del aire) en Ciudad Juárez, Guadalajara, Monterrey y Toluca y, desde entonces y hasta el año 2000, el gobierno federal, el Banco Mundial y la EPA apoyaron a los gobiernos de las entidades federativas con más de dos y medio millones de dólares para la compra, la instalación y la operación de equipos de monitoreo atmosférico en 25 entidades del país (INE, 2000).

En la actualidad más de ochenta localidades disponen de redes o estaciones de monitoreo operadas por gobiernos municipales o estatales y empresas privadas, y quince cuentan con *Proaires* (INE-DGCENICA, 2009). Desde 2003 y hasta la fecha, una tercera parte de estas redes se han incorporado al SINAICA (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire), veinte cuentan con datos suficientes para conocer la calidad del aire de al menos tres años consecutivos, sólo nueve cuentan con datos suficientes para determinar la calidad del aire de más de cinco años, y únicamente en las tres grandes zonas metropolitanas (Guadalajara, Monterrey y el valle de México) los datos se han generado de manera constante desde que comenzaron sus operaciones. En trece localidades del país los habitantes pueden conocer la calidad del aire que respiran, pues las autoridades publican o han publicado indicadores o datos provenientes de las redes de monitoreo. Esto quiere decir que solo el 40% de la población mexicana puede conocer la calidad del aire que respira y determinar si realizar sus actividades diarias implica riesgos para su salud. Por otra parte, las autoridades en estas ciudades cuentan con in-

formación para dimensionar el problema, proponer soluciones y evaluar estrategias.

Se requiere de más y mejor calidad de la información para comunicar a la población el estado de la calidad del aire que respira, sustentar acciones para reducir la concentración de contaminantes en el aire, y documentar las mejoras resultado de estas intervenciones. Los datos generados por las redes de monitoreo del valle de México y Salamanca, por ejemplo, sirvieron para todos estos propósitos, y los resultados son evidentes. En el valle de México las concentraciones de ozono se reducen consistentemente desde que vieron sus niveles máximos en los años noventa; en Salamanca la norma del bióxido de azufre (SO_2) se cumple desde 2008, después de que, desde el inicio de operaciones de la red, las concentraciones rebasaban la norma en un 180 %. A partir de los datos de la calidad del aire se plantearon y materializaron esfuerzos extraordinarios de autoridades, sociedad civil y sector privado en conjunto con un fin común: reducir la contaminación atmosférica.

En este documento el INE publica, por vez primera, el análisis sistemático de toda la información disponible de la calidad del aire de veinte localidades de nuestro país. Es el resultado de la recopilación y la sistematización de los datos generados en las redes de monitoreo que operaron consistentemente durante al menos tres años consecutivos entre 2000 y 2009. Es consecuencia de un intenso proceso de consulta y retroalimentación de veinte meses con las autoridades responsables de todas las redes de monitoreo analizadas, y su diseño obedece a las sugerencias hechas por los usuarios de los almanaques publicados previamente por el INE. La información que contiene este cuarto almanaque se presenta en dos niveles: en la primera parte del documento se observa la situación comparada de 18 ciudades y zonas metropolitanas con respecto a cada contaminante en términos del cumplimiento de la normatividad, las tendencias temporales y la exposición de la población. La segunda parte del documento constituye el detalle de cada una de las 18 ciudades más dos regiones adicionales: Tabasco e Hidalgo, a escala de estación de monitoreo. Finalmente, se explica la metodología que se utilizó en el manejo de los datos, la generación de indicadores y la evaluación del desempeño de las redes.

El propósito de este cuarto almanaque es que la población, las autoridades ambientales y el sector privado cuenten con información robusta y adecuada para diseñar políticas públicas que permitan reducir los riesgos de mortalidad y morbilidad asociados con la exposición a los contaminantes atmosféricos. Asimismo, se busca generar un esquema de mejora continua en la operación y el mantenimiento de las redes de monitoreo a partir de la evaluación de su desempeño, con base en criterios de aseguramiento y control de la calidad que permitan identificar las áreas de oportunidad y las acciones de mejora requeridas para su óptimo funcionamiento. Sólo así será posible avanzar para lograr una mejor calidad del aire que respiramos en las ciudades mexicanas.

1.

El estado de la calidad del aire en México: 18 ciudades

En este capítulo se presenta un diagnóstico comparativo de la calidad del aire en distintas ciudades del país que cuentan con redes de monitoreo atmosférico. Con este propósito se seleccionaron 18 redes de sendas ciudades que cuentan con información de al menos tres años consecutivos en el periodo 2000 a 2009 sobre al menos uno de los contaminantes normados por la Secretaría de Salud (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2, NO_2 y CO). En general, hay más datos históricos disponibles de las redes de monitoreo de Puebla, Tijuana, Mexicali, Rosarito, Tecate, y las zonas metropolitanas del valle de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca y Juárez. Las demás ciudades, con redes cuya instalación es más reciente, cuentan con menos datos históricos pero de gran valor para realizar el diagnóstico de la calidad del aire en nuestro país. Por lo anterior, las gráficas que se muestran en este capítulo exhiben algunos huecos de información, pues para algunos años no fue posible calcular los indicadores de todas las ciudades o zonas metropolitanas.

El análisis que se presenta en este capítulo contiene indicadores representativos de la situación de la calidad del aire en cada ciudad o zona metropolitana, lo que permite hacer comparaciones entre ciudades similares y observar tendencias en los últimos años. Se compone de seis secciones, cada una de las cuales incluye todos los indicadores calculados de cada uno de los seis contaminantes criterio analizados, en el siguiente orden: PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2, NO_2 y CO. Además, los lectores interesados en los indicadores calculados para cada estación de monitoreo pueden acudir a los capítulos descriptivos de la situación de cada ciudad, que siguen a este capítulo.

En primera instancia, cada sección contiene un breve resumen de las propiedades del contaminante, la normatividad existente para éste, y una descripción general de la situación con respecto a cada uno de ellos en 2009. Esta descripción incluye:

- **Exposición de la población en 2009:** gráficas de barras que muestran el resultado de estimar la concentración promedio anual ponderada por población (CPAPP) en 2009, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de la metodología. Este indicador es útil porque representa a qué concentración está expuesto un habitante promedio en la zona estudiada. Se calcula tomando en cuenta las concentraciones registradas en distintas zonas de una localidad y el porcentaje de la población que está expuesto a esas concentraciones en cada una de dichas zonas. Esto quiere decir que la CPAPP calculada con datos de varias estaciones de monitoreo distribuidas en distintas zonas de una misma localidad es más representativa de la exposición en toda la localidad que aquella que se calcula con la información de una sola estación de monitoreo. Por lo tanto, en las ciudades que cuentan con una sola estación de monitoreo, la CPAPP representa la exposición de la población que se encuentra dentro del radio de cobertura de la estación de 1.5 km. En algunas ciudades y zonas metropolitanas se cuenta con una estimación de la CPAPP para 2005, la cual se incluyó en las gráficas para permitir la comparación con lo estimado para 2009.

- **Clasificación de las ciudades o zonas metropolitanas** de acuerdo con su grado de contaminación en 2009, que se

construyó con base en una selección de los indicadores, de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección 3.7 de la metodología.

Adicionalmente, se exhiben indicadores de la calidad del aire del periodo 2000 a 2009, con el propósito de observar tendencias a lo largo del tiempo. Dependiendo de los criterios de suficiencia de datos aplicados para el cálculo de cada uno de los indicadores, es posible que para una ciudad o zona metropolitana, en un año determinado, tratándose del mismo contaminante, no haya sido posible calcular todos los indicadores. En estos casos se incluye una nota aclaratoria. Los indicadores que se calcularon son los siguientes:

- **De evaluación del cumplimiento de las NOM de la calidad del aire:** representados por medio de gráficas de series de tiempo de 2000 a 2009 de los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOM relativas a cada contaminante. Los indicadores graficados corresponden al valor que se calculó como representativo de la situación en toda la ciudad o zona metropolitana, de acuerdo con los criterios de suficiencia y la metodología descritos en la sección 3.3.1. del capítulo 22. Es de suma importancia tomar en cuenta que los indicadores calculados para los años 2000 a 2005 de las nueve ciudades incluidas en el "Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas" no necesariamente coinciden con los estimados en esta publicación para esas mismas ciudades en el periodo mencionado. Esto se debe a que la metodología que se incluye en la sección 3.3.1 del capítulo 22 para determinar los datos representativos de la escala de ciudad o zona metropolitana es distinta de la de aquel, pues fue necesario modificarla para hacerla consistente con las recomendaciones de la USEPA en la materia[1]. El anexo II contiene el resumen de los valores calculados para cada ciudad o zona metropolitana.

- **Número de días con calidad del aire buena, regular y mala:** se utilizan gráficas con barras que representan cada uno de los años del periodo 2000-2009. Los colores indican la calidad del aire en un día determinado (ver capítulo de metodología, sección 3.3.2). El anexo IV contiene el resumen de los valores calculados para cada ciudad o zona metropolitana.

- **De tendencia de las concentraciones diarias:** gráficas de series de tiempo que permiten observar el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias que se presentaron en cada una de las zonas metropolitanas y ciudades entre 2000 y 2009. En cada gráfica se indica el percentil 10, la mediana, el promedio y el percentil 90 de las concentraciones diarias, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia que se describen en la sección 3.3.3 del capítulo de metodología.

- **De comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año:** gráficas de series de tiempo que representan el comportamiento de los contaminantes en distintos periodos, lo que permite determinar que han ocurrido periodos críticos de concentración de contaminantes en cada ciudad o zona metropolitana durante horas específicas del día, días de la semana particulares o épocas del año determinadas. Las gráficas se construyeron con las concentraciones promedio representativas de cada ciudad o zona metropolitana de cada hora del día, cada día de la semana y cada mes del año, de acuerdo con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.4 de la metodología.

Para facilitar la visualización de los indicadores, se formaron cuatro grupos de ciudades o zonas metropolitanas con base en la población, a saber:

- Zonas metropolitanas grandes: con más de dos millones de habitantes

1 Ver Zuk *et al.*, 2007, págs. 46 y 47.

- Zonas metropolitanas y ciudades medianas: con más de un millón pero menos de dos millones de habitantes
- Zonas metropolitanas y ciudades pequeñas: con más de 550 mil pero menos de un millón de habitantes
- Ciudades con menos de 550 mil habitantes

En el cuadro 1.1 se muestra la agrupación de las zonas metropolitanas[2] (SEDESOL *et al.*, 2007) y ciudades, así como los contaminantes que se reportan para cada una, el periodo para el cual se cuenta con información, la fuente oficial de los datos y la página electrónica de la red de monitoreo o de la autoridad responsable de la red.

Cabe mencionar que en la sección *exposición de la población* no se presenta el indicador de acuerdo con la agrupación anterior, debido a que al ponderar por la población es posible la comparación entre todas las ciudades analizadas, y además por las pocas ciudades en las que fue posible obtener el indicador en 2009 de acuerdo con los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de la metodología.

2 SEDESOL, INEGI y CONAPO definen como zona metropolitana "al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica; en esta definición se incluye además a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas. Adicionalmente, se definen como zonas metropolitanas todos aquellos municipios que contienen una ciudad de un millón o más habitantes, así como aquellos con ciudades de 250 mil o más habitantes que comparten procesos de conurbación con ciudades de Estados Unidos de América" (SEDESOL *et al.*, 2007).

Cuadro 1.1 Zonas metropolitanas y ciudades incluidas en el cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire

Grupo	Zona metropolitana[a]/ ciudad	Población[b]	Contaminantes reportados	Periodo de reporte	Fuente	Página electrónica
Grupo 1: zonas metropolitanas grandes	1. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	29 millones	PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2009 $PM_{2.5}$ desde 2003	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal	http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php
	2. Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	4.4 millones	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2009	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Jalisco	http://siga.jalisco.gob.mx/ramasp/ramag.htm
	3. Área Metropolitana de Monterrey (AMM)	4.1 millones	PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2009 $PM_{2.5}$ desde 2003	Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León	http://www.nl.gob.mx/?P=sima_metropolitano
Grupo 2: zonas metropolitanas y ciudades medianas	4. Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)	1.8 millones	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2008 PM_{10} a 2009	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	http://www.edomex.gob.mx/calidaddelaire/conceptos-operacion
	5. Puebla	1.5 millones	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2009	Secretario del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Puebla	http://www.remapuebla.gob.mx/index.php/reporte-imeca-puebla
	6. Tijuana	1.5 millones	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2008 PM_{10} a 2009	California Air Resources Board Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California	http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm http://aire.bajacalifornia.gob.mx/
	7. León	1.4 millones	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009	Instituto de Ecología de Guanajuato Universidad Tecnológica de León	http://calidadaire.guanajuato.gob.mx
	8. Zona Metropolitana de Juárez (ZM-Juárez)	1.3 millones	PM_{10}, O_3 y CO	2000-2009	Texas Comission for Environmental Quality (TCEQ) Dirección de Ecología y Protección Civil del Municipio de Juárez	http://www.tceq.state.tx.us/cgi-bin/compliance/monops/yearly_summary.pl http://www.juarez.gob.mx/dependencias/ecologia.php

Grupo	Zona metropolitana[a]/ ciudad	Población[b]	Contaminantes reportados	Periodo de reporte	Fuente	Página electrónica
Grupo 3: zonas metropolitanas y ciudades pequeñas	9. San Luis Potosí, SLP	772 mil	O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009	Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Estado de San Luis Potosí	http://www.segam.gob.mx/
	10. Zona Metropolitana de Mexicali (ZM-Mexicali)	936 mil	PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2008 PM_{10} a 2009	California Air Resources Board Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California	http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm http://aire.bajacalifornia.gob.mx/
	11. Durango, Dgo.	582 mil	PM_{10}	2006-2008	Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango	http://www.medioambiente.gob.mx/
Grupo 4: ciudades con menos de 550 mil habitantes	12. Irapuato	529 mil	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Irapuato A.C.	http://calidadaire.guanajuato.gob.mx
	13. Gómez Palacio y Lerdo	469 mil	PM_{10}	2006-2009	Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango	http://www.medioambiente.gob.mx/
	14. Celaya	468 mil	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C	http://calidadaire.guanajuato.gob.mx
	15. Salamanca	260 mil	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009 SO_2 desde 2000	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C	http://calidadaire.guanajuato.gob.mx
	16. Silao	173 mil	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2006-2009	Instituto de Ecología de Guanajuato Universidad Tecnológica de León	http://calidadaire.guanajuato.gob.mx
	17. Tecate	101 mil	PM_{10}, O_3, CO, y NO_2	2000-2008 PM_{10} a 2009	California Air Resources Board Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California	http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm http://aire.bajacalifornia.gob.mx/
	18. Rosarito	90 mil	PM_{10}, O_3, CO, SO_2 y NO_2	2000-2008 PM_{10} a 2009	California Air Resources Board Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California	http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm http://aire.bajacalifornia.gob.mx/

Fuente:

a SEDESOL, INEGI y CONAPO. 2007. Delimitación de las zonas metropolitanas en México 2005.

b INEGI. 2011. Censo de población y vivienda 2010

Partículas suspendidas (PM)

Las PM están formadas por una mezcla compleja de componentes cuyas características físicas y químicas son muy variadas. Esta complejidad, que se da tanto en ambientes urbanos como en rurales, complica la interpretación de los numerosos resultados de los estudios e investigaciones que se han llevado a cabo sobre las partículas suspendidas en todo el mundo, pues el potencial de que causen daños a la salud puede variar de acuerdo con su tamaño, su composición química y las fuentes de donde provienen. Sin embargo, hay evidencia muy robusta sobre los impactos negativos en la salud por la exposición aguda o crónica a las PM en estudios epidemiológicos y toxicológicos en todo el mundo. Los efectos más documentados son la mortalidad y la hospitalización de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), exacerbación de los síntomas y aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, mortalidad y hospitalización de pacientes con enfermedades cardiovasculares, mortalidad y hospitalización de pacientes con diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de los pulmones, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón (WHO, 2006).

Actualmente, para efectos de su control, las partículas se clasifican de acuerdo con su diámetro aerodinámico, pues éste determina, en gran medida, la probabilidad de que ingresen y se alojen en el tracto respiratorio. Asimismo, la evidencia científica apunta a que son ciertos tamaños de partículas los que se asocian con impactos en la salud específicos. Las autoridades de Estados Unidos y Europa establecieron, en un principio, regulaciones basadas en la medición de partículas suspendidas totales (TSP, sus siglas en inglés), pero conforme fueron conociéndose nuevos estudios en la materia, la normatividad sobre la calidad del aire se volvió más específica y requirió la medición de partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM_{10}), y posteriormente de aquellas con diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$).

Las PM_{10} incluyen aquellas partículas que, al inhalarse, son lo suficientemente pequeñas como para penetrar en la región torácica del tracto respiratorio; se originan principalmente de procesos de desintegración de partículas más grandes, como la remoción de tierra durante actividades de labranza o minería o el paso de vehículos por caminos sin pavimentar. También pueden contener material biológico, como polen, virus o bacterias, o provenir de la evaporación del agua de mar en regiones costeras.

Las $PM_{2.5}$, consideradas la "fracción fina" de las PM_{10}, son aún más pequeñas y tienen más probabilidad de depositarse en los conductos más finos del tracto respiratorio y en los alvéolos; las $PM_{2.5}$ están formadas primordialmente por gases y por material proveniente de la combustión. En esta fracción, una gran proporción de las partículas son secundarias, es decir, se originaron en procesos de nucleación-condensación de sustancias provenientes de reacciones químicas en la atmósfera, que formaron partículas muy pequeñas a las que se fueron adhiriendo otras partículas, en un proceso que se denomina "coagulación" (WHO, 2006).

Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud

A partir de la evidencia científica sobre las PM y sus impactos negativos en la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) emitió una serie de valores recomendados para que los países de todo el mundo los adopten como límites de concentración máxima, con el objeto de proteger la salud de la población. Si bien no se ha encontrado un umbral de concentración a partir del cual no se observen impactos negativos en la salud, los valores

propuestos implican la protección, especialmente, de los grupos más vulnerables de la población. La recomendación de la OMS es que, en un futuro cercano, todos los países establezcan como límite una concentración promedio anual de 20 µg/m³ en el caso de las PM_{10}, y 10 µg/m³ en lo que respecta a las $PM_{2.5}$. La OMS exhorta a que los países en los que no se cumplan los valores recomendados establezcan un plan para, gradualmente, cumplir los objetivos intermedios 1, 2 y 3 a fin de alcanzar, en el menor tiempo posible, los límites recomendados (WHO, 2006).

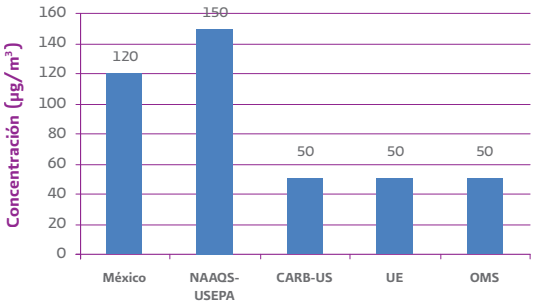
Diagnóstico de México

• Normatividad

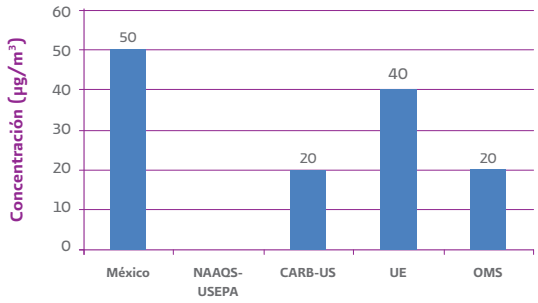
Como se muestra en la figura 1.1, la normatividad mexicana para las PM es menos exigente que las recomendaciones de la OMS y de California; solo es más exigente que la normatividad federal estadounidense para el promedio de 24 horas de PM_{10} (cuyo límite es tres veces el valor recomendado por la OMS), y que la normatividad de la Unión Europea para el promedio anual de $PM_{2.5}$ (2.5 veces superior a la recomendación de la OMS).

Figura 1.1 Límites de concentración recomendados por la OMS para PM_{10} y $PM_{2.5}$, y comparación con la normatividad de México, Estados Unidos (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y la Unión Europea (UE)

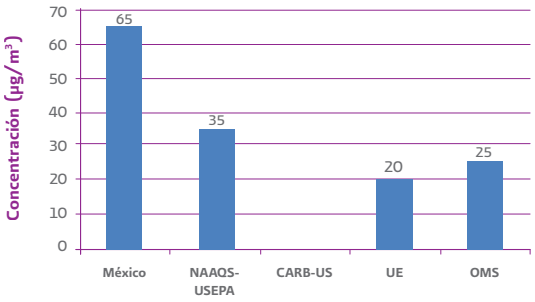
1.1a PM_{10} 24 horas



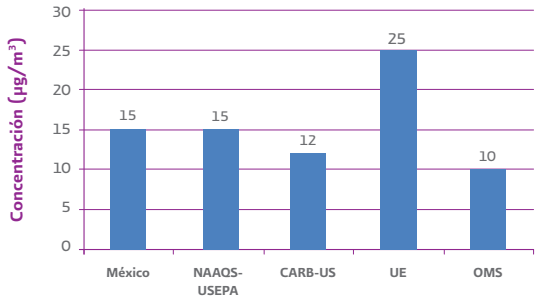
1.1b PM_{10} promedio anual



1.1c $PM_{2.5}$ 24 horas



1.1d $PM_{2.5}$ promedio anual



Fuente: NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005)
NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards. http://www.epa.gov/air/criteria.html
CARB-US. California Environmental Protection Agency. http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf
UE. Unión Europea. http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
OMS – Organización Mundial de la Salud – http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

• Exposición de la población a las PM en 2009

PM_{10}

Si bien este contaminante se mide en muchas estaciones de monitoreo en el país, solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 17 redes. Sin embargo, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 en estas ciudades solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en nueve de ellas: Salamanca, Irapuato, León, Silao, y las zonas metropolitanas de Juárez, Toluca, Monterrey, Guadalajara y el valle de México. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009.

La figura 1.2 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de ese capítulo. Donde fue posible, para efectos de comparación se incluyeron en la gráfica los valores que fueron estimados en 2005 (Zuk *et al.,* 2007). Al tratarse de promedios, estos valores no reflejan la variabilidad geográfica de la exposición en cada ciudad; ésta se muestra en los capítulos que describen la situación específica de cada localidad.

Figura 1.2 Exposición de la población a las PM_{10} (CPAPP en µg/m³, 2005 y 2009)

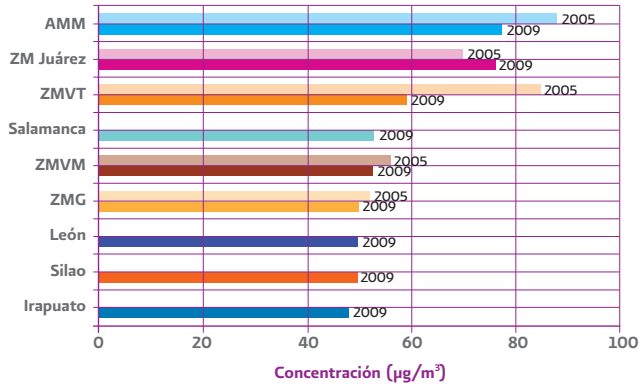
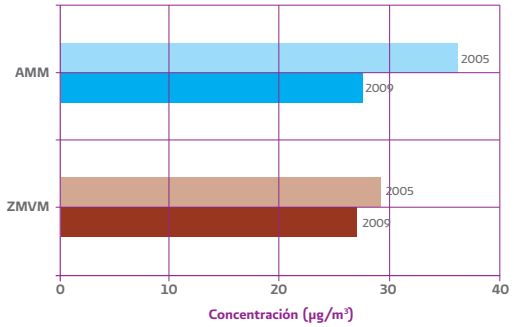


Figura 1.3 Exposición de la población a las $PM_{2.5}$ (CPAPP en µg/m³, 2005 y 2009)



En la gráfica se observa que un habitante de las zonas metropolitanas de Monterrey y Juárez estuvo expuesto durante todos los días de 2009, en promedio, a una mayor concentración de PM_{10} que los habitantes de las siete ciudades restantes. En Juárez, además, la exposición aumentó entre 2005 y 2009 cerca del 10%. En contraste, las tres ciudades cuya población tuvo menor exposición a las PM_{10} están todas en Guanajuato: Irapuato, León y Silao. En las grandes zonas metropolitanas del país, valle de México, Guadalajara y Monterrey, así como en Toluca, la exposición se redujo entre 2005 y 2009. En esta última la mejoría fue notable, de cerca del 30%; sin embargo, para el cálculo de este indicador en 2009 solo se tomaron en cuenta los datos de cinco de las siete estaciones (que corresponde al 71%) que conforman la red, ya que los datos de la estación Aeropuerto (AP) y Centro (CE) no estuvieron disponibles para dicho año. Cabe mencionar que la ZM de Mexicali, donde se registran muy altas concentraciones de PM_{10}, no pudo ser clasificada por falta de información.

$PM_{2.5}$

Las $PM_{2.5}$ solo se miden en cuatro zonas metropolitanas: Mexicali, Monterrey, Guadalajara y valle de México; de éstas, solo se contó con información para estimar la exposición promedio anual en la ZMVM y el AMM. Se desconoce el grado de exposición promedio a las $PM_{2.5}$ en el resto del país.

La figura 1.3 muestra la exposición de la población en la ZMVM y el AMM, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 del capítulo 22. En ambos casos se muestran los valores que fueron estimados en 2005, para efectos de comparación (Zuk *et al.,* 2007).

Los resultados muestran que en 2009 no hubo mucha diferencia entre los habitantes promedio de ambas ciudades en términos de su exposición a las $PM_{2.5}$, aunque estos valores no reflejan la va-

riabilidad geográfica de la exposición en ambas ciudades (ver capítulos correspondientes a cada una). En ambos casos se observa que la exposición se redujo entre 2005 y 2009, especialmente en el AMM, donde la reducción fue del 25%.

• Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación con PM en 2009

PM_{10}

En el cuadro 1.2 se muestra el resultado de la clasificación de las nueve ciudades y zonas metropolitanas, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia que se describen en la sección 3.7 del capítulo 22. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó para todas las ciudades donde se miden las PM_{10}.

Las zonas metropolitanas de Juárez, Toluca y Monterrey fueron las tres ciudades más contaminadas con PM_{10} en 2009. Como se verá en las secciones siguientes, éstas presentan problemas en todos los indicadores, aunque también la zona metropolitana de Mexicali y la zona conurbada de Gómez Palacio y Lerdo comparten esta problemática, solo que no fue posible clasificarlas debido a la falta de información suficiente de 2009.

Por otra parte, si bien puede decirse que las tres localidades menos contaminadas con PM_{10} son Silao, la Zona Metropolitana de Guadalajara e Irapuato, en éstas no se cumplen las normas correspondientes, o los indicadores calculados se encuentran en el límite del incumplimiento.

$PM_{2.5}$

No fue posible realizar la clasificación de las ciudades en términos de su grado de contaminación con $PM_{2.5}$ durante 2009 debido a que no se contó con información suficiente para tal efecto ni en el AMM ni en Mexicali. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó en las tres ciudades donde se miden las $PM_{2.5}$.

A continuación se presentan los indicadores calculados con base en las concentraciones medidas de ambos tamaños de partículas en 17 redes de monitoreo del país.

PM_{10}: indicadores de la calidad del aire (2000-2009)

Las PM_{10} se pueden medir con equipo automático o manual. El cuadro 1.3 muestra cómo se distribuyen las ciudades de acuerdo con el tipo de monitoreo que se lleva a cabo en ellas.

En la ZMVM se llevan a cabo mediciones con ambos tipos de equipo, y en general hay una muy buena correlación entre los datos medidos con uno y otro método, por lo que se utilizaron los datos de los equipos manuales para generar los indicadores que se comparan con los límites especificados en la NOM (percentil 98 y promedio anual), y los datos de los equipos automáticos para el resto de los indicadores (ver sección 3 del capítulo 22). En San Luis Potosí no se hace la medición de partículas en el periodo de análisis.

Para efectos de evaluar el cumplimiento de las NOM se muestran los indicadores de todas las ciudades, independientemente del equipo con el que se miden las concentraciones de PM. Sin embargo, las gráficas de distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala se agruparon de acuerdo con el equipo de monitoreo utilizado en cada ciudad, para efectos de comparación.

Cuadro 1.2 Clasificación de las ciudades según su grado de contaminación con PM_{10} (2009)

Zona metropolitana/ciudad	Clasificación
ZM-Juárez	1°
ZMVT	2°
AMM	3°
ZMVM	4°
León	5°
Salamanca	6°
Silao	7°
ZMG	8°
Irapuato	9°

Cuadro 1.3 Distribución de las ciudades de acuerdo con el método de medición de PM_{10}

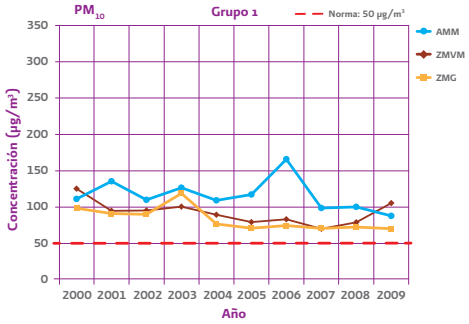
Monitoreo automático (concentraciones horarias)	
ZMG	Silao
ZMM	Salamanca
ZMVT	Irapuato
León	Celaya
Puebla	ZMVM
Monitoreo manual (concentraciones integradas de 24 horas)	
ZM-Juárez	Tecate
ZM-Mexicali	Rosarito
Tijuana	ZMVM
Durango	Gómez Palacio y Lerdo

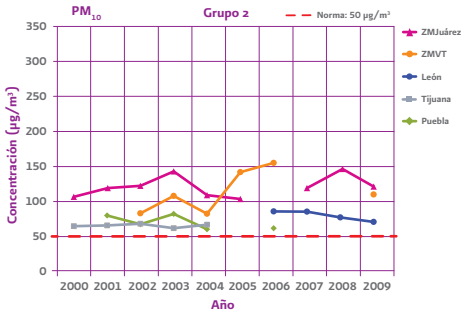
PM_{10}

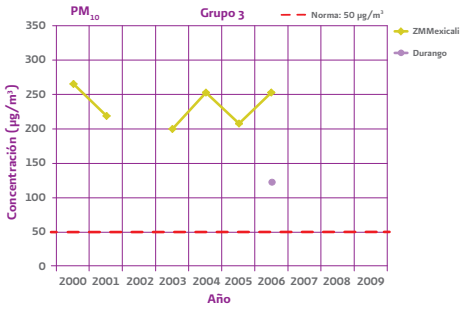
• Evaluación del cumplimiento de la NOM

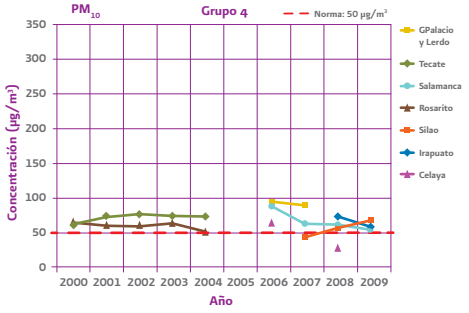
En las figuras 1.4 y 1.5 se presentan, de cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores especificados en la modificación a la NOM-025-SSA1-1993 para evaluar la calidad del aire con respecto a las PM_{10} (DOF, 2005).

Figura 1.4 Límite anual (promedio aritmético anual)









De las 17 ciudades que reportaron tres o más años consecutivos de información, solo en las tres zonas metropolitanas más grandes del país (grupo 1) se contó con información suficiente en todo el periodo para evaluar el cumplimiento de la norma anual. En el grupo 2, a pesar de que incluye las zonas metropolitanas de Puebla, Tijuana, Toluca y Juárez, que comenzaron sus operaciones desde antes del año 2000, se observa que las series de tiempo se interrumpen por datos faltantes en uno o más años. En los grupos 3 y 4 se repite esta situación con más frecuencia, pues varias de las ciudades que los conforman comenzaron a operar recientemente.

En ninguna de las ciudades de los cuatro grupos se cumple con la norma anual, excepto Celaya en 2008. En general, las zonas metropolitanas de Monterrey, del grupo 1, valle de Toluca y Juárez, del grupo 2, Mexicali, del grupo 3, y Gómez Palacio y Lerdo, del grupo 4, registraron los valores más altos del indicador. Además, en algunos años específicos se presentaron concentraciones extraordinariamente altas, como en Mexicali en 2003 y 2006, que superan con mucho el límite anual.

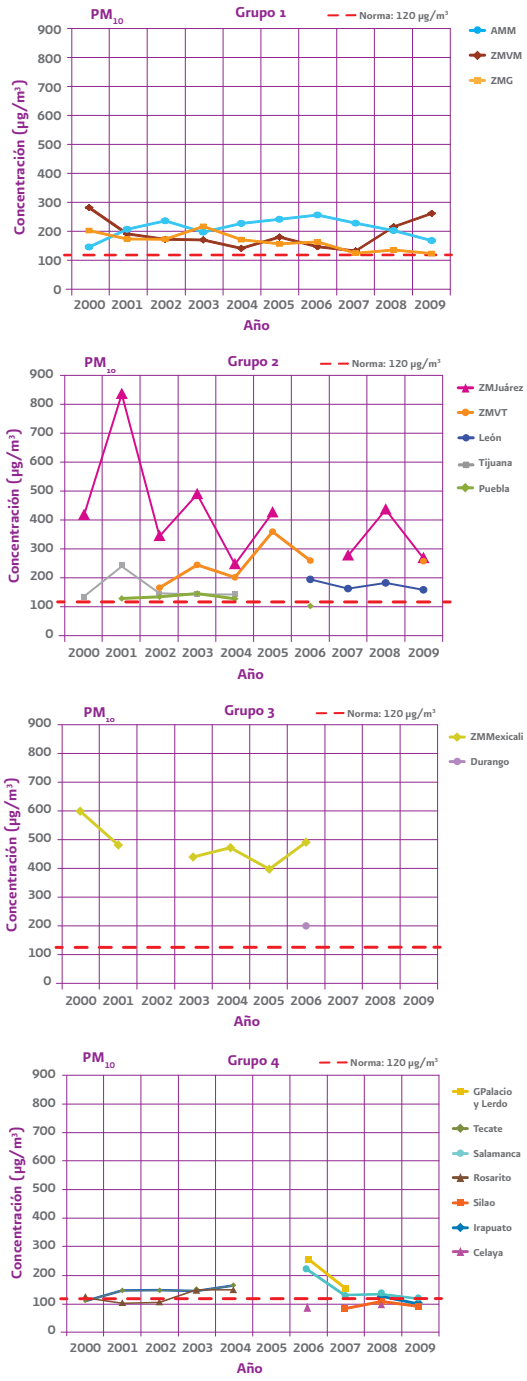
Solo en algunas ciudades se cuenta con datos suficientes para observar una tendencia a simple vista, sobre todo en los años más recientes. En el valle de México y Silao se observa una ligera tendencia a la alza; el AMM, León y Salamanca aparentemente van acercándose a cumplir la norma, y en la ZMG las concentraciones no han variado mucho en los últimos seis años. Destaca también la tendencia creciente que presentó la ZMVT entre 2002 y 2006, pero no es posible determinar si continuó, debido a la falta de datos suficientes.

Figura 1.5 Límite de 24 h
(percentil 98 de los promedios de 24 h)

Este indicador presenta un comportamiento muy similar al del promedio anual. En primera instancia, las series de tiempo se interrumpen por la falta de datos suficientes en varios años, a excepción de las zonas metropolitanas del grupo 1.

En general, tampoco esta norma se cumplió. En Puebla, Rosarito, Celaya e Irapuato se ha cumplido la norma con valores muy cercanos al límite, pero no en periodos continuos. Solo en Silao se ha registrado cumplimiento continuo en los últimos tres años.

Las concentraciones más altas durante todo el periodo se presentaron en las zonas metropolitanas de Juárez, Toluca, Mexicali y Monterrey, aunque esta última es la única donde se observa una mejoría en los últimos cuatro años. Por el contrario, la ZMVM parece estar empeorando. En Mexicali, donde se observan valores de más del doble de la norma, no se conoce la situación actual, pues los datos disponibles más recientes son de 2006. En las zonas metropolitanas de Juárez y valle de Toluca la variabilidad de los datos es tan alta que es difícil establecer una tendencia, pero continúan sin cumplir la norma en 2009.



PM_{10}

• Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2009)

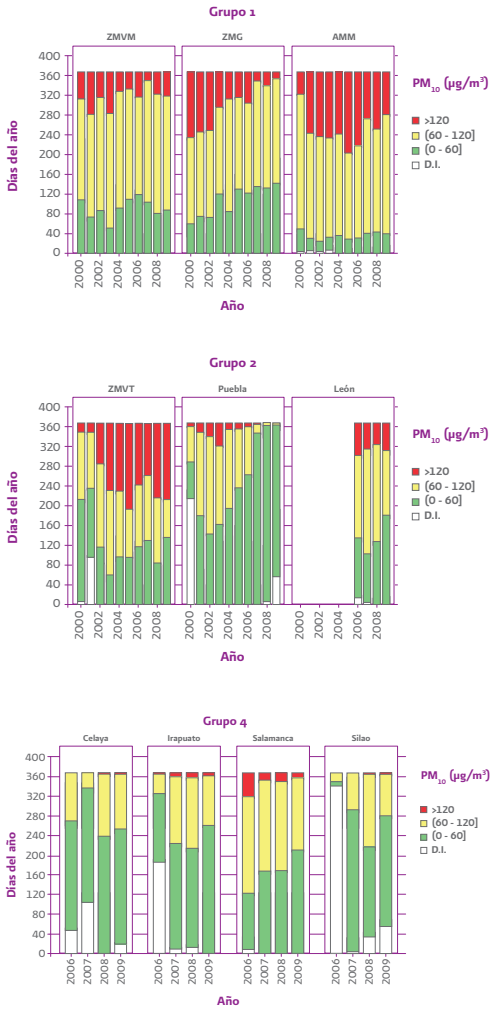
En las figuras 1.6 y 1.7 se ilustra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a la concentración de $PM_{10,}$ de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.3.2 del capítulo de metodología para este contaminante. En la primera se presentan los resultados obtenidos de los equipos automáticos, y en la segunda, los que provienen de equipos manuales.

Figura 1.6 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala, equipo automático

En general, en las ciudades con monitoreo automático fue posible estimar la calidad del aire de la mayor parte de los días del periodo, sobre todo en los últimos años. En 2009, solo en Puebla y Silao no fue posible determinar la calidad del aire del 15% de los días en el año.

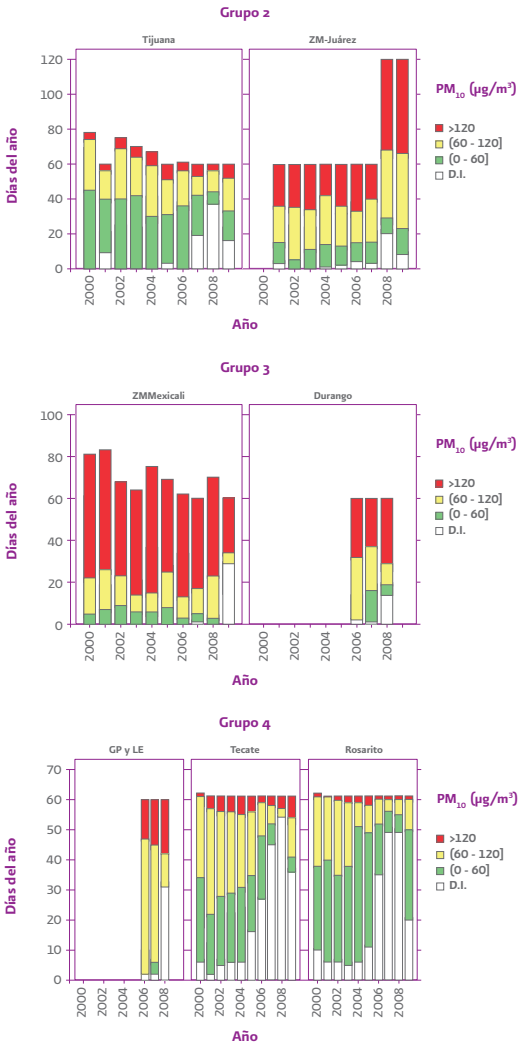
En las zonas metropolitanas de Monterrey, Guadalajara y Toluca se registró el mayor número de días en rojo durante todo el periodo. La ZMVM y León también exhiben un gran número de días en rojo. En contraste, en las redes de Guanajuato que pertenecen al grupo 4 se registraron las concentraciones diarias más bajas, aunque solo se cuenta con cuatro años de información, y en algunos de ellos hay información faltante.

La escala de colores permite observar que, a lo largo del periodo, ha disminuido la proporción de días en rojo en Puebla y Salamanca, y en las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara; esta última es la que registró la mejoría más notoria. Por el contrario, en las zonas metropolitanas del valle de México y de Toluca aumentó el número de días rojos en los últimos tres años. De estas dos ciudades se observa que en Toluca la problemática es más fuerte, cuando menos en lo que respecta a este indicador. En León no se observa un cambio significativo en este indicador.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.

Figura 1.7 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala, equipo manual



En las ciudades que cuentan con muestreo manual se observan más días en los que no pudo realizarse un diagnóstico de la calidad del aire por la falta de información. Es notoria la falta de datos en las redes de Baja California, en especial las que pertenecen al grupo 4, cuya suficiencia de información se redujo marcadamente desde 2006. Las redes del estado de Durango presentan una situación similar, aunque en éstas no se realizaron mediciones en 2009. Es particularmente interesante el hecho de que en Mexicali no se pudo determinar la calidad del aire en más de la mitad de los días con muestreos, a pesar de ser la ciudad donde se registraron los valores más altos en la evaluación del cumplimiento de la norma.

En todas las ciudades se registraron días en rojo, pero son más numerosos en Durango, Gómez Palacio y Lerdo, y las zonas metropolitanas de Mexicali y Juárez. En esta última es notable cómo, al aumentar el número de muestreos en el año, aumentó también el porcentaje de días con mala calidad del aire, de aproximadamente el 30% entre 2001 y 2007, al 50% en 2008 y 2009. En Tecate y Rosarito, a pesar de que no se observan muchos días en rojo, se distingue un aumento en su proporción con respecto a los días en verde, pero es difícil determinar si ha mejorado o empeorado esta situación porque falta información. En las redes de Durango pasa algo similar en el último año, aunque con la información disponible se aprecia un aumento de los días con mala calidad del aire.

PM_{10}

Notas: en la ZM de Juárez en los últimos dos años aumentó el número de muestreos en un año, pues se realizan cada tres días en vez de cada seis días, por lo que la escala cambió a partir de 2008 de 60 a 120 días con muestreos en el año.
En Tijuana y Mexicali, a pesar de que los muestreos se realizan cada seis días, no necesariamente se efectúan el mismo día en las diferentes estaciones de monitoreo, por lo que la escala supera los 60 días.
En las redes de Durango los muestreos se efectúan cada seis días, de manera simultánea en todas las estaciones.
D.I. = Datos insuficientes.

PM_{10}

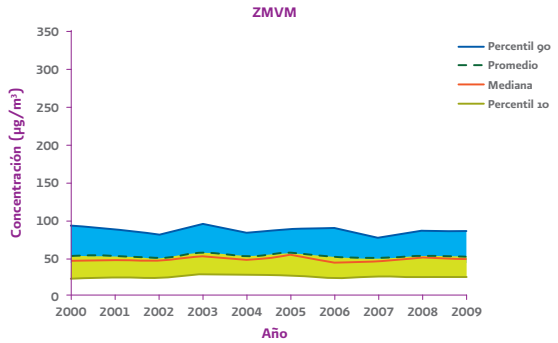
• Tendencias de las concentraciones diarias

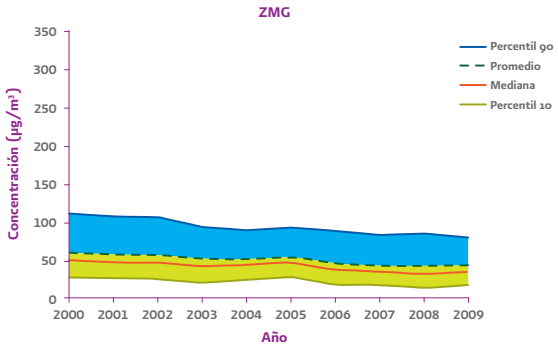
En las figuras 1.8 a 1.11 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis.

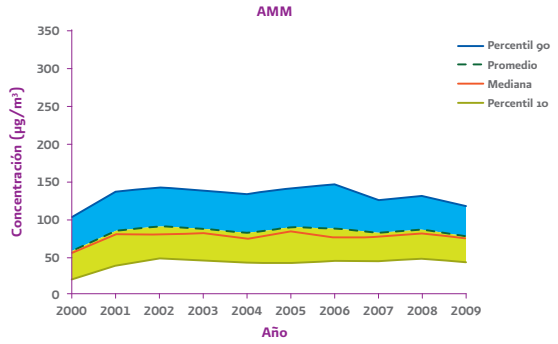
Figura 1.8 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 1)

En este grupo los datos fueron suficientes durante todo el periodo para calcular los indicadores. A partir de las gráficas se observa que solo en la ZMG se sugiere una muy ligera tendencia decreciente del percentil 90. Por el contrario, en la ZMVM no se aprecian cambios notorios en las concentraciones a través de los años.

Por otra parte, si bien en el AMM no hay una tendencia, en los últimos tres años se aprecia una pequeña disminución del percentil 90. Es notorio que en esta área metropolitana se presenten las magnitudes más altas, pues en todos los años analizados las concentraciones del percentil 90 son superiores a 100 µg/m³.







Nota: en los tres casos se usó la información proveniente de los equipos automáticos para el cálculo de los indicadores.

PM$_{10}$

Figura 1.9 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 2)

En las ciudades que forman el grupo 2 no fue posible obtener los indicadores de todo el periodo debido a la falta de datos. Es notable la falta de información de varios años en la ZMVT, Puebla y Tijuana. Solo en León y Juárez fue posible calcular los indicadores de los años más recientes.

En la ZMVT se registró un aumento en las concentraciones diarias entre 2002 y 2005; sin embargo, la situación actual parece haber mejorado con respecto a esos años, aunque la magnitud de las concentraciones es mayor que la de las demás ciudades.

No es posible determinar cuál es la situación en Puebla y Tijuana en los años más recientes, debido a la falta de información. Sin embargo, en Puebla se distingue una tendencia ligeramente decreciente entre 2001 y 2005. En Tijuana, en cambio, no se observan cambios en las concentraciones.

En contraste con estas ciudades, en León se advierte una tendencia ligeramente decreciente en el percentil 90 y en el promedio y la mediana.

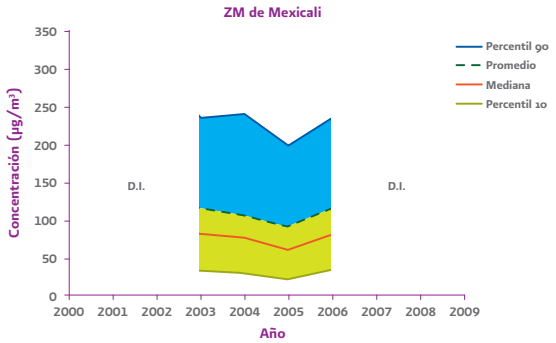
Por último, en Ciudad Juárez es difícil observar una tendencia definida pues las concentraciones son muy variables, y en algunos años el percentil 90 es bastante mayor que el promedio.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de concentraciones diarias.

Nota: en los casos de la ZMVT, Puebla y León se usó la información proveniente de los equipos automáticos para el cálculo de los indicadores, mientras que para Tijuana y la ZM de Juárez se usó la de los equipos manuales.

PM_{10}

Figura 1.10 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 3)



No se muestran las gráficas correspondientes a Durango por falta de información suficiente.

Por otra parte, en la ZM de Mexicali no se contó con información suficiente de los primeros tres años ni de los tres más recientes. Entre 2003 y 2006 se presenta una gran variabilidad en las concentraciones registradas; en algunos casos el percentil 90 alcanzó 250 µg/m³. Sin embargo, la variabilidad de las concentraciones entre un año y otro impide que se sugiera una tendencia definida.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de concentraciones diarias.
S.M. = Sin medición.
S.I. = Sin información en el INE.

Nota: no se incluyó la gráfica de Durango debido a que no fue posible calcular los indicadores para más de dos años consecutivos. En la ZM de Mexicali se usó la información proveniente de los equipos manuales para el cálculo de los indicadores.

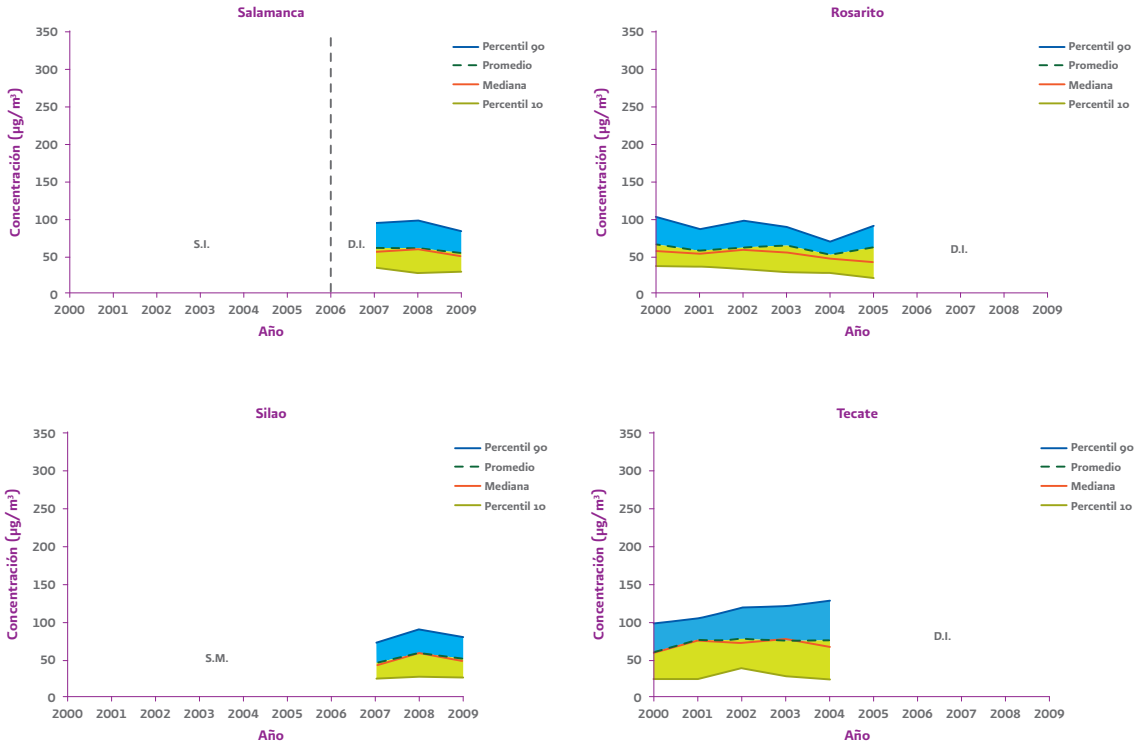
Figura 1.11 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 4)

PM_{10}

Las gráficas de Celaya, Irapuato y Gómez Palacio y Lerdo no se exhiben debido a la falta de datos suficientes para generar los indicadores.

Por otra parte, la disponibilidad de información es casi complementaria entre las ciudades de Guanajuato (Salamanca y Silao) y las de Baja California (Rosarito y Tecate), de las cuales sí se muestran las gráficas. En las ciudades de Guanajuato no se cuenta con información previa a 2007, mientras que en las de Baja California solo se cuenta con información hasta 2004 o 2005.

Por lo anterior, es difícil distinguir una tendencia definida en alguna de estas ciudades. En Salamanca y Silao se observa que las concentraciones se han mantenido casi constantes durante los últimos tres años. En cambio, en Rosarito y Tecate las concentraciones parecen ser más variables, sobre todo el percentil 90.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de concentraciones diarias.
S.M. = Sin medición.
S.I. = Sin información en el INE.

Nota: no se incluyeron las gráficas de Celaya, Irapuato y Gómez Palacio y Lerdo debido a que no fue posible calcular los indicadores para más de dos años consecutivos.
En los casos de Salamanca y Silao se usó la información proveniente de los equipos automáticos para el cálculo de los indicadores, mientras que para Rosarito y Tecate se usó la de los equipos manuales.

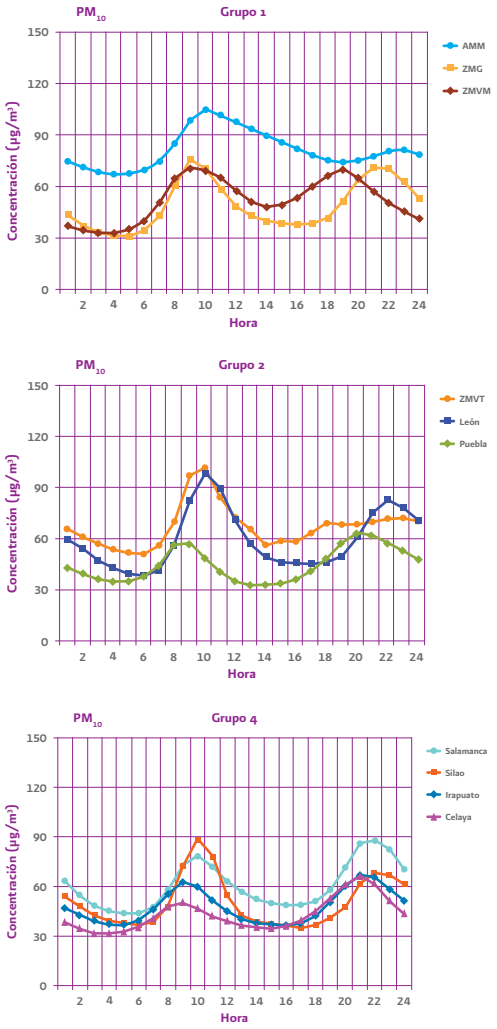
PM_{10}

• Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año

Las siguientes figuras ilustran el comportamiento de los contaminantes en diferentes escalas temporales. En cada caso se indica la procedencia de los datos utilizados para el cálculo. La figura 1.12 contiene los promedios del periodo 2000-2009 de los datos de cada hora del día.

En este caso, solo se muestran las gráficas de las redes que cuentan con monitoreo automático. Las excepciones son Mexicali y Tijuana, que cuentan con monitoreo automático y manual, pues la correlación entre ambos tipos de datos es muy baja (0.15 en 2008 para Mexicali, y 0.3 para Tijuana en 2007), lo que sugiere evitar el uso de la información proveniente de los equipos automáticos en estos casos, por lo cual estas ciudades no se incluyen en las gráficas.

Figura 1.12 Comportamiento durante el día



En estas figuras se aprecia un comportamiento similar en casi todas las ciudades: las concentraciones se elevan en dos momentos durante el día. Con algunas variantes menores, las concentraciones más elevadas se presentan por la mañana (entre las 7:00 y las 11:00 horas) y por la tarde-noche (de las 18:00 a las 22:00 horas), coincidiendo con las horas de más actividad vehicular. Este mismo comportamiento se ha detectado en otras ciudades, como William Lakes en Estados Unidos, Channai en la India y Burgos en España (Schutte *et al.,* 2003; Srimuruganandam *et al.,* 2010; Minguito, 2010).

No obstante, en las zonas metropolitanas de Monterrey y Toluca este patrón no se cumple del todo, pues las concentraciones más elevadas se registran entre las 9:00 y las 12:00 horas, pero no se observa un aumento tan evidente durante la tarde-noche como en las demás ciudades. Esto puede obedecer a que, además de la actividad vehicular, existen otras fuentes importantes de PM_{10}. También es notable que en estas dos ciudades se presentan las concentraciones máximas más altas de todas las ciudades.

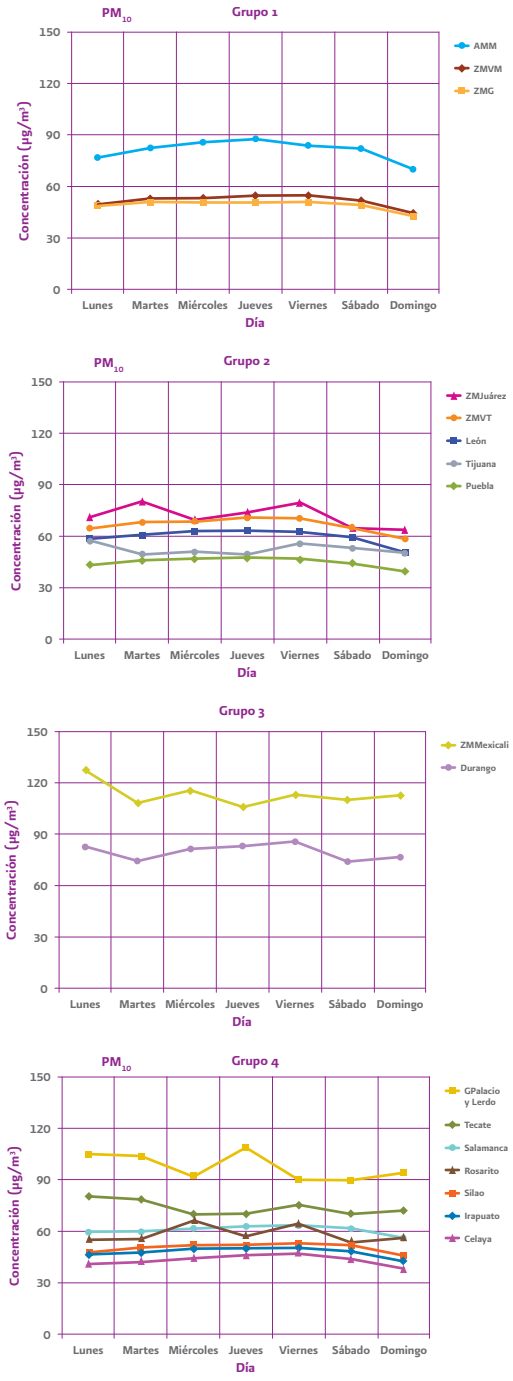
En la figura 1.13 se incluyen los promedios calculados para cada día de la semana con base en los datos validados disponibles del periodo 2000-2009. En este caso se incluye la información obtenida de los equipos automáticos de Guadalajara, Monterrey, Toluca, León, Puebla, Silao, Salamanca, Irapuato y Celaya (promedios de 24 horas), así como los datos de equipos manuales de Juárez, Mexicali, Tijuana, Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Tecate y Rosarito (muestreos de 24 horas).

Figura 1.13 Comportamiento durante la semana

Se observa en la mayoría de las ciudades que las concentraciones más altas de PM_{10} se registran a media semana, pero son muy similares de lunes a viernes y se reducen el fin de semana. Esto mismo se ha observado en varios estudios llevados a cabo en la ciudad de México (Stephens *et al.*, 2008) y el sur de California en Estados Unidos (Qin *et al.*, 2004). Empero, en Mexicali, Gómez Palacio y Lerdo, Tijuana, Tecate y Rosarito, el patrón es distinto y no es homogéneo, lo que probablemente se deba a la diversidad de fuentes de PM_{10} entre las ciudades.

Las concentraciones más altas se observan en Mexicali, Monterrey y Durango.

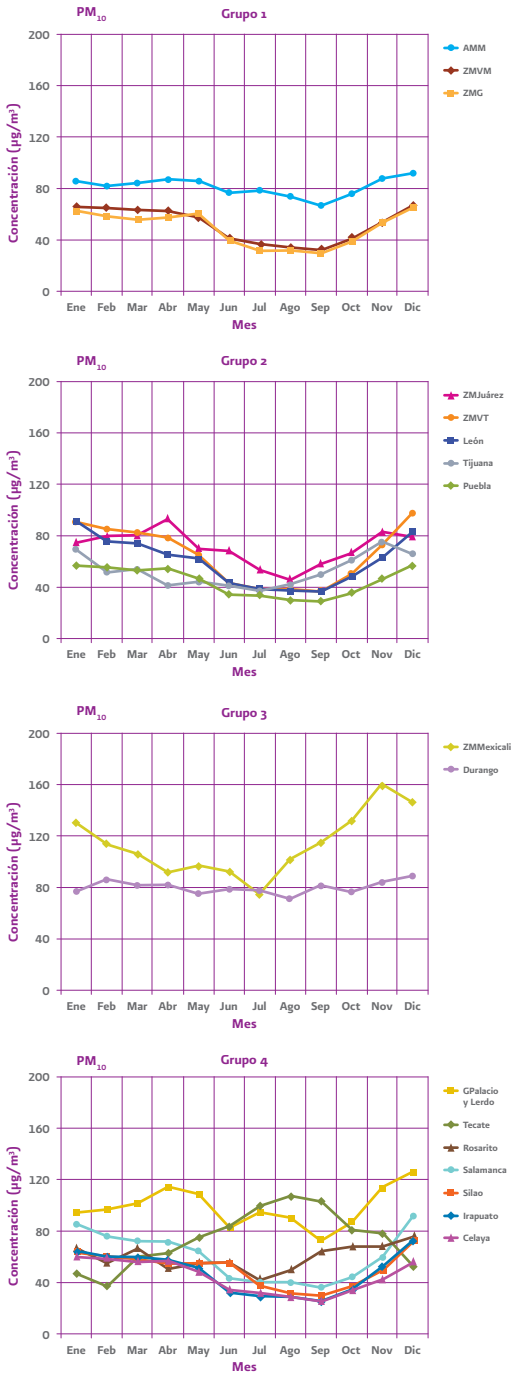
En la figura 1.14 se muestra el comportamiento mensual de las PM_{10} en los cuatro grupos. En este caso se incluye la información obtenida de los equipos automáticos de Guadalajara, Monterrey, Toluca, León, Puebla, Silao, Salamanca, Irapuato y Celaya (promedios mensuales de los promedios de 24 horas), así como los datos de equipos manuales de Juárez, Mexicali, Tijuana, Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Tecate y Rosarito (promedios mensuales de los muestreos de 24 horas).



PM_{10}

Figura 1.14 Comportamiento durante el año (2000-2009)

La pauta que marcan estas gráficas es consistente con el comportamiento esperado de las PM_{10}. Las concentraciones más altas se dan en el invierno, y en la época de lluvias se reducen drásticamente por la retención y el arrastre en las gotas de lluvia, lo que limpia las PM de la atmósfera. Existen cuatro ciudades que no siguen este comportamiento: la ZM de Mexicali, Durango, Gómez Palacio y Lerdo y Tecate. Esto probablemente se deba a factores meteorológicos distintos. Por ejemplo, en Tecate el promedio de lluvia en los meses de octubre a abril fue de 44 mm, y de mayo a septiembre de apenas 3 mm (CNA, 2010).



PM$_{2.5}$

PM$_{2.5}$: indicadores de la calidad del aire (2003-2009)

En esta sección se presentan los indicadores de las PM$_{2.5}$ en las zonas metropolitanas que realizan mediciones de este contaminante desde 2003: la ZMVM, el AMM y la ZM de Mexicali. Las PM$_{2.5}$ también pueden medirse con equipo automático o manual, pero solo en el caso de la ZMVM la medición se realiza con ambos tipos de equipo, mientras que en el AMM y la ZM de Mexicali se mide únicamente con equipos automáticos. Por lo tanto, en el caso de la ZMVM se utilizaron los datos provenientes de los equipos manuales para el cálculo de los indicadores relacionados con los límites especificados en la NOM, y los datos provenientes de los equipos automáticos para el resto de los indicadores.

• Evaluación del cumplimiento de la NOM (2003-2009)

En la figura 1.15 se muestran los indicadores promedio anual y percentil 98, que se comparan con los límites establecidos en la NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005).

Figura 1.15 Cumplimiento de las normas anual y de 24 h

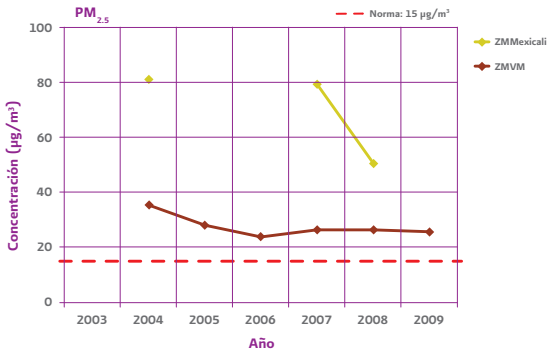
Límite anual (promedio aritmético anual)

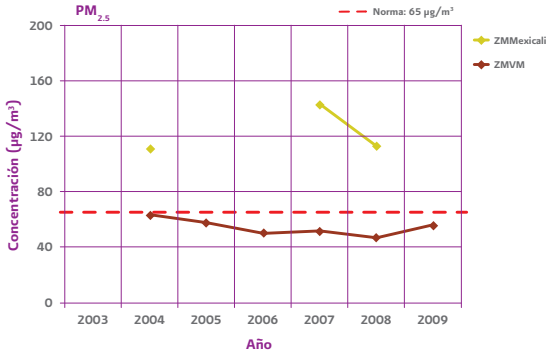
De las tres zonas metropolitanas que cuentan con monitoreo de PM$_{2.5}$, solo fue posible evaluar la norma con los datos de las zonas metropolitanas de Mexicali y el valle de México en distintos años, pues no se contó con la información suficiente para tal efecto en el AMM.

Esta norma no se cumplió en ninguno de los años en los que se calcularon los indicadores. En Mexicali se observan valores muy superiores al límite, mucho más altos que los de la ZMVM. En esta última destaca una tendencia aparentemente creciente en las concentraciones de los últimos cuatro años.

Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Tampoco fue posible conocer el estado del cumplimiento de esta norma en el AMM. En Mexicali se observa que la norma no se cumplió en los tres años en los que fue posible realizar el cálculo. A pesar de que se observa que el límite se ha cumplido en la ZMVM en todos los años, parece que las concentraciones han aumentado en el último año, pues se sitúa muy cerca del límite. Es de esperarse que, si el indicador de la norma anual sigue aumentando, en este indicador se registren valores por encima de la norma de 24 horas.





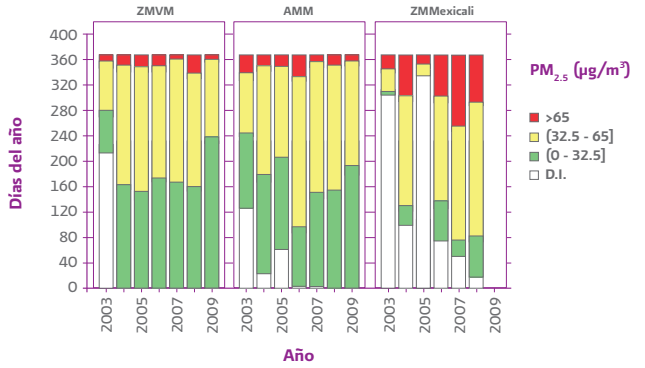
$PM_{2.5}$

• Días con calidad del aire buena, regular y mala (2003-2009)

En la figura 1.16 se ilustra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala, con respecto a la concentración de $PM_{2.5}$, de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.3.2 del capítulo de metodología para este contaminante. Debido a las diferencias en los criterios de suficiencia de información para el cálculo de los indicadores, en este caso sí fue posible calcular el correspondiente al AMM, pues el criterio es menos estricto que el del indicador precedente.

Figura 1.16 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala

Es notable la falta de información disponible en Mexicali en los primeros años de operación de la estación de monitoreo donde se mide este contaminante, aunque se admite una mejoría en los últimos tres años con mediciones. Sin embargo, en 2009 no se realizaron mediciones. En esta zona metropolitana se advierten más días con mala calidad del aire en comparación con las otras dos ciudades. Por el contrario, en la ZMVM se advierten más días en verde, si bien no se considera libre de contaminación con $PM_{2.5}$, pues se ha registrado un número importante de días en amarillo, lo cual sugiere tener precaución. En el AMM ha aumentado la proporción de días con color verde, y se han reducido los días con amarillo y rojo, pero todavía se presentan.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.

$PM_{2.5}$

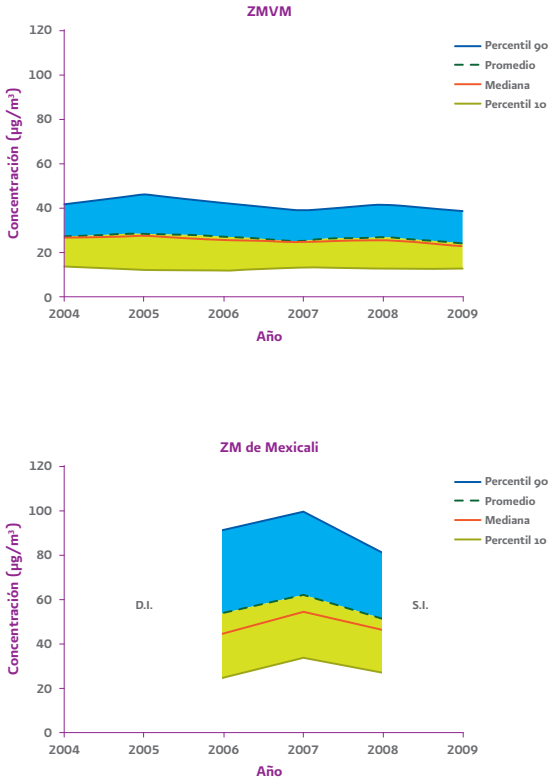
• Tendencia de las concentraciones diarias (2004-2009)

En la figura 1.17 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis. La gráfica del AMM no se muestra debido a la falta de datos suficientes para generar los indicadores.

Figura 1.17 Tendencia de las concentraciones diarias

Solo en la ZMVM se contó con datos suficientes para todo el periodo. En esta zona metropolitana se aprecia que no hay mucha diferencia entre las concentraciones que se registraron entre 2004 y 2009.

Por otra parte, en la ZM de Mexicali solo fue posible generar los indicadores para tres años consecutivos (2006 a 2008). Durante este periodo no se aprecia una tendencia clara, pero se observa una reducción del percentil 90 y del promedio de las concentraciones; es difícil determinar si se trata de una tendencia. Esta es la zona metropolitana que exhibe concentraciones muy superiores a las imperantes en la ZMVM.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de concentraciones diarias.
S.I. = Sin información en el INE.

$PM_{2.5}$

• Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año (2004-2009)

En la figura 1.18 se ilustra el comportamiento de las $PM_{2.5}$ en el tiempo. En la primera gráfica se muestra el comportamiento hora a hora, en la segunda en los días de la semana, y en la tercera mes a mes. Cabe mencionar que la información de la ZMVM, el AMM y la ZM de Mexicali corresponde al periodo 2004-2009, debido a la poca información que se generó en el primer año de medición (2003).

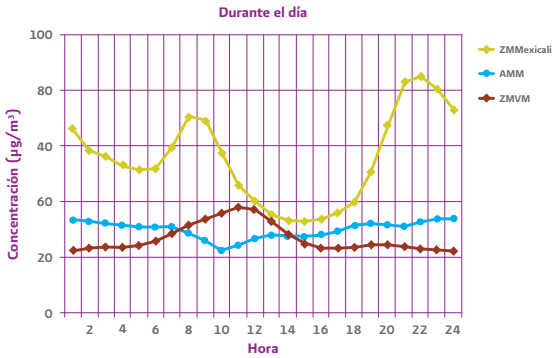
Figura 1.18 Comportamiento en el tiempo

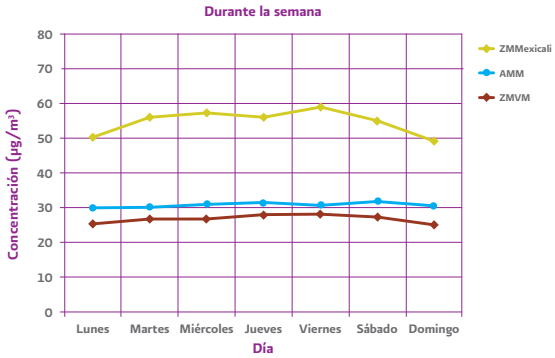
En este caso no se observa un comportamiento homogéneo, probablemente debido a que las $PM_{2.5}$ se transportan fácilmente, dependiendo de la dirección, la velocidad y la intensidad del viento. Asimismo, dado que una gran parte de las $PM_{2.5}$ pueden ser secundarias (producto de reacciones químicas en la atmósfera), es más difícil observar un patrón característico en las tres ciudades, pues muy probablemente la naturaleza de las $PM_{2.5}$ en los tres sitios es muy diversa.

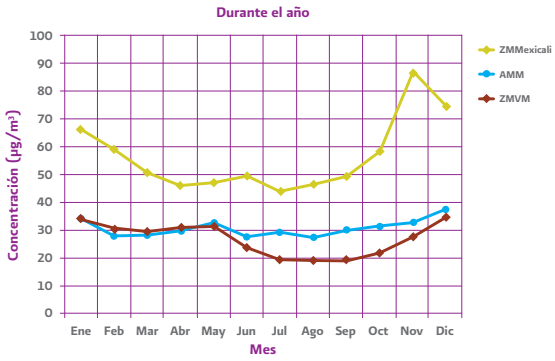
Por ejemplo, en Mexicali pareciera que las concentraciones obedecen el patrón de la actividad vehicular en la ciudad (bimodal). Por el contrario, en la ZMVM el comportamiento es unimodal, pues las concentraciones máximas se presentan cerca del mediodía, inversamente a lo que se observa en el AMM. En términos de la magnitud de las concentraciones, es notable cómo en Mexicali son superiores, por mucho, a las de las otras dos zonas metropolitanas.

La ZMVM y el AMM presentan un comportamiento muy similar con muy poca variabilidad entre las concentraciones promedio de los días de la semana. Por el contrario, en Mexicali las concentraciones más altas se dieron los días viernes. Es notable que en Mexicali se registraron concentraciones notoriamente más elevadas que en las otras dos ciudades, y que en la ZMVM los valores son los más bajos. De manera similar a lo comentado en el indicador anterior, es difícil determinar el origen de este comportamiento, por la complejidad de las $PM_{2.5}$ y la diversidad de su origen.

El comportamiento mensual de las $PM_{2.5}$ para las tres zonas metropolitanas es parecido, con menores concentraciones en los meses de lluvia, de julio a septiembre, y mayores concentraciones en los meses fríos y secos del año. De las tres ciudades que pudieron graficarse, Mexicali tiene las concentraciones promedio mensuales más altas que todas las demás ciudades.







Ozono (O_3)

El ozono pertenece a un grupo de contaminantes atmosféricos denominados "secundarios" porque no son emitidos como tales, sino que son producto de reacciones que ocurren en la atmósfera. En el caso del O_3, las sustancias que contribuyen a su formación son el bióxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, especialmente el metano y los compuestos orgánicos insaturados. Las concentraciones ambientales de ozono dependen también de diversos factores meteorológicos, como la incidencia de luz solar, el grado de mezclado entre las capas de la atmósfera, la altura de la capa de mezclado, etc. Una vez que se forma, el ozono puede viajar grandes distancias, de acuerdo con la dirección y la intensidad del viento, por lo que las concentraciones de este contaminante en zonas urbanas normalmente no son homogéneas.

Los impactos negativos en la salud que han sido identificados como resultado de la exposición aguda al ozono son efectos en el sistema pulmonar (alteraciones en la función pulmonar y agotamiento de las defensas antioxidantes de las vías respiratorias), en el sistema cardiovascular, y en morbilidad y mortalidad generales. Los impactos crónicos son la reducción de la función pulmonar, desarrollo de aterosclerosis y de asma, y reducción de la esperanza de vida. Estos efectos se han asociado con concentraciones atmosféricas de ozono comunes en grandes zonas urbanas y, al igual que en el caso de las PM, aún no se ha encontrado un umbral por debajo del cual no se presenten efectos (WHO, 2006).

Con base en la evidencia científica proporcionada por numerosos estudios epidemiológicos, la OMS establece las pautas para la protección de la salud relacionadas con la calidad del aire que respira la población. Con respecto al ozono, la OMS recomienda a todos los países que adopten como límite máximo el valor de 100 µg/m³ (0.467 ppm) como máximo diario para la concentración promedio móvil de 8 horas. De la misma manera que para otros contaminantes, la misma organización exhorta a los países donde no se cumplan los valores recomendados a que establezcan un plan de manera que gradualmente se cumpla un objetivo intermedio (denominado IT-1) a fin de alcanzar, en el menor tiempo posible, el límite recomendado (WHO, 2006).

Diagnóstico de México

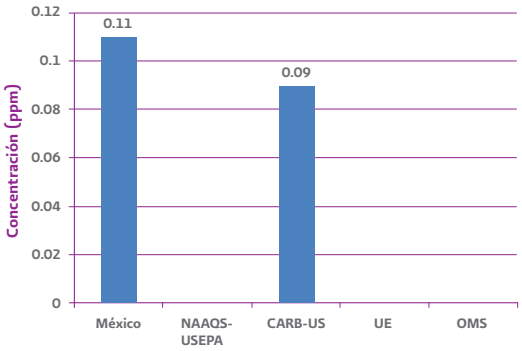
• Normatividad

Las figuras 1.19a y 1.19b muestran cómo el límite máximo de concentración promedio móvil de ocho horas en México (171.2 µg/m³ o 0.08 ppm)[3] es un 70% superior al límite recomendado de la OMS, y también sobrepasa los límites establecidos en la normatividad estadounidense y europea. La norma mexicana es también un 7% más laxa que el objetivo intermedio IT-1 de 160 µg/m³ de la OMS. En lo que respecta al límite máximo de una hora, el mexicano es menos estricto que el establecido en California, aunque exige más que el estándar nacional de Estados Unidos. No existe recomendación de la OMS con respecto a este lapso, y la Unión Europea no cuenta con un estándar similar.

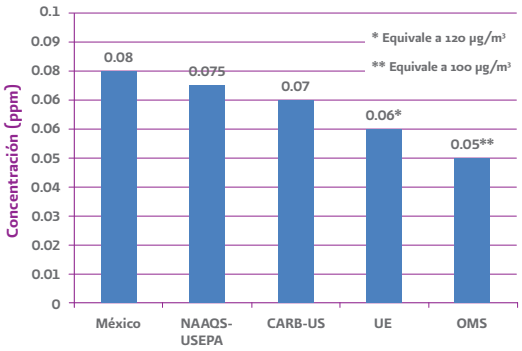
3 Este límite solo puede excederse 4 veces en un año calendario.

Figuras 1.19 Límites de concentración recomendados por la OMS para el O_3, y comparación con la normatividad de México, Estados Unidos (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y la Unión Europea

1.19a O_3, 1 hora



1.19b O_3, 8 horas



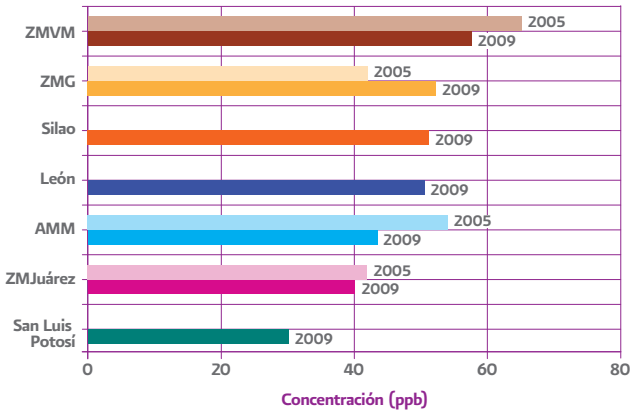
Fuente: NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002)
NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards. http://www.epa.gov/air/criteria.html
CARB-US. California Environmental Protection Agency. http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf
UE. Unión Europea. http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
OMS – Organización Mundial de la Salud – http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

• Exposición de la población al O_3 en 2009

Si bien este contaminante se mide en muchas estaciones de monitoreo en el país, solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 16 redes. Sin embargo, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 en estas ciudades solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en siete de ellas: Silao, San Luis Potosí, León, y las zonas metropolitanas de Juárez, Monterrey, Guadalajara y el valle de México. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009, ya sea porque la información disponible no fue suficiente o porque no se realizaron mediciones en ese año.

La figura 1.20 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de ese capítulo. Donde fue posible, se incluyeron en la gráfica los valores que fueron estimados en 2005, para efectos de comparación (Zuk *et al.*, 2007). Al tratarse de promedios, estos valores no reflejan la variabilidad geográfica de la exposición en cada ciudad; ésta se muestra en los capítulos que describen la situación específica de cada localidad.

Figura 1.20 Exposición de la población al O_3 (CPAPP en ppb 2005, 2009)



O_3

De acuerdo con la figura 1.20, durante 2009 los habitantes de la ZMVM estuvieron expuestos a una mayor concentración de ozono que los de cualquier otra ciudad, aunque se observa una disminución del 13% con respecto a 2005. Ahora bien, la exposición en esta megalópolis es solo un 8% mayor que la que experimentaron en promedio los habitantes de la ZMG y también los de León, a pesar de que esta última es una ciudad mucho más pequeña que Guadalajara. En esta última, la situación ha empeorado en comparación con 2005, pues la exposición a ozono aumentó de 42 ppb a 52 ppb, casi un 25% en cuatro años.

En contraste, los habitantes de San Luis Potosí solo estuvieron expuestos en promedio a un poco más de la mitad de la concentración de ozono que los de la ZMVM, y es la única ciudad, de las siete graficadas, donde se cumplió la norma correspondiente en 2009.

• Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación con O_3 en 2009

En el cuadro 1.4 se muestra el resultado de la clasificación de seis ciudades y zonas metropolitanas, con respecto a su grado de contaminación con ozono. De las siete ciudades con información sobre exposición en 2009, no fue posible hacer la clasificación de Juárez, pues no se contó con suficiente información para realizar el cálculo de alguno de los indicadores involucrados en el procedimiento que se describe en la sección 3.7 de la metodología. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó para todas las ciudades donde se mide el O_3.

Las dos ciudades más contaminadas en 2009 fueron las zonas metropolitanas del valle de México y Guadalajara, lo que se refleja en todos los indicadores que se exhiben en las secciones subsecuentes. La situación en León, a pesar de ser una ciudad más pequeña, es más preocupante que la de Monterrey, al menos con respecto al ozono, lo que no deja de sorprender.

En contraste, Silao y San Luis Potosí fueron las ciudades menos contaminadas en ese año. Sin embargo, solo en San Luis se cumplió con la norma en ese año, así que Silao no está del todo libre de problemas. Los indicadores también sugieren situaciones serias de contaminación en Toluca y en la zona metropolitana de Juárez entre 2000 y 2008, pero éstas no pudieron ser clasificadas por falta de información suficiente en 2009. Ya sea por falta de medición, por contar con datos insuficientes o porque los datos de 2009 no fueron proporcionados al INE, no fue posible establecer un diagnóstico con respecto al ozono del resto de las ciudades del país. En cuanto a San Luis Potosí, si bien resulta ser la sexta ciudad en la clasificación por la ausencia de datos de otras ciudades, todos los indicadores calculados apuntan a que esta ciudad no tiene problemas de contaminación con O3, por lo que se optó por dejarla sin clasificar (S.C.).

O_3: indicadores de la calidad del aire (2000-2009)

El ozono se mide con equipo automático en 16 redes de monitoreo que pertenecen a León, Puebla, Tijuana, San Luis Potosí, Tecate, Irapuato, Salamanca, Celaya, Silao, Rosarito, y a las zonas metropolitanas de Guadalajara, valle de México, Monterrey, valle de Toluca, Juárez y Mexicali. El equipo automático proporciona concentraciones de manera horaria, y éstas se procesan para obtener los indicadores de la calidad del aire que se muestran a continuación, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia descritos en la metodología.

• Evaluación del cumplimiento de la NOM del O_3

En las figuras 1.21 y 1.22 se presentan, de cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002).

Cuadro 1.4 Clasificación de las ciudades según su grado de contaminación con O_3 (2009)

Zona metropolitana/ciudad	Clasificación
ZMVM	1°
ZMG	2°
León	3°
AMM	4°
Silao	5°
San Luis Potosí	S.C.

S.C.= Sin clasificar

O_3

Figura 1.21 Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

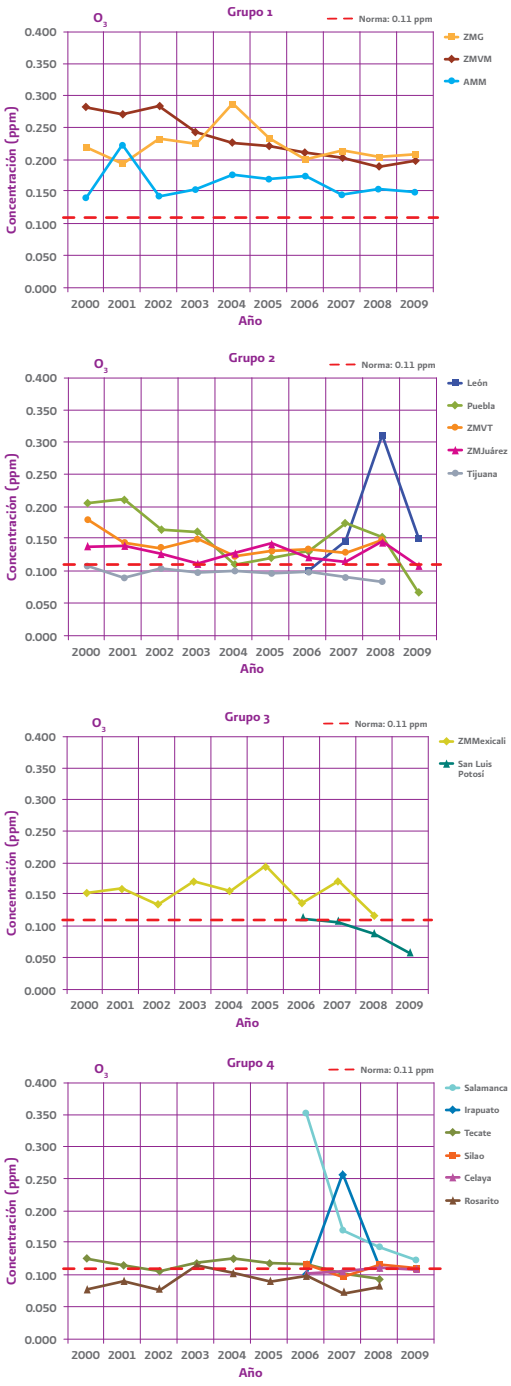
De manera similar al caso de las PM, la información disponible de las mediciones de ozono para evaluar el cumplimiento de esta norma en todo el periodo fue suficiente solo en las zonas metropolitanas del grupo 1. En especial, destaca que en dos redes del estado de Baja California solo se contó con información suficiente para evaluar si se cumplió la norma durante un año de todo el periodo.

Esta norma solo se cumplió en los años más recientes en San Luis Potosí, Rosarito y Silao. En las tres grandes zonas metropolitanas se rebasó el límite en prácticamente todo el periodo de análisis; la excepción es el AMM en 2001. En el grupo 1 se dieron las concentraciones más altas de todo el periodo, y la más alta ocurrió en la ZMVM, seguida por las de la ZMG, el AMM y, en los últimos años, León. En el resto de las ciudades las concentraciones fueron más bajas, cercanas al límite.

La ZMVM muestra una tendencia claramente decreciente, así como San Luis Potosí, Rosarito, y en menor medida Silao. Por el contrario, en la ZMG la problemática con respecto al ozono ha empeorado en los últimos años, especialmente en 2009, cuando se registró un valor 70% superior al límite. En León se presentó una situación similar, pues en los últimos tres años las concentraciones han crecido más del 25%. En las demás ciudades es difícil establecer un diagnóstico sobre la tendencia de este indicador, ya sea porque son redes cuya operación es muy reciente o porque no hay suficientes datos para hacer afirmaciones.

O_3

Figura 1.22 Límite de una hora (máximo horario)



En este caso fue posible calcular el indicador de más ciudades en más años, pues los criterios de suficiencia de información varían con respecto al indicador anterior.

Esta norma de exposición aguda solo se cumplió, de manera más o menos frecuente, en Tijuana, San Luis Potosí y Rosarito.

Los valores más altos de este indicador corresponden a la ZMG, que desde 2007 supera a la ZMVM, aunque los valores de ambas ciudades son muy similares. Junto con Monterrey, Mexicali y León comparten más o menos las mismas concentraciones. Por otra parte, las ciudades y zonas metropolitanas de los grupos 2 y 4 reportan concentraciones cercanas al límite.

En las gráficas se observan dos ciudades en las que se presentaron valores extraordinariamente altos de ozono en un año del periodo: León y Salamanca, pero se desconoce la causa.

La ZMVM es el único lugar donde se observa una tendencia decreciente, aunque en San Luis Potosí y en Salamanca también se aprecia una reducción en los últimos años.

O_3

• Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2009)

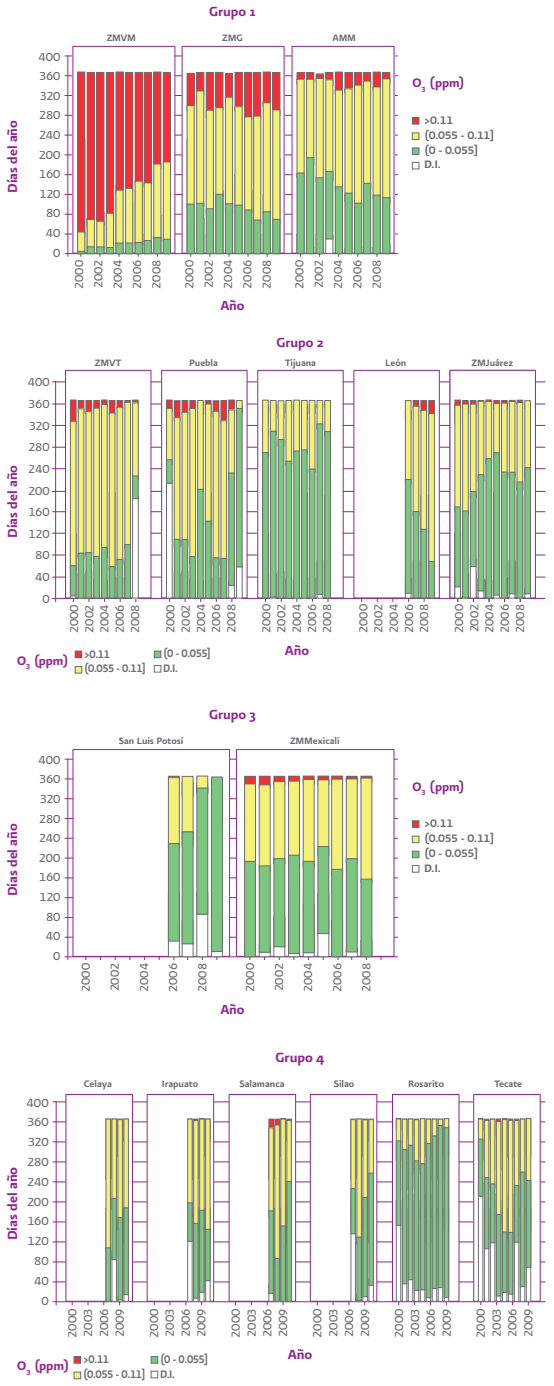
En la figura 1.23 se ilustra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala, con respecto a la concentración de O_3, de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.3.2 del capítulo 22 para este contaminante.

Figura 1.23 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala

La información para determinar la calidad del aire en cada día del periodo fue suficiente en casi todas las ciudades en la mayoría de los años. Las excepciones se presentaron en las redes de monitoreo de Baja California: Tijuana, Mexicali, Rosarito y Tecate, donde no se midió este contaminante en 2009. En Toluca no se midió en 2009, y en 2008 solo se pudo determinar la calidad del aire en el 50% de los días.

En la ZMVM se registraron más días con mala calidad del aire que en cualquier otra ciudad. Sin embargo, también en Guadalajara, Puebla, Toluca y León se observan varios días con color rojo en varios años. Por el contrario, en San Luis Potosí, Tijuana, Juárez y Rosarito se aprecia una mayor cantidad de días con color verde, sobre todo en los últimos años.

La escala de colores permite observar una reducción de los días con mala calidad del aire en Juárez, Mexicali y, más notoriamente, en la ZMVM; en esta última se han reducido en más del 50% los días con color rojo. Por el contrario, en León ha aumentado el número de días en rojo y en amarillo. Esta última situación, que también se presenta en Guadalajara, Monterrey e Irapuato, sugiere que en un futuro cercano podría aumentar el número de días en rojo.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.

O_3

• Tendencias de las concentraciones diarias

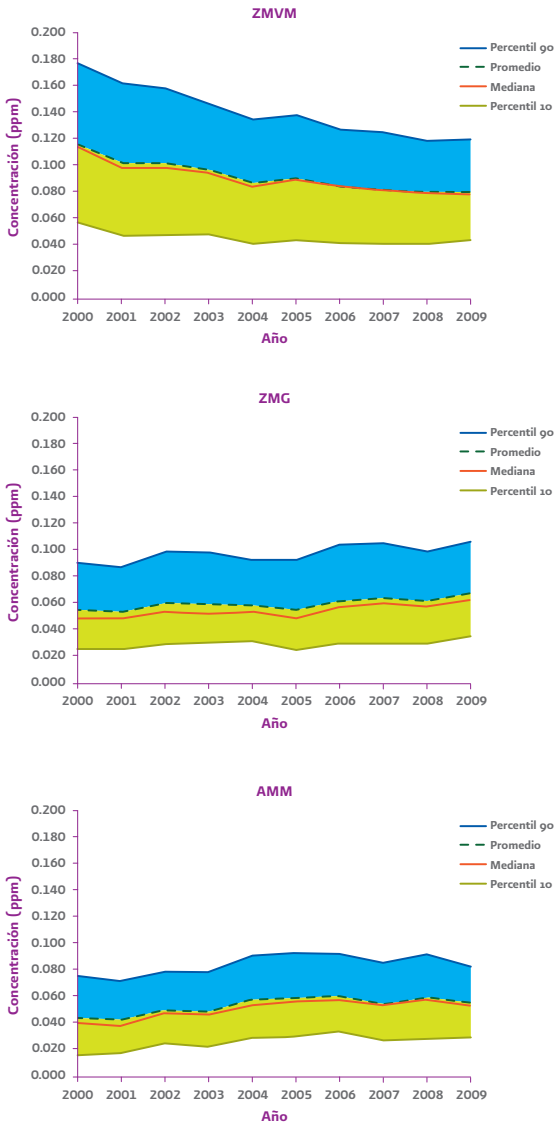
En las figuras 1.24 a 1.27 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis. Se incluye una gráfica para cada ciudad o zona. Las gráficas de la ZM de Mexicali, del grupo 3, y Celaya y Salamanca, del grupo 4, no se muestran debido a que no fue posible calcular los indicadores para más de dos años consecutivos, por falta de datos.

Figura 1.24 Tendencias de los máximos diarios (grupo 1)

Como ocurrió con los indicadores precedentes, en las tres zonas metropolitanas se contó con información suficiente de todo el periodo. En estas gráficas puede observarse que en la ZMVM la posición del percentil 90 corresponde a concentraciones más altas en comparación con el mismo parámetro de las otras dos zonas metropolitanas. Asimismo, se observa que la distribución de las concentraciones es muy simétrica alrededor de la mediana y que, claramente, muestra una tendencia decreciente en todos sus valores.

Por su parte, en la ZMG la distribución no es tan simétrica. La gráfica muestra que el 50% de los valores que se encuentran por encima de la mediana fueron lo suficientemente altos como para desplazar el promedio hacia arriba. Por otra parte, se observa una clara tendencia creciente en todas las concentraciones, y aunque el percentil 90 de esta ciudad se sitúa más abajo que el de la ZMVM, solo es un 20% menor, y se prevé que siga aumentando.

En el AMM la distribución se observa más simétrica, y los valores más altos no son tan altos como en la ZMG, pero desde 2004 se observa que se conserva la misma distribución de concentraciones año con año, con una ligera tendencia creciente en toda la distribución.



O_3

Figura 1.25 Tendencias de los máximos diarios (grupo 2)

La disponibilidad de información fue variable en este grupo. Por una parte, en Toluca y Puebla no fue posible calcular los estadísticos en tres y cuatro años, respectivamente, ya sea por falta de datos suficientes o por ausencia de mediciones. Por otra parte, en León, Tijuana y Juárez la disponibilidad de información fue mayor, salvo en 2009 y 2002 en estas últimas, respectivamente.

Es notable que en Puebla se observa una tendencia creciente en las concentraciones, pero es imposible determinar si ésta continuó o cambió, por la falta de información. En Toluca no se distinguía una tendencia, y se desconoce la situación desde 2006.

Por otra parte, a pesar de que la información de 2009 de Tijuana no está disponible, la magnitud de las concentraciones y su tendencia indican que en esta ciudad la situación es estable desde el año 2000 y sin problemas con este contaminante.

En León, por el contrario, se aprecia una clara tendencia creciente desde el inicio de las operaciones de la red. También se distingue que, en los últimos dos años, la distribución ha ido perdiendo simetría, lo que indica que se han presentado valores muy altos que desplazan el promedio hacia arriba.

En Juárez no se reconocen cambios significativos en las concentraciones diarias desde 2003, salvo en 2009, cuando aparentemente se redujo la ocurrencia de concentraciones por arriba del promedio. En este caso, como en el de Tijuana, la magnitud y la tendencia que muestran las concentraciones no indican problemas serios con respecto a este contaminante.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.M.= Sin medición.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

O_3

Figura 1.26 Tendencias de los máximos diarios (grupo 3)

La gráfica permite distinguir que en esta ciudad, desde su inicio de operaciones, las concentraciones han ido reduciéndose paulatinamente, en consistencia con lo que muestran las gráficas del cumplimiento de la norma.

La información de la ZM de Mexicali no fue suficiente para generar los indicadores para tres años consecutivos.

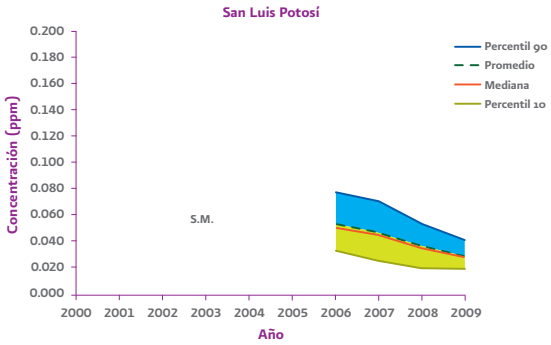


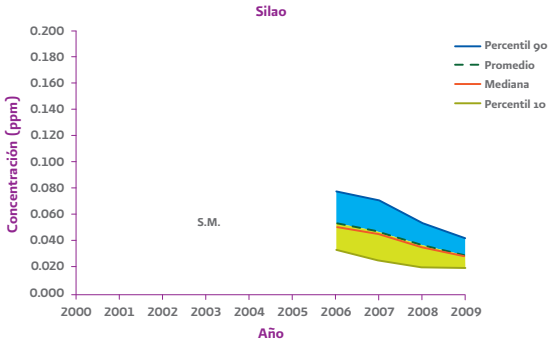
Figura 1.27 Tendencias de los máximos diarios (grupo 4)

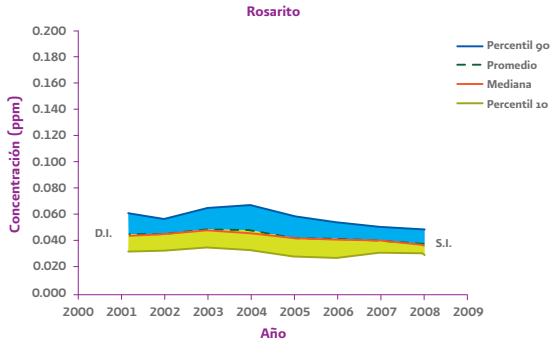
En este grupo la disponibilidad de información durante los primeros años del periodo fue escasa, pero se compensa con los años siguientes, aunque la información de 2009 de las redes del estado de Baja California no está disponible.

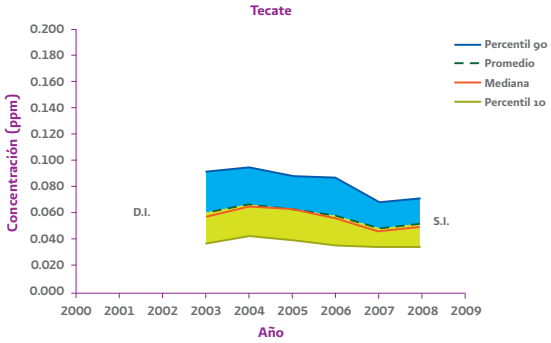
Las concentraciones más altas se registraron en Tecate y las más bajas en Rosarito, aunque en Silao, al inicio de sus operaciones, las concentraciones eran más altas y comparables a las de Tijuana.

Destaca la tendencia decreciente en las concentraciones que se presentan en Silao desde que inició operaciones. Asimismo, en Rosarito y Tecate se observan mejorías en los últimos cuatro o cinco años, aunque es necesario contar con la información de 2009 para determinar con certeza si esta tendencia continúa.

No se incluyen las gráficas de Celaya y Salamanca, pues no contaron con información suficiente para generar los indicadores de tres años consecutivos.







O_3

• Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año

Las siguientes figuras ilustran el comportamiento del O_3 en diferentes escalas temporales.

Figura 1.28 Comportamiento durante el día

Las gráficas de todos los grupos exhiben el comportamiento típico de este contaminante durante el día, que responde básicamente a la actividad vehicular y a la incidencia de luz solar. Los vehículos emiten los precursores de la formación de ozono (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno), que en presencia de la luz solar reaccionan para formar el O_3 o smog fotoquímico. Las concentraciones generalmente se elevan alrededor de las 8:00 o 9:00 horas, y alcanzan sus máximos alrededor de las 14:00 o 15:00 horas, cuando se presenta mayor radiación solar. Posteriormente descienden alrededor de las 20:00 o 21:00 horas.

Si bien el comportamiento es similar en todas las ciudades, la magnitud de las concentraciones es mayor en las tres zonas metropolitanas del grupo 1, sobre todo en la ZMVM. En primera instancia, podría pensarse que la magnitud de las concentraciones horarias obedece al tamaño de la flota, pues en los grupos 3 y 4, en los que se encuentran ciudades y zonas metropolitanas pequeñas, se registraron concentraciones comparativamente más bajas que en los otros grupos. Sin embargo, se aprecia que varias ciudades del grupo 2 cuya flota es menos numerosa, como Toluca y León, exhiben concentraciones máximas muy similares a las que se presentan en las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey.

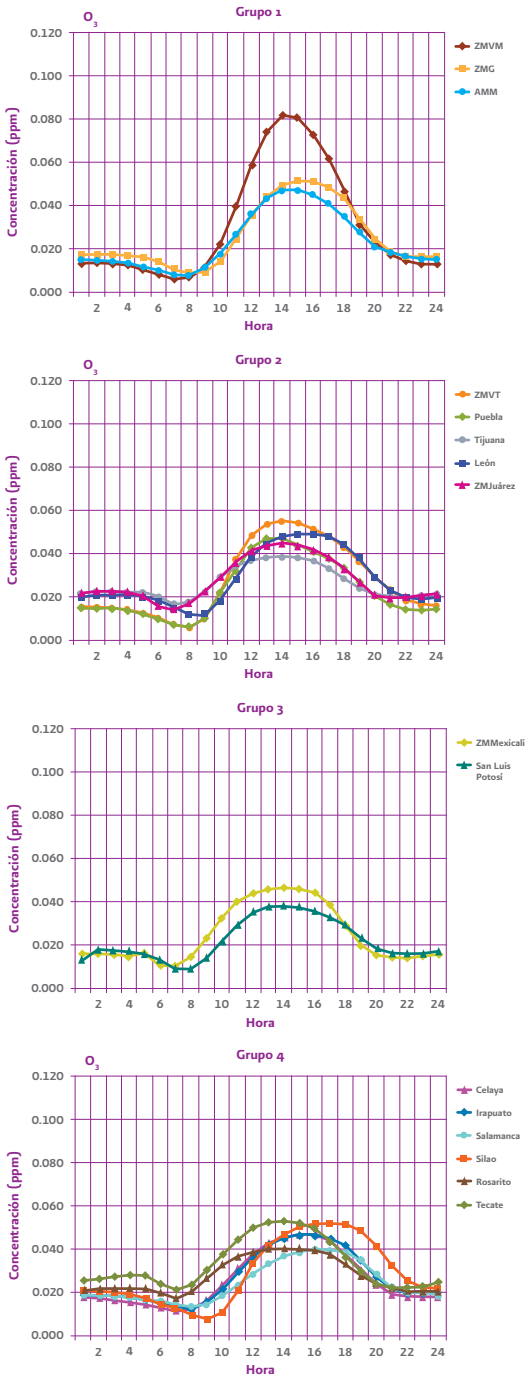
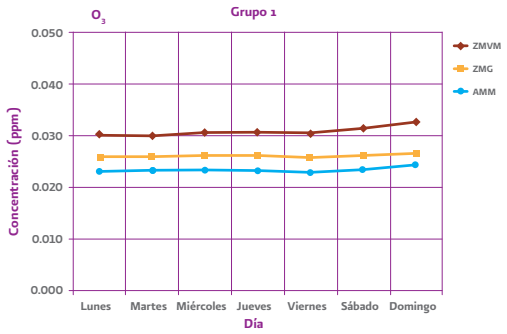
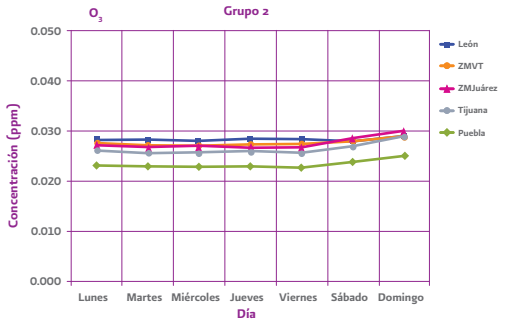


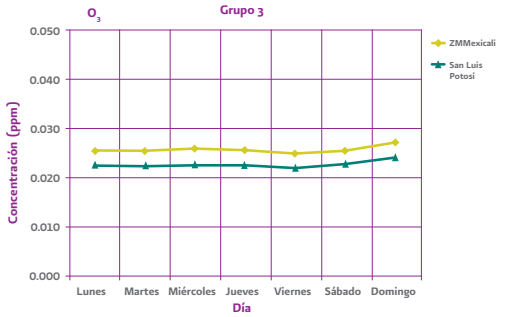
Figura 1.29 Comportamiento durante la semana

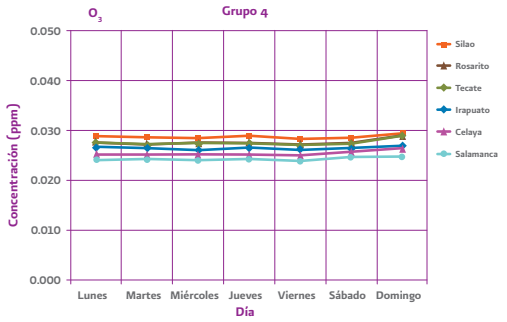
Las gráficas muestran un patrón muy similar en todas las ciudades: concentraciones más o menos constantes de lunes a viernes y ligeramente mayores durante el fin de semana, un poco más elevadas los domingos. Esta situación ha sido detectada recientemente también en otras ciudades del mundo, tales como Los Ángeles, California, en Estados Unidos, y algunas ciudades europeas, y se ha denominado "efecto de fin de semana" (IAL, 2007).

De manera similar a como ocurre con el comportamiento durante el día, la ZMVM exhibe las concentraciones diarias más altas, pero no mucho mayores que las que se dan en las otras dos zonas metropolitanas del grupo 1 o en ciudades comparativamente más pequeñas, como León y Silao. En estas ciudades se registraron concentraciones similares a las de las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey.



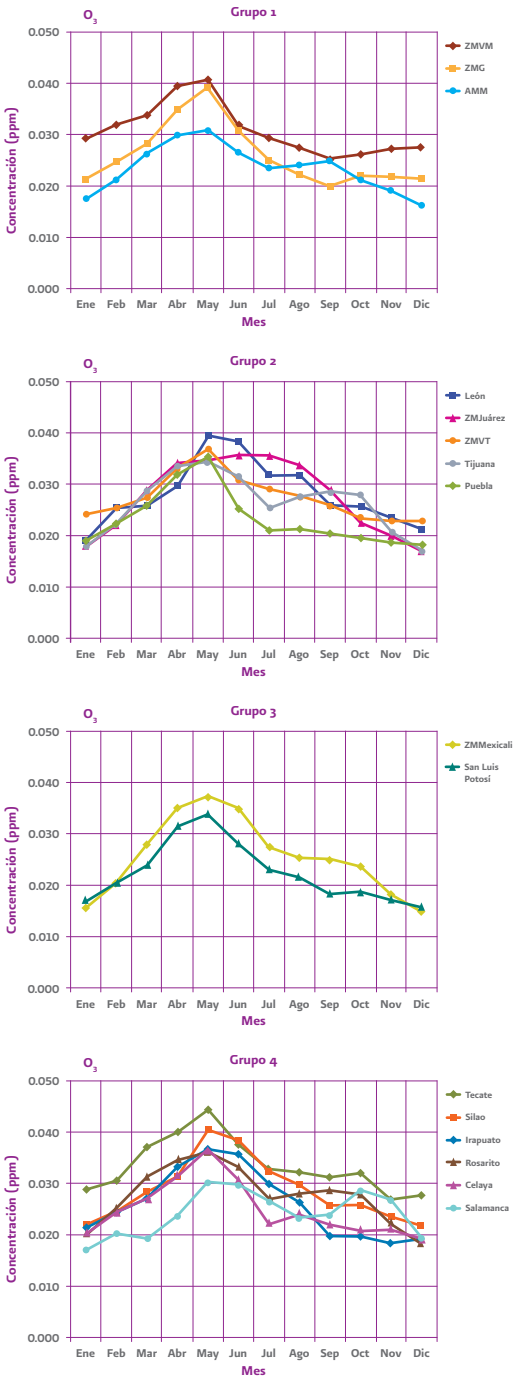






O_3

Figura 1.30 Comportamiento durante el año



Las gráficas exhiben el patrón esperado de las concentraciones de ozono durante el año: los niveles más altos ocurren durante los meses con alta radiación solar y poca lluvia, es decir, la primavera y los primeros meses del verano en el centro del país. Asimismo, las concentraciones disminuyen durante los meses de otoño, probablemente porque la velocidad del viento aumenta y se favorece la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Las concentraciones más bajas de este contaminante se presentan, de manera general, durante los meses invernales. Este comportamiento es común en la mayoría de las ciudades, excepto en la ZM de Juárez, el AMM, Tijuana, Rosarito y Salamanca. Esto puede deberse a patrones meteorológicos distintos de los que se presentan en el centro y el occidente del país.

Como era de esperarse, la ZMVM registró los niveles más altos en todo el año. Empero, es extraordinario que en Tecate, una ciudad pequeña, se registren concentraciones promedio mensuales de la misma magnitud que en la ZMVM y, de hecho, la concentración promedio mensual más alta en Salamanca (correspondiente a mayo) es superior a la concentración promedio mensual más alta de la ZMVM, que también se registró en mayo.

También es notable que las concentraciones promedio mensuales más altas en la ZMG, León, Mexicali y Silao son similares a la que se registró en la ZMVM, a pesar de que se trata de ciudades con tamaños muy diversos.

Bióxido de azufre (SO_2)

El bióxido de azufre es un gas incoloro muy soluble en agua, que puede oxidarse para formar trióxido de azufre (SO_3) y iones sulfato (SO_4), que forman sales inorgánicas y ácido sulfúrico, componentes importantes de las partículas secundarias.

Desde el comienzo de la revolución industrial, el bióxido de azufre y las PM provenientes de la quema de combustibles fósiles son los principales componentes de la contaminación atmosférica en muchas ciudades del mundo, sobre todo aquellas donde se utiliza carbón u otros combustibles que contienen azufre. Las principales fuentes naturales de SO_2 son los volcanes, pero el uso de combustibles fósiles en los hogares, en la industria y en los vehículos son, por mucho, más importantes que las fuentes naturales.

De manera similar a lo que ocurre con el NO_2, es difícil distinguir si los impactos negativos en la salud observados en los estudios epidemiológicos se deben únicamente al SO_2 o a la mezcla de contaminantes atmosféricos de la cual forma parte frecuentemente, o si se trata de un indicador de algún otro contaminante, como las partículas ultrafinas. Sin embargo, en un estudio más reciente llevado a cabo en Hong Kong a raíz de la reducción drástica del contenido de azufre en los combustibles, se registraron reducciones importantes de las enfermedades respiratorias infantiles y de la mortalidad general. Al parecer, en el estudio de Hong Kong y en otro llevado a cabo en Londres no se encontraron umbrales por debajo de los cuales no se presenten impactos negativos en la salud de la población, y los impactos observados se dieron en presencia de concentraciones relativamente bajas de SO_2 (5-40 µg/m³). Con esto en mente, la OMS recomienda a todos los países que adopten como límite máximo el valor de 20 µg/m³ (0.008 ppm) para la concentración promedio de 24 horas, y un máximo de 500 µg/m³ (0.188 ppm) para el promedio de diez minutos, pues la evidencia más reciente apunta que la exposición aguda es muy importante. No se recomienda un valor máximo como promedio anual, pues se considera que el cumplimiento con el límite de 24 horas asegura que durante el año, en promedio, se registren concentraciones bajas. De la misma manera que para otros contaminantes, dicha organización exhorta a los países donde no se cumplan los valores recomendados a que establezcan un plan de manera que, gradualmente, se cumplan dos objetivos intermedios (denominados IT-1 e IT-2) a fin de alcanzar, en el menor tiempo posible, el límite recomendado (WHO, 2006).

Diagnóstico de México

• Normatividad

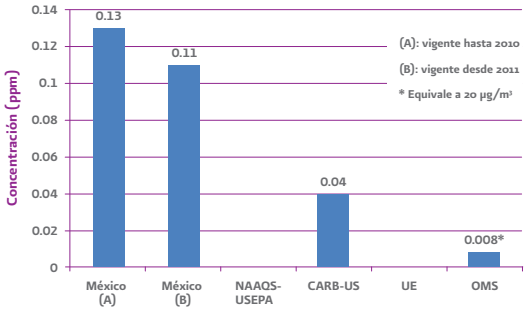
En México, la NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010) especifica como límite máximo de la concentración promedio de 24 horas el valor de 0.110 ppm (292.6 µg/m³), que es 16 veces el valor recomendado (20 µg/m³ o 0.008 ppm) y 2.3 veces el objetivo intermedio IT-1 de 125 µg/m³ (0.047 ppm). Las figuras 1.31a y 1.31b muestran una comparación entre la normatividad mexicana y otras normatividades en la materia. Por ejemplo, en la normatividad federal estadounidense, desde 2010 se eliminaron los límites del promedio de 24 horas y del promedio aritmético anual, pero se añadió un nuevo límite de una hora. El estado de California cuenta con un límite de 24 horas más estricto, que se sitúa entre el IT-1 y el IT-2 (0.016 ppm). Ahora bien, en este documento, para efectos de evaluar el cumplimiento de la normatividad, se utilizaron como referencia los límites establecidos en la norma NOM-022-SSA1-1993 (DOF, 1994b) que estuvo vigente durante los años 2000 a 2009 (México [A]). En dicha

norma, el límite para el promedio de 24 horas se alejaba aún más de las recomendaciones de la OMS, pues era de 345.8 µg/m³ (0.13 ppm)[4], casi tres veces el valor recomendado.

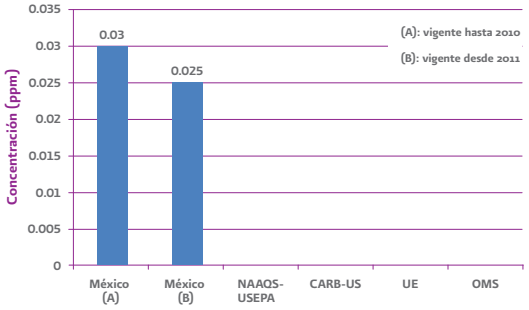
Como puede observarse, solo en México se cuenta con un límite para la concentración promedio anual. La normatividad estadounidense solo cuenta con estándares para una y tres horas; en California y en la Unión Europea se estipulan límites para una y 24 horas. Ninguno de los países y regiones considerados en esta gráfica ha establecido un límite para 10 minutos, como lo indica la recomendación de la OMS.

Figuras 1.31 Límites de concentración recomendados por la OMS para el SO_2 y comparación con la normatividad de México, Estados Unidos (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y la Unión Europea.

1.31a SO_2, 24 horas



1.31b SO_2, promedio aritmético anual



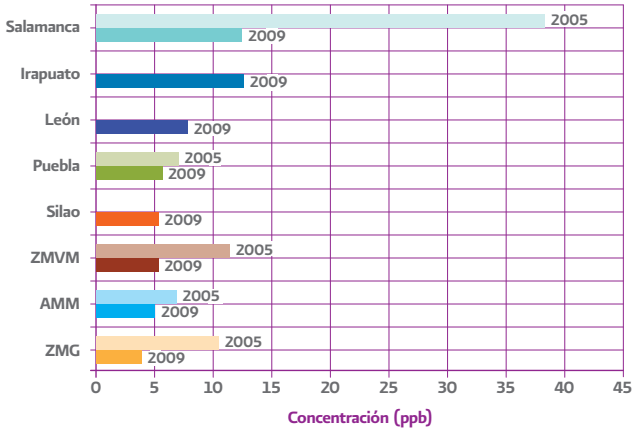
4 Este valor puede excederse una vez en cada año calendario.

Fuente: NOM-022-SSA1-1993 (DOF, 1994b)
NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards. http://www.epa.gov/air/criteria.html
CARB-US. California Environmental Protection Agency. http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf
UE. Unión Europea. http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
OMS – Organización Mundial de la Salud – http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

• Exposición de la población al SO_2 en 2009

Si bien este contaminante se mide en muchas estaciones de monitoreo en el país, solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 14 redes. Sin embargo, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en ocho de ellas: Irapuato, Salamanca, León, Puebla, Silao, y las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey y Guadalajara. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009, ya sea porque la información disponible no fue suficiente o porque no se realizaron mediciones en ese año.

Figura 1.32 Exposición de la población al SO_2 (CPAPP en ppb 2005, 2009)



La figura 1.32 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de ese capítulo. Se incluyeron en la gráfica los valores que fueron estimados en 2005, para efectos de comparación.

Al tratarse de promedios, estos valores no reflejan la variabilidad geográfica de la exposición en cada ciudad; ésta se muestra en los capítulos que describen la situación específica de cada localidad.

Como puede observarse, en 2009 la exposición promedio de los habitantes de Salamanca e Irapuato fue muy similar, y superior a la que se sufrió en las demás ciudades que se incluyen en la gráfica. Es notable la reducción del 70% de la exposición en Salamanca en comparación con el indicador calculado en 2005. En Puebla, Monterrey, el valle de México y Guadalajara también se observa una reducción. En estas dos últimas zonas metropolitanas la reducción fue de más del 40% con respecto a la exposición registrada en 2005.

• Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación con SO_2 en 2009

En el cuadro 1.5 se muestra el resultado de la clasificación de siete ciudades y zonas metropolitanas, con respecto a su grado de contaminación con bióxido de azufre. De las ocho ciudades con información sobre exposición en 2009, no fue posible hacer la clasificación de Puebla, pues no se cumplió con suficiente información para realizar el cálculo de alguno de los indicadores involucrados en el procedimiento que se describe en la sección 3.7 de la metodología. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó para todas las ciudades donde se mide el SO_2.

Así, del cuadro se observa que de las siete ciudades que se pudieron comparar, tres ciudades de Guanajuato (Salamanca, Irapuato y León) son las que ocupan los primeros lugares como las más contaminadas por SO_2; las dos primeras fueron las que ocuparon el primer lugar en cada uno de los indicadores utilizados para el indicador compuesto. Silao se ubica en el último lugar como la más limpia, y antes de ésta, las tres grandes zonas metropolitanas en el siguiente orden: ZMVM, AMM y ZMG.

Asimismo, cabe mencionar que Puebla, Celaya, la ZMVT, Tijuana, la ZM de Mexicali y Rosarito no pudieron ser incluidas en el cuadro debido a que no se contó con información suficiente para calcular alguno de los indicadores, o no se realizaron mediciones en 2009, o la información sobre las mediciones de ese año no estuvo disponible.

SO_2: indicadores de la calidad del aire (2000-2009)

El bióxido de azufre se mide con equipo automático en 14 redes de monitoreo que pertenecen a León, Puebla, Tijuana, San Luis Potosí, Irapuato, Salamanca, Celaya, Silao, Rosarito, y a las zonas metropolitanas de Guadalajara, valle de México, Monterrey, valle de Toluca y Mexicali. El equipo automático proporciona concentraciones de manera horaria, y éstas se procesan para obtener los indicadores de la calidad del aire que se muestran a continuación, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia descritos en la metodología.

Cuadro 1.5. Clasificación de las ciudades según su grado de contaminación por SO_2

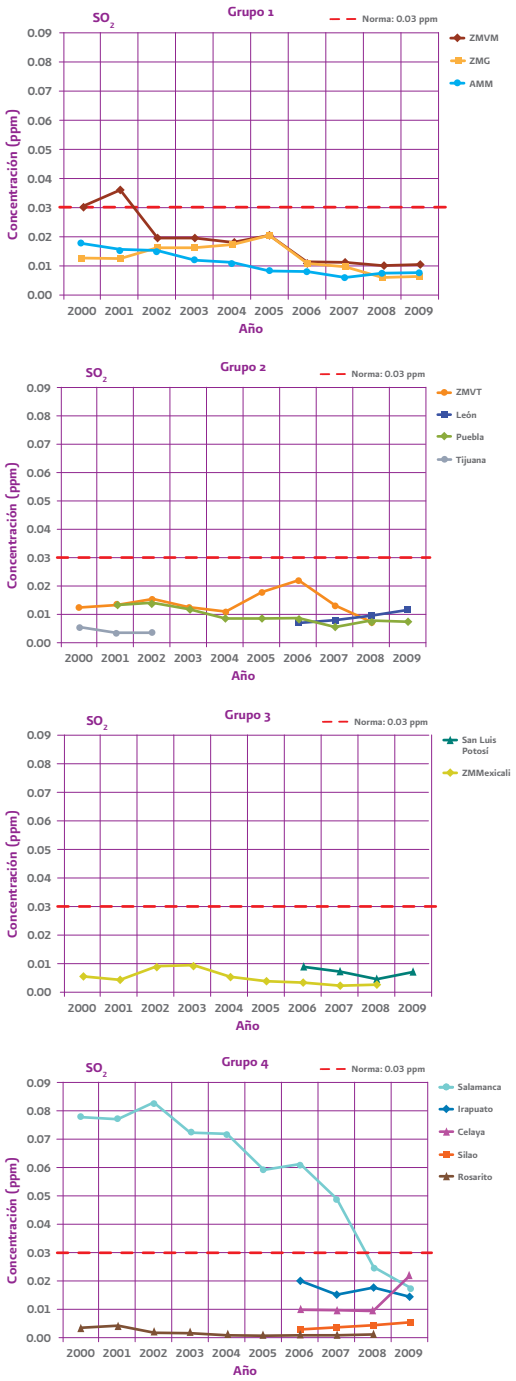
Zona metropolitana/ciudad	Clasificación
Salamanca	1°
Irapuato	2°
León	3°
ZMVM	4°
AMM	5°
ZMG	6°
Silao	7°

SO_2

• Evaluación del cumplimiento de la NOM del SO_2 (2000-2009)

En este apartado se analiza el cumplimiento de los límites anual y de 24 horas de la NOM-022-SSA1-1993 (DOF, 1994b) del SO_2 de las 14 ciudades que miden el contaminante.

Figura 1.33 Límite anual (promedio aritmético anual de las concentraciones horarias)



En este indicador se aprecian más series de tiempo continuas que en los casos de PM y O_3, pues los criterios de suficiencia de datos no son tan estrictos. Aun así, desde 2003 en Tijuana no se contó con información suficiente para calcular el indicador. En varias ciudades y zonas metropolitanas (la ZMVT, Mexicali y Rosarito) no se realizaron mediciones en 2009 o éstas no fueron enviadas al INE.

En todas las ciudades de los cuatro grupos se cumplió con este límite. En todos los grupos la mayoría de las ciudades registraron valores de aproximadamente la mitad del límite anual, a excepción de León en un par de años y, por supuesto, Salamanca.

En Salamanca la tendencia decreciente es muy notoria, pues en los primeros tres años del periodo las concentraciones casi triplicaban el límite, pero fueron reduciéndose paulatina pero constantemente hasta que en 2008 se cumplió la norma. Es más, se observa que las concentraciones pudieran seguir descendiendo, de continuar esta tendencia.

Otras ciudades donde se observa una tendencia a la baja son las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey y Mexicali, aunque la trayectoria no es tan marcada.

En contraste, en algunas ciudades de Guanajuato parece ir en aumento la concentración de este contaminante, específicamente en León, Silao y Celaya. En Irapuato, si bien no se observa una tendencia definida, los promedios registrados en los últimos cuatro años son superiores a los que se registraron para el resto del grupo 4 (excluyendo Salamanca).

SO_2

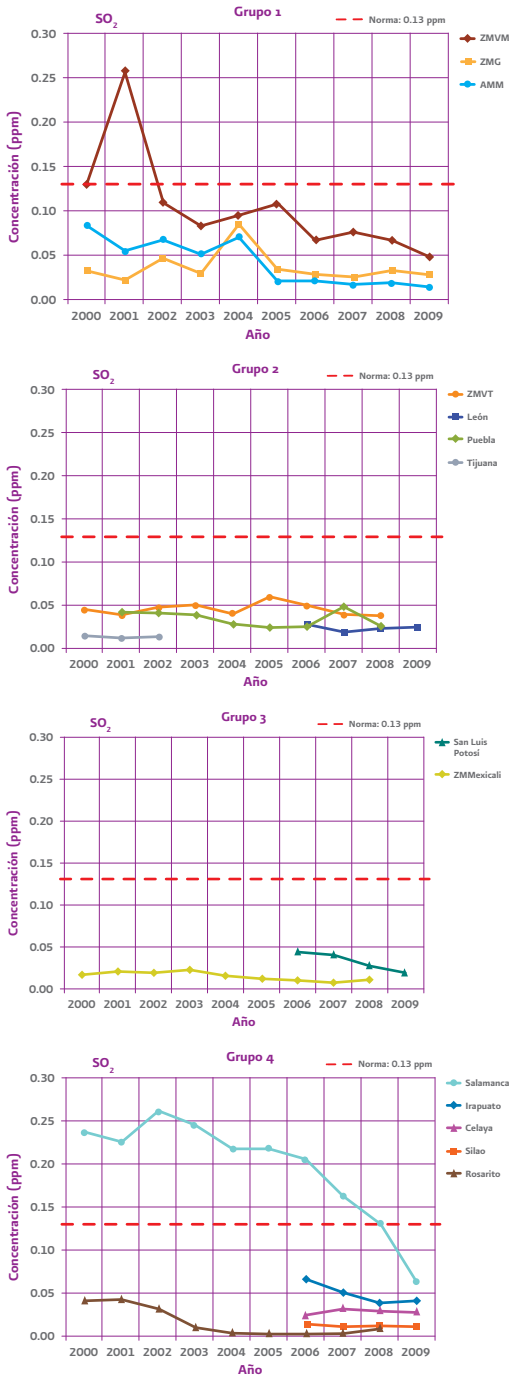
Figura 1.34 Límite de 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)

En este caso también se contó con información suficiente de todas las ciudades, en casi todo el periodo, con las excepciones que se anotaron en el caso del límite anual.

El comportamiento de este indicador es muy similar al que corresponde al límite anual, con algunas excepciones. Por ejemplo, en la ZMVM se observa una concentración extraordinariamente alta en 2001, año en el que seguramente se registraron valores máximos de 24 horas muy altos.

En este caso, la ZVMV y Salamanca exhiben las concentraciones más altas en todo el periodo. Las más bajas corresponden a Rosarito, Mexicali, León, Puebla, y las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara. Rosarito y Mexicali merecen atención particular, pues parece que la trayectoria puede convertirse en ascendente en los próximos años.

Las ciudades y zonas metropolitanas donde se observa que las concentraciones han ido disminuyendo son San Luis Potosí, Irapuato y las zonas metropolitanas del valle de México y del valle de Toluca. Llama la atención la reducción registrada en Salamanca, lo que quiere decir que no solo se redujeron las concentraciones promedio de este contaminante a lo largo del año, sino también los episodios cortos de concentraciones altas.



SO_2

• Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2009)

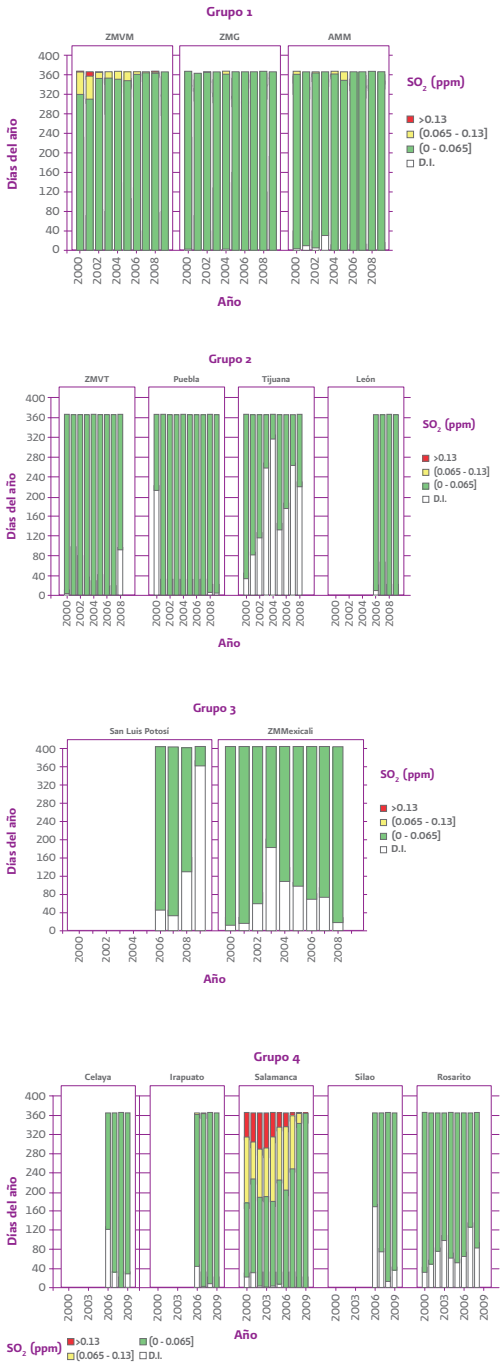
En la figura 1.35 se ilustra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala, con respecto a la concentración de SO_2, de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.3.2 del capítulo 22 para este contaminante.

Figura 1.35 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala

La información para determinar la calidad del aire en cada día del periodo fue variable a lo largo de los años. Por ejemplo, en el grupo 1 todas las ciudades contaron con datos suficientes para construir este indicador en todo el periodo.

En Tijuana (del grupo 2) no fue posible determinar la calidad del aire de más del 50% de los días de cada año, durante los últimos cinco años. En el grupo 3, la disponibilidad de información fue disminuyendo, hasta llegar a menos del 20% de los días en 2009. Por el contrario, en Mexicali aumentó la cantidad de información entre 2003 y 2008, pero no se midió en 2009. En el grupo 4 el caso de Rosarito es notable, pues el número de días sin información suficiente fue aumentando paulatinamente desde el año 2000 hasta 2009, en que no se realizaron mediciones. En estas ciudades es difícil descartar que existan problemas con el SO_2, pues se desconoce qué concentraciones se dieron en un porcentaje importante de días en el año.

La ZMVM y Salamanca presentan días en color rojo en uno o varios años del periodo, y esta última fue la que mostró una problemática más fuerte con respecto a este contaminante, sobre todo al inicio del periodo. En esta ciudad se redujeron drásticamente las concentraciones diarias de SO_2, por lo que desde 2003 se observa una reducción en el número de días en rojo y en amarillo, hasta 2009, cuando no se registró ningún día en rojo.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.

SO_2

• Tendencias de las concentraciones diarias

En las figuras 1.36 a 1.39 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis.

Figura 1.36 Tendencias de las concentraciones diarias (grupo 1)

En este grupo de zonas metropolitanas la disponibilidad de información fue buena, aunque en el AMM solo se pueden observar datos continuos de los últimos cinco años.

Se aprecia que en los últimos cuatro años las tres zonas metropolitanas presentan una ligera tendencia decreciente, inclusive en la ZMVM, que registra las concentraciones más altas. Todas las distribuciones son muy compactas: no hay valores extraordinariamente altos. En los tres casos el percentil 90 no superó las 0.040 ppm, es decir, aun las concentraciones altas de cada año son de una tercera parte del límite de 24 horas establecido en la NOM (0.13 ppm).

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.

SO_2

Figura 1.37 Tendencias de las concentraciones diarias (grupo 2)

De las cuatro localidades que forman este grupo, en la ZMVT, Puebla y León no se contó con indicadores de tendencia en varios años, ya sea por insuficiencia de datos o por ausencia de mediciones. Ùnicamente en esta última es posible observar los datos de los años más recientes.

De la ZMVT no es posible distinguir una tendencia de todo el periodo, aunque de 2000 a 2006 sí se aprecia un incremento en las concentraciones. En Puebla, por el contrario, de 2001 a 2004 se observa un ligero descenso, aunque no es posible determinar si esta tendencia se conservó o cambió en los últimos años.

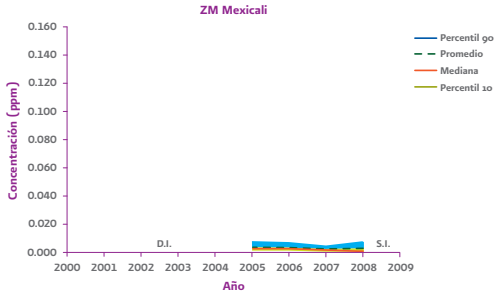
Desde el inicio de operaciones de la red de León solo se cuenta con tres años consecutivos de información, por lo que es difícil inferir una tendencia clara. Sin embargo, se observan incrementos, sobre todo en los percentiles 90. En este caso, también las concentraciones son bajas y se ubican alrededor del 16% del límite de 24 horas (0.13 ppm).

No se muestran las tendencias de Tijuana debido a que no cumplió con los criterios de suficiencia de información para generar el indicador en ninguno de los años.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.M.= Sin medición.

SO_2

Figura 1.38 Tendencias de las concentraciones diarias (grupo 3)



En la ZM de Mexicali solo fue posible calcular los indicadores para el periodo 2005-2008, ya sea por falta de información o porque ésta no estuvo disponible. En este periodo se aprecia que las concentraciones son bajas, inclusive el percentil 90.

La gráfica de las tendencias de San Luis Potosí no se presenta debido a que no cumplió con los criterios de suficiencia de información para generar los indicadores.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

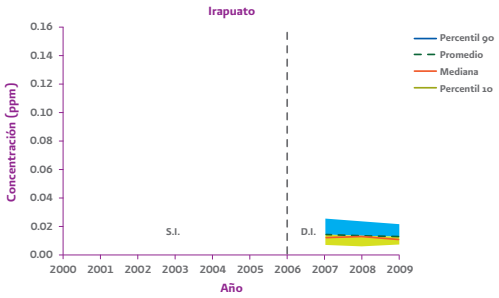
SO_2

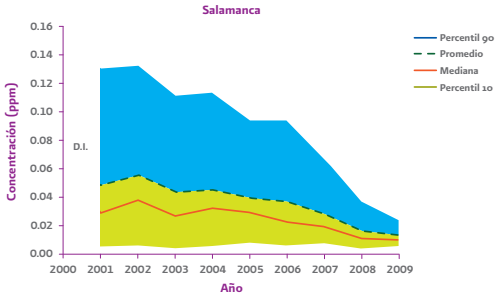
Figura 1.39 Tendencias de las concentraciones diarias (grupo 4)

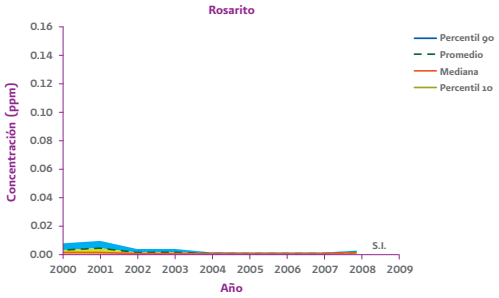
En este grupo no se presentan las tendencias de Celaya debido a que no se cumplió con el criterio de suficiencia de información para generar este indicador. En Irapuato la información también es limitada, debido a la falta de disponibilidad o de suficiencia de datos.

En Salamanca destaca la drástica reducción de las concentraciones, desde los primeros años de análisis con niveles para el percentil 90 incluso por arriba del límite de 24 horas de la NOM: de 2006 a 2008 se observa la caída más pronunciada en estos valores, pues el percentil 90 se redujo a menos de una tercera parte de los niveles de 2001.

En Irapuato y Silao hay información de pocos años como para inferir una tendencia clara, aunque sí puede decirse que no hay mucha variabilidad entre la concentración del percentil 10 y el percentil 90. Esto último también se puede comentar sobre Rosarito, aunque en este caso se aprecia una leve disminución en el percentil 90 de las concentraciones diarias, que de por sí eran bajas al principio del periodo.







D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.M.= Sin medición.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

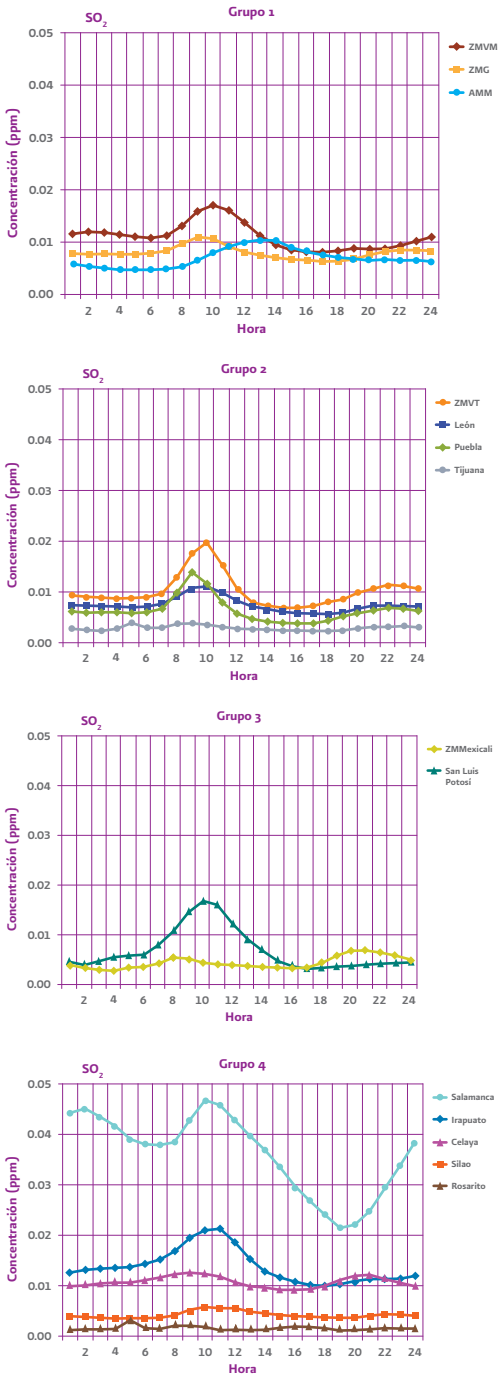
• Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año

En la figura 1.40 se muestra el comportamiento del SO_2 durante las horas del día para las 14 ciudades analizadas en los cuatro grupos ya referidos.

Figura 1.40 Comportamiento durante el día

El comportamiento de este contaminante es predominantemente de dos tipos. Es bimodal en las zonas metropolitanas de Guadalajara, Toluca y el valle de México, así como en León, Puebla, Celaya, Salamanca y Mexicali. Es unimodal en el AMM e Irapuato. En Silao, Rosarito y Tijuana las concentraciones son más o menos constantes durante el día. Debido a que la principal fuente de SO_2 es la actividad industrial asociada con el uso de combustóleo y diesel, es muy probable que el comportamiento de este contaminante obedezca a los patrones de operación de las principales industrias asentadas en cada ciudad.

Evidentemente, las concentraciones más altas de este contaminante se observan en Salamanca, sobre todo durante las primeras horas de la mañana. Las zonas metropolitanas del valle de México y Toluca exhiben concentraciones máximas muy similares entre sí y con Irapuato y San Luis Potosí, a pesar de ser ciudades de tamaño muy distinto. Por el contrario, en Rosarito, Mexicali, Silao y Tijuana las concentraciones horarias son, comparativamente, muy bajas.

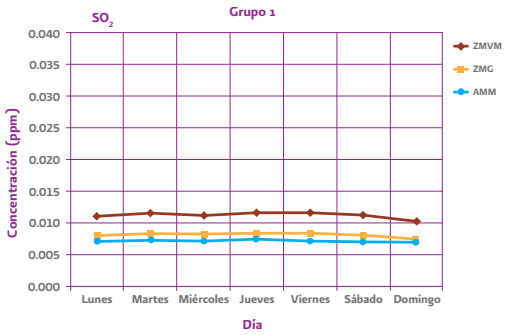


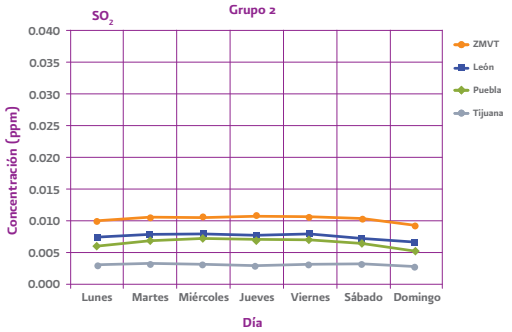
SO_2

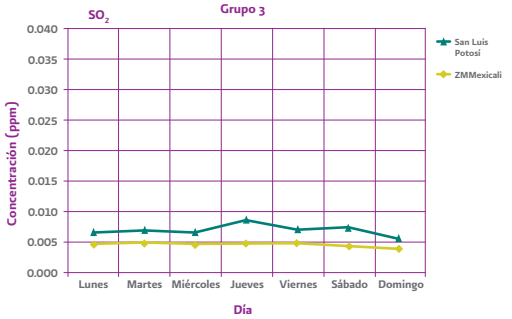
Figura 1.41 Comportamiento durante la semana

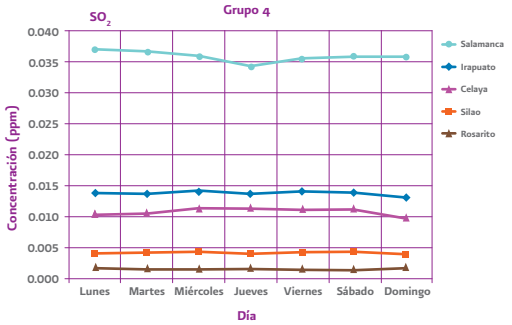
En todas las gráficas se aprecia una pauta más o menos constante en las concentraciones, con un descenso muy ligero durante el domingo. En Salamanca, por el contrario, pareciera que los jueves se reduce la actividad que origina las emisiones de SO_2, pues se aprecia una reducción en las concentraciones.

Claramente, en Salamanca las concentraciones diarias fueron muy superiores. Sin embargo, por tratarse de un promedio, no se aprecia la drástica reducción de los niveles de SO_2 que se registraron en esta ciudad en los años recientes. Por otra parte, es notorio que en dos ciudades de Guanajuato, Irapuato y Celaya, las concentraciones promedio diarias son superiores a las demás ciudades de los grupos 3 y 4 y que la mayoría de las del grupo 2, excepto por Toluca.







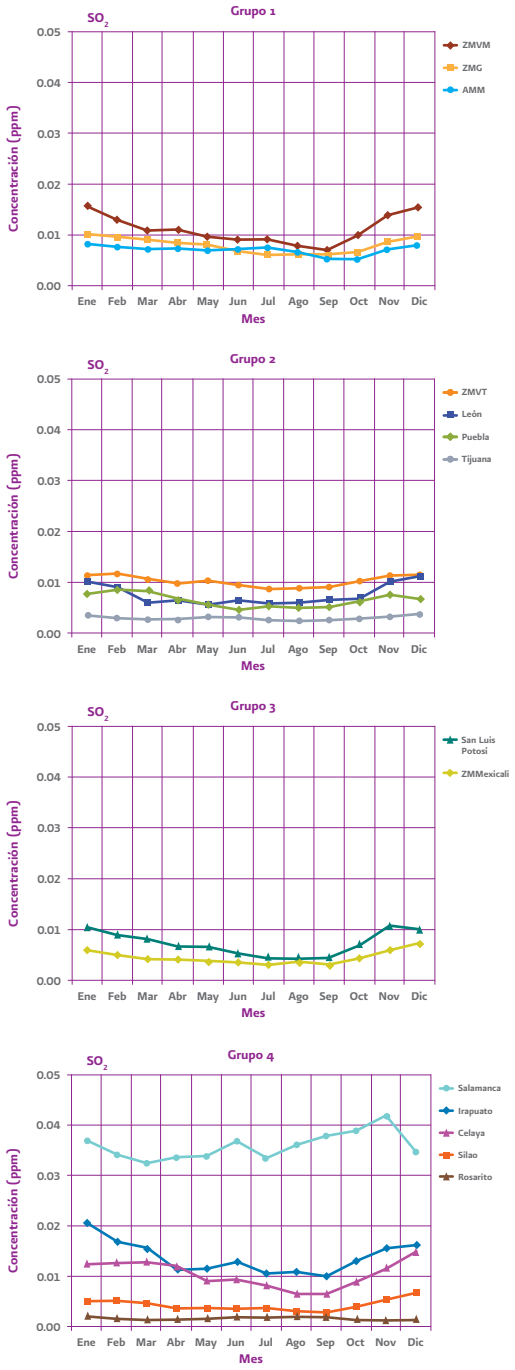


SO_2

Figura 1.42 Comportamiento durante el año

Las gráficas muestran que las concentraciones mensuales de SO_2 más elevadas se observan entre noviembre y enero, y las más bajas durante los meses de verano. Esto puede deberse a que en los meses de mayo a agosto, durante las lluvias, se promueve el depósito húmedo de este y otros contaminantes. La excepción en este patrón es Salamanca, pues las concentraciones más altas se presentan entre septiembre y noviembre y en enero, mientras que en Celaya las concentraciones altas se extienden hasta abril.

Las concentraciones promedio mensuales en Salamanca son las más elevadas de todas las ciudades, y le siguen las zonas metropolitanas del valle de México y Toluca e Irapuato y Celaya.



Bióxido de nitrógeno (NO_2)

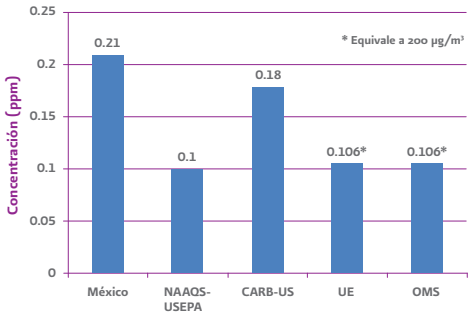
Existen muchas especies químicas de óxidos de nitrógeno, pero la más importante desde el punto de vista de sus impactos negativos en la salud es el bióxido de nitrógeno. El NO_2 es un gas café rojizo que tiene un olor penetrante muy característico. Es un compuesto oxidante muy poderoso que reacciona con el agua para producir ácido nítrico y óxido nítrico. Las principales fuentes de emisión de óxidos de nitrógeno son tanto naturales (como los volcanes, la actividad bacteriana y los relámpagos) cuanto antropogénicas (como la combustión para la generación de calor y electricidad o el transporte marítimo y terrestre).

Este contaminante es importante no solo por sus posibles efectos en la salud, sino también porque absorbe luz solar y, por tanto, disminuye la visibilidad en la atmósfera y desempeña un papel muy importante en el cambio climático. Asimismo, la fotólisis[5] del bióxido de nitrógeno es el único mecanismo que inicia la reacción fotoquímica para la formación de ozono troposférico, por lo que la presencia de este contaminante en la atmósfera determina, en gran medida, la concentración de ozono. Esta fotólisis también da origen a la formación de otros compuestos secundarios que son importantes desde el punto de vista de la calidad del aire, como los nitratos, los sulfatos y los compuestos orgánicos que forman parte de las PM_{10} y las $PM_{2.5}$.

A partir de los estudios epidemiológicos en los que se analiza el papel que desempeña el NO_2 en la salud, ha sido difícil distinguir cuáles efectos se deben específicamente a este contaminante, ya que suele encontrarse estrechamente asociado con otros contaminantes del aire, como las PM, el benceno, el óxido nítrico, etc. En este sentido, se considera que el NO_2 es un buen indicador de la presencia de estos y otros contaminantes que forman una mezcla no siempre bien conocida de compuestos emitidos por los vehículos. Por ejemplo, en estudios epidemiológicos recientes se han encontrado asociaciones robustas entre el aumento de síntomas de bronquitis en niños asmáticos y el aumento en las concentraciones anuales de NO_2; también se han identificado impactos adversos en la salud de niños que habitan en la proximidad de vialidades primarias con altas emisiones de contaminantes vehiculares (WHO, 2006).

Con base en estos estudios, la Organización Mundial de la Salud recomienda a todos los países que adopten como límite máximo el valor de 200 µg/m³ (0.106 ppm) para la concentración promedio de una hora (WHO, 2000a).

Figura 1.43 Límite de concentración recomendado por la OMS para el NO_2 (promedio de una hora) y comparación con la normatividad de México, Estados Unidos (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y la Unión Europea



Fuente: NOM-023-SSA1-1993c (DOF, 1994c)
NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards. http://www.epa.gov/air/criteria.html
CARB-US. California Environmental Protection Agency. http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf
UE. Unión Europea. http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
OMS – Organización Mundial de la Salud – http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Diagnóstico de México

• Normatividad

En la figura 1.43 se aprecia que el promedio de una hora establecido en la NOM-023-SSA1-1993 (DOF, 1994c) de México (395 µg/m³ o 0.21 ppm)[6] es superior a los valores establecidos en cualquiera de los otros países y regiones considerados. De hecho, es el doble de los valores adoptados por el gobierno federal estadounidense y del valor recomendado por la OMS.

5 Descomposición de una sustancia por la acción de la luz (RAE, 2011)

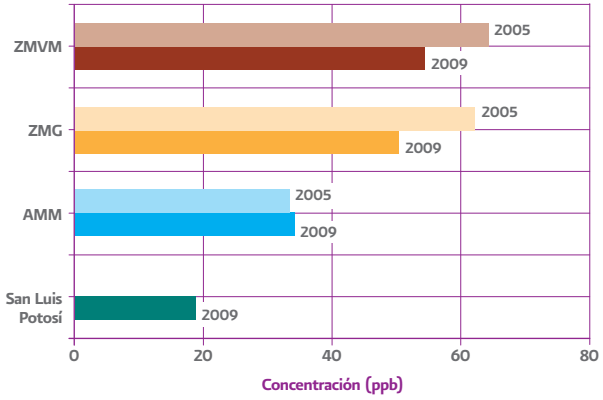
6 Este límite solo puede excederse una vez en un año calendario.

• Exposición de la población al NO_2 en 2009

Si bien este contaminante se mide en varias estaciones de monitoreo en el país, solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 15 redes. Sin embargo, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en cuatro de ellas: San Luis Potosí y las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey y Guadalajara. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009, ya sea porque la información disponible no fue suficiente o porque no se realizaron mediciones en ese año.

La figura 1.44 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 del capítulo 22. Donde fue posible, se incluyeron en la gráfica los valores que fueron estimados en 2005, para efectos de comparación (Zuk *et al.*, 2007). Al tratarse de promedios, estos valores no reflejan la variabilidad geográfica de la exposición en cada ciudad; ésta se muestra en los capítulos que describen la situación específica de cada localidad.

Figura 1.44 Exposición de la población al NO_2 (CPAPP en ppb 2005, 2009)



Las dos ciudades más contaminadas con NO_2 son las zonas metropolitanas del valle de México y Guadalajara, cuyos habitantes estuvieron expuestos durante 2009, en promedio, a concentraciones similares de NO_2. Con respecto a 2005, mantuvieron la misma relación, aunque se experimentó una reducción de aproximadamente el 16% en la exposición en ambas ciudades. En contraste, la exposición de los habitantes de la ciudad más limpia, San Luis Potosí, fue 2.6 veces menor que la de estas ciudades, y aproximadamente la mitad de la que sufrieron los pobladores del AMM. En esta última no se observan cambios con respecto a 2005.

• Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación con NO_2

En el cuadro 1.6 se muestra el resultado de la clasificación de tres ciudades y zonas metropolitanas respecto a su grado de contaminación con bióxido de nitrógeno. De las cuatro ciudades con información sobre exposición en 2009, no fue posible hacer la clasificación de la zona metropolitana de Guadalajara, pues no se cumplió con suficiente información para realizar el cálculo de alguno de los indicadores involucrados en el procedimiento que se describe en la sección 3.7 de la metodología. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó para todas las ciudades donde se mide el NO_2.

Aparentemente, las dos zonas metropolitanas más contaminadas con NO_2 son las del valle de México y Monterrey. Sin embargo, es posible que si se hubiera incluido la ZMG en la clasificación, el orden habría sido diferente. En cuanto a San Luis Potosí, si bien resulta ser la tercera ciudad en la clasificación por la ausencia de datos de otras ciudades, todos los indicadores calculados apuntan a que esta ciudad no tiene problemas de contaminación con NO_2, por lo que se optó por dejarla sin clasificar (S.C.).

Cuadro 1.6 Clasificación de las ciudades según su grado de contaminación con NO_2 (2009)

Zona metropolitana/ciudad	Clasificación
ZMVM	1°
AMM	2°
San Luis Potosí	S.C.

S.C.= Sin clasificar

NO_2: indicadores de la calidad del aire (2000-2009)

El bióxido de nitrógeno se mide con equipo automático en 15 redes de monitoreo que pertenecen a León, Puebla, Tijuana, San Luis Potosí, Tecate, Irapuato, Salamanca, Celaya, Silao, Rosarito y a las zonas metropolitanas de Guadalajara, valle de México, Monterrey, valle de Toluca y Mexicali. El equipo automático proporciona concentraciones de manera horaria, y éstas se procesan para obtener los indicadores de la calidad del aire que se muestran a continuación, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia descritos en la metodología.

• Evaluación del cumplimiento de la NOM del NO_2 (2000-2009)

En la figura 1.45 se muestran las tendencias de las concentraciones ambientales de NO_2 en comparación con el límite de una hora establecido en la NOM-023-SSA1-1993 (DOF, 1994c) de la calidad del aire.

Figura 1.45 Límite de una hora (segundo máximo de las concentraciones horarias)

En este indicador también se aprecian más series de tiempo continuas que en los casos de las PM y el O_3, pues los criterios de suficiencia de datos no son tan estrictos. Aun así, en Tijuana, las zonas metropolitanas del valle de Toluca y Mexicali, así como en la mitad de las ciudades del grupo 4 (Silao, Tecate y Rosarito), no se contó con información suficiente para calcular el indicador en 2008 o en 2009.

En el grupo 1, el AMM es la única zona metropolitana donde se cumplió el límite en todo el periodo. La ZMG, por el contrario, es donde se registró el mayor número de años en los que se excedió el límite, con concentraciones más elevadas que en cualquier otra ciudad. En la ZMVM las concentraciones fluctuaron durante todo el periodo alrededor del límite, y lo rebasaron entre 2003 y 2006. En los demás grupos destacan las concentraciones extraordinarias registradas en Puebla en 2008 y en Mexicali en 2001. En el resto de las ciudades se cumple con el límite, salvo en Tijuana durante 2003.

Todas las ciudades del grupo 2 reportan indicadores que se aproximan mucho al valor del límite, por lo que podrían darse en un futuro cercano concentraciones que no cumplan la norma. En general, en el grupo 4 todas las ciudades que lo forman cumplieron en todos los años con este límite, aunque en 2008 en Salamanca se registró un valor muy cercano a las 0.21 ppm.

Es difícil observar una tendencia a simple vista, pero aparentemente San Luis Potosí, Celaya, Irapuato, Tijuana y la zona metropolitana de Mexicali han experimentado una reducción en las concentraciones, mientras que León, Puebla, y las zonas metropolitanas del valle de México y del valle de Toluca muestran incrementos en los indicadores a lo largo del periodo.

NO_2

• Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2009)

En la figura 1.46 se ilustra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a la concentración de NO_2, de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.3.2 de la metodología para este contaminante.

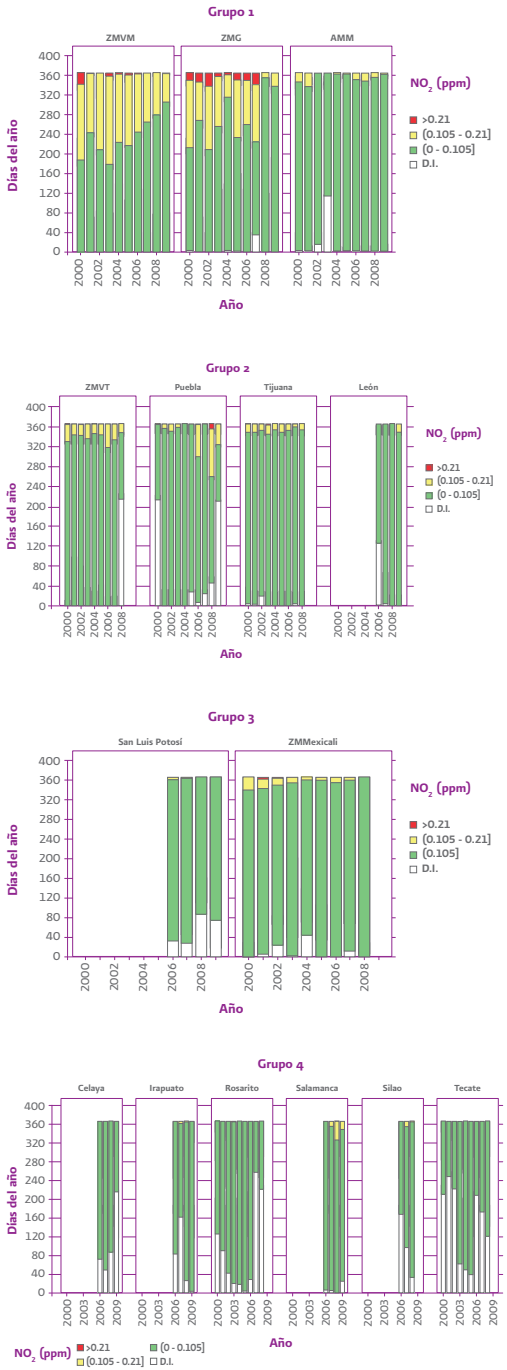
Figura 1.46 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala

En general, la información para determinar la calidad del aire en cada día fue suficiente en casi todo el periodo, salvo los últimos dos años, cuando algunas redes contaron con menos datos disponibles. Por ejemplo, en la ZMVT solo pudo determinarse la calidad del aire en el 40% de los días de 2008, y en 2009 no se realizaron mediciones. En Puebla, Celaya y las redes de Baja California del grupo 4, los datos fueron suficientes para calcular la calidad del aire de únicamente el 40% o menos de los días del último año con mediciones. En San Luis Potosí faltó información para calcular el indicador en el 20% de los días de 2009. Todas las redes de Baja California dejaron de medir este contaminante en 2009.

A pesar de la falta de información en los últimos dos años, puede apreciarse que las grandes zonas metropolitanas, especialmente la ZMVM y la ZMG, son las que registraron más días en rojo y amarillo, lo que confirma el comportamiento observado en el indicador del cumplimiento de la norma. Por otra parte, las ciudades con más días en verde en todo el periodo son el AMM, León, San Luis Potosí y Mexicali, aunque en esta última no se midió el NO_2 en 2009. En el grupo 4 también se observa una gran proporción de días en verde, pero dada la falta de información, no se puede concluir que no tengan problemas con este contaminante.

En las zonas metropolitanas del valle de México, Guadalajara y Mexicali se observa una clara reducción de la proporción de días con color amarillo y, por ende, un aumento de los días con buena calidad del aire. En el resto de las ciudades no es posible observar aumentos o reducciones claros.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.



NO_2

• Tendencias de las concentraciones diarias

En las figuras 1.47 a 1.50 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis.

Figura 1.47 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 1)

En este caso es notorio cómo en los últimos tres o más años no se ha contado con información suficiente para calcular los indicadores en las zonas metropolitanas de Guadalajara y Toluca, y en Puebla, Tecate y Rosarito. Solo en la ZMVM y en San Luis Potosí se cuenta con información de todos los años en los que se han registrado mediciones, y en el AMM se observa una mejoría en la suficiencia de datos para este indicador desde 2004.

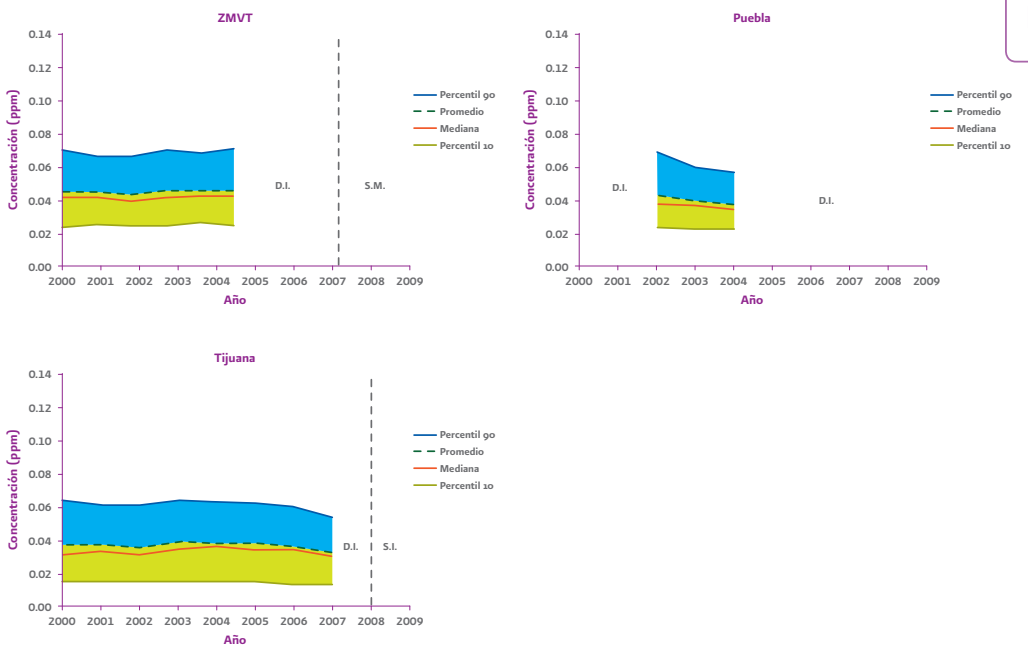
En las tres grandes zonas metropolitanas el percentil 90 de las concentraciones diarias se ubica por debajo de las 0.12 ppm, valor ligeramente superior a la mitad del límite de 1 hora para el NO_2.

En la ZMVM se observa una ligera tendencia decreciente a partir del año 2004, y en el AMM aparentemente también se han reducido las concentraciones altas en los últimos tres años, aunque la mediana y el promedio se han mantenido prácticamente sin cambio en los últimos 3 o 4 años.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.

NO_2

Figura 1.48 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 2)

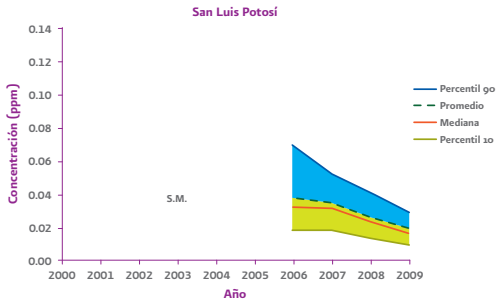


En este grupo las concentraciones registradas en la ZMVT y Tijuana muestran poca variabilidad a lo largo de los años en los que fue posible calcular los indicadores. Empero, no es posible determinar si esta situación continúa hasta ahora debido a que no se contó con información suficiente entre 2005 y 2008, y en 2009 no se midió en Toluca y no se cuenta con información de Tijuana.

En Puebla, a pesar de que se distingue una ligera tendencia decreciente de 2002 a 2004, tampoco es factible determinar si esta tendencia continuó durante más tiempo, debido a la falta de información suficiente a partir de 2004.

No se muestran las tendencias de León debido a que no cumplió con los criterios de suficiencia de información para generar el indicador en ninguno de los años.

Figura 1.49 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 3)



No se muestran las tendencias de la ZM de Mexicali debido a que no cumplió con los criterios de suficiencia de información para generar el indicador en ninguno de los años.

En San Luis Potosí, por otra parte, se aprecia una tendencia decreciente en las concentraciones diarias del NO_2 en todo el periodo en el que se analizó el contaminante. Las concentraciones diarias se ubican por debajo de las 0.07 ppm, valor mucho menor del límite de una hora.

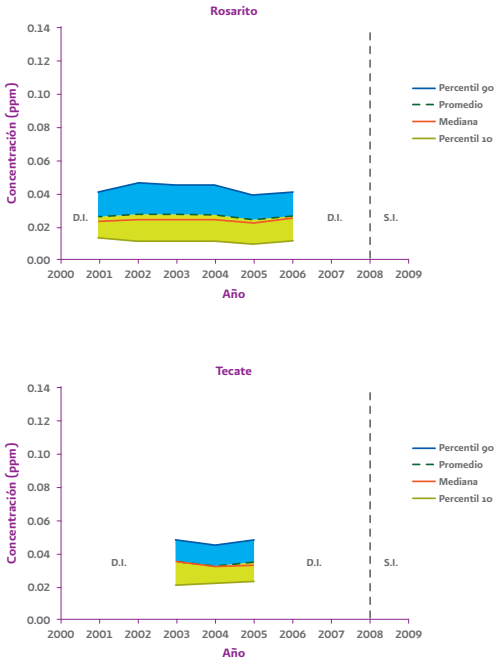
D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el añ, de al menos el 75% de datos diarios.
S.M.= Sin medición.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

NO_2

Figura 1.50 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 4)

En este grupo, las ciudades de Guanajuato (Celaya, Irapuato, Silao y Salamanca) no cumplieron con los criterios de suficiencia de datos para generar el indicador.

Las ciudades de Baja California, por su parte, sí contaron con información, pero solo para un número limitado de años. En el caso de Tecate, el periodo es tan corto que no es posible apreciar una tendencia en las concentraciones. En Rosarito se cuenta con información de seis años que sugiere poca variabilidad en las concentraciones, pero cuya utilidad es limitada para determinar cuál ha sido la situación en los últimos tres años.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

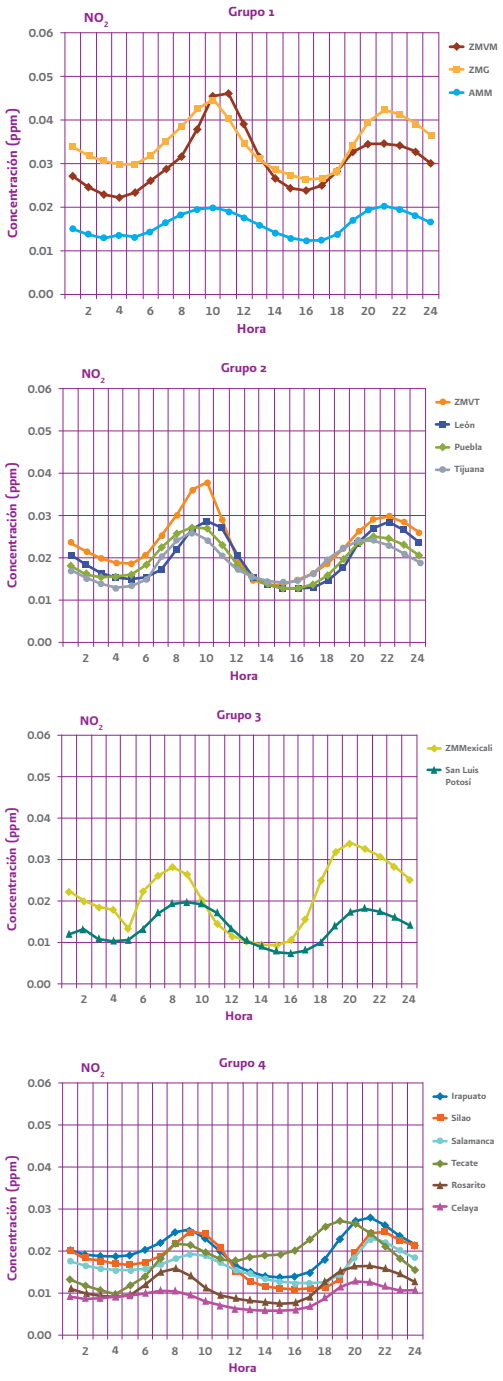
• **Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año**

Figura 1.51 Comportamiento durante el día

En todas las gráficas se observa un comportamiento bimodal que es típico de este contaminante. En zonas urbanas las emisiones de óxidos de nitrógeno provienen principalmente del transporte, por lo que su presencia en la atmósfera obedece a los patrones de actividad vehicular y a la velocidad con que reaccionan para formar ozono y otros contaminantes secundarios.

Las concentraciones máximas más altas se registraron en la ZMVM y en la ZMG. En estas dos ciudades destaca que la ZMG presenta, en general, concentraciones horarias más altas que la ZMVM, sobre todo en las primeras horas de la mañana y durante la noche. En el AMM las concentraciones no son tan altas como se esperaría por el tamaño de su flota, pues se mantienen en un intervalo menor que las concentraciones de varias ciudades de los grupos 2, 3 y 4, cuya flota vehicular es comparativamente más pequeña.

En contraste, las ciudades de Rosarito y Celaya presentan las concentraciones horarias más pequeñas de todas las ciudades.

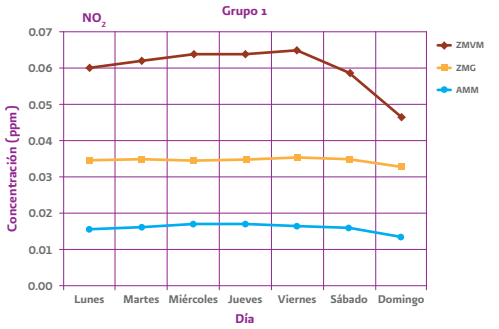


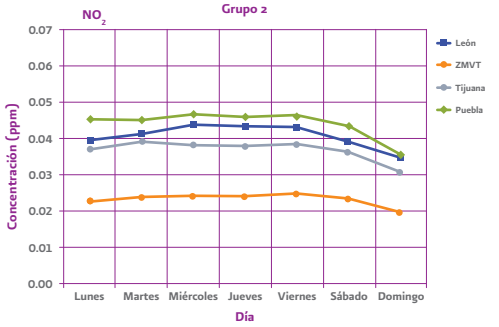
NO_2

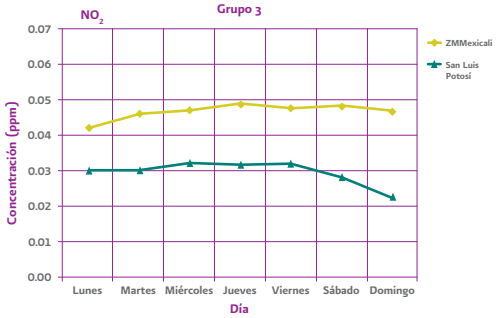
Figura 1.52 Comportamiento durante la semana

En general, se observa un comportamiento más o menos constante de lunes a viernes, con un descenso notorio, en unos casos más que en otros, durante el fin de semana, especialmente el domingo. Esto puede deberse a la intensa relación entre este contaminante y la actividad vehicular, que generalmente se reduce el domingo.

La magnitud de las concentraciones en la ZMVM es considerablemente mayor que en el resto de las ciudades. En contraste, el AMM presenta concentraciones más bajas que muchas otras ciudades de menor tamaño, inclusive las del grupo 4. Esto puede interpretarse como que, además de la actividad vehicular y el tamaño de la flota en circulación, hay factores adicionales que afectan la concentración de NO_2 en la atmósfera.







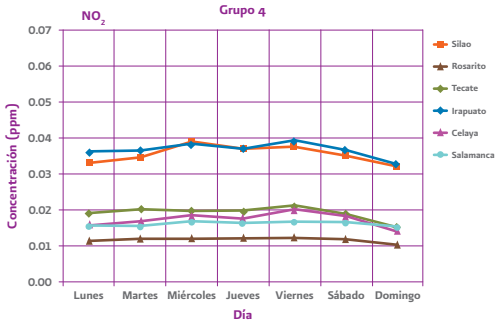
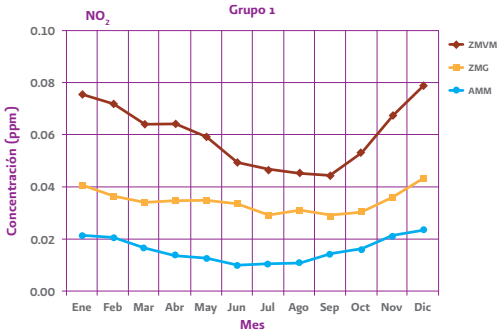


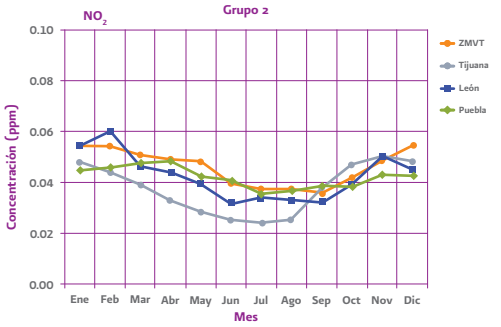
Figura 1.53 Comportamiento durante el año

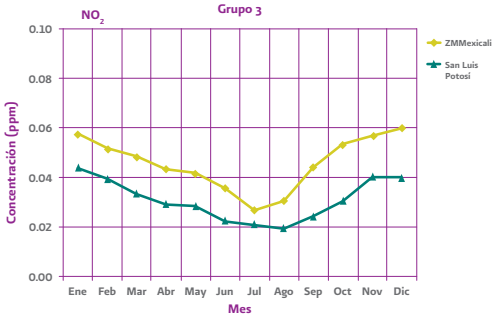
En las series de tiempo se observa que, en general, las concentraciones más altas de NO_2 se presentan durante el invierno, entre noviembre y enero. Debido a que este contaminante es predominantemente vehicular, este comportamiento podría ser el resultado del aumento de la actividad vehicular en los últimos meses del año. Otra fuente importante de NO_2 es la combustión de gas, por lo que este incremento también podría relacionarse con el uso de la calefacción en las ciudades del norte.

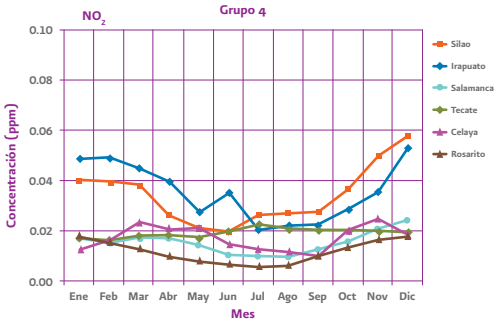
En este caso, las concentraciones mensuales en la ZMVM son superiores a las de cualquier otra ciudad. En segundo lugar se sitúan las ciudades del grupo 2, con excepción de Tijuana. Es notable cómo en estas ciudades, comparativamente más pequeñas, las concentraciones mensuales de bióxido de nitrógeno son más elevadas que las de la ZMG.

En contraste, en varias de las ciudades del grupo 4 (Rosarito, Celaya y Salamanca) se presentaron promedios mensuales más bajos que en las demás ciudades.









Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro e inodoro que se emite como subproducto durante los procesos de combustión. En ambientes urbanos, la fuente que más contribuye a las emisiones de este contaminante es el transporte, aunque también puede formarse naturalmente por la oxidación del metano que se produce por la descomposición de la materia orgánica. En lo que respecta a la calidad del aire intramuros, el CO es sumamente importante, pues la combustión incompleta de madera, carbón y otros combustibles domésticos produce grandes cantidades de este contaminante. El CO en concentraciones elevadas puede ser letal, pues tiene una acción tóxica en el cuerpo humano, dada su alta afinidad con la hemoglobina, a la que se enlaza, disminuyendo el transporte de oxígeno al cuerpo. Entre los efectos negativos en la salud que se asocian con la exposición al CO se encuentran una menor coordinación motora, agravamiento de enfermedades cardiovasculares, fatiga, dolores de cabeza, confusión, náuseas y mareos (Zuk *et al.*, 2007; EPA, 2011b).

En las guías de la calidad del aire publicadas en el año 2000, la Organización Mundial de la Salud recomendó un límite máximo de 10 000 µg/m³ como promedio móvil de ocho horas. Este valor no se ha actualizado, pues no se ha encontrado evidencia científica que justifique un límite más estricto (WHO, 2000a).

Diagnóstico de México

• Normatividad

En México, la NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994a) estipula un límite para la concentración promedio móvil de ocho horas de 12 595 µg/m³ (11 ppm)[7]. En la figura 1.54 se muestra este valor comparado con la recomendación de la OMS y con los valores incluidos en la normatividad federal estadounidense, la de California y la europea. La normatividad mexicana es más laxa que cualquiera de las otras que se incluyeron en la figura, y el límite es un 25% más alto que la recomendación de la OMS de 2000.

• Exposición de la población al CO

Este contaminante se mide en varias estaciones de monitoreo en el país, pero solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 16 redes. Además, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en seis de ellas: San Luis Potosí, Salamanca, y las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey, Guadalajara y Juárez. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009, ya sea porque la información disponible no fue suficiente o porque no se realizaron mediciones en ese año.

La figura 1.55 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (CPAPP), calculada con la metodología y los criterios de suficiencia descritos en la sección 3.6 de ese capítulo. En este caso, no se incluyeron en la gráfica los valores que fueron estimados en 2005, pues la métrica utilizada fue diferente (Zuk *et al.*, 2007). Al tratarse de promedios, estos valores no reflejan la variabilidad geográfica de la exposición en cada ciudad; ésta se muestra en los capítulos que describen la situación específica de cada localidad.

En la ZMG los habitantes están expuestos, en promedio, a concentraciones mayores que en cualquier otra ciudad de las que se incluyen en la gráfica. La exposición en Salamanca es un 35% más baja que en la ZMG, pero alrededor del 30% más alta que

7 Este límite no debe excederse más de una vez en un año calendario.

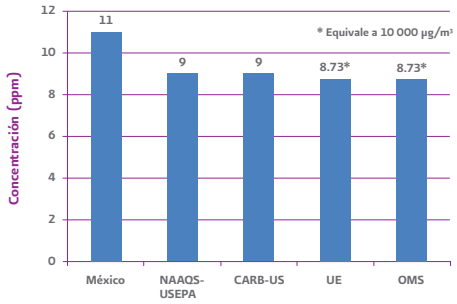
la de tres ciudades comparativamente más grandes: las zonas metropolitanas del valle de México, Juárez y Monterrey. En contraste, en San Luis Potosí la exposición es mucho más baja que en cualquiera de las ciudades ilustradas, menos del 50% de la exposición promedio en Monterrey.

• Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación con CO

En el cuadro 1.7 se muestra el resultado de la clasificación de cinco ciudades y zonas metropolitanas, con respecto a su grado de contaminación con monóxido de carbono. De las seis ciudades con información sobre exposición en 2009, no fue posible hacer la clasificación de la zona metropolitana de Juárez, pues no se cumplió con suficiente información para realizar el cálculo de alguno de los indicadores involucrados en el procedimiento que se describe en la sección 3.7 de la metodología. El anexo III contiene un cuadro descriptivo de los criterios de suficiencia y los porcentajes de información con los que se contó para todas las ciudades donde se mide el CO.

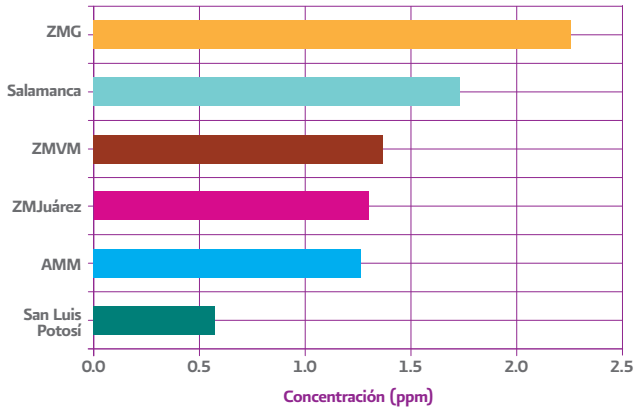
En esta clasificación se repite el orden de prelación que se observó en la exposición de la población, salvo por Juárez, que no pudo incluirse. En lo que respecta a San Luis Potosí, si bien ocupa el quinto lugar en la clasificación por la ausencia de datos de otras ciudades, todos los indicadores calculados apuntan a que esta ciudad no tiene problemas de contaminación con CO, por lo que se optó por dejarla sin clasificar (S.C.).

Figura 1.54 Límite de concentración recomendado por la OMS para el CO (promedio móvil de ocho horas) y comparación con la normatividad de México, Estados Unidos (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y la Unión Europea



Fuente: NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1993a)
NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards. http://www.epa.gov/air/criteria.html
CARB-US. California Environmental Protection Agency. http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf
UE. Unión Europea. http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
OMS – Organización Mundial de la Salud – http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Figura 1.55 Exposición de la población al CO (CPAPP en ppm, 2009)



Cuadro 1.7 Clasificación de las ciudades según su grado de contaminación con CO (2009)

Zona metropolitana/ciudad	Clasificación
ZMG	1°
Salamanca	2°
ZMVM	3°
AMM	4°
San Luis Potosí	S.C.

S.C.= Sin clasificar

CO: indicadores de la calidad del aire (2000-2009)

El monóxido de carbono se mide con equipo automático en 16 redes de monitoreo que pertenecen a León, Puebla, Tijuana, San Luis Potosí, Tecate, Irapuato, Salamanca, Celaya, Silao, Rosarito, y a las zonas metropolitanas de Guadalajara, valle de México, Monterrey, valle de Toluca, Juárez y Mexicali. El equipo automático proporciona concentraciones de manera horaria, y éstas se procesan para obtener los indicadores de la calidad del aire que se muestran a continuación, de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia descritos en la metodología.

• Evaluación del cumplimiento de la NOM de CO (2000-2009)

En la figura 1.56 se muestran las tendencias de las concentraciones ambientales de CO en comparación con el límite de 8 horas establecido en la NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994a) de la calidad del aire.

Figura 1.56 Límite de ocho horas (segundo máximo de los promedios móviles)

En este indicador también se distinguen más series de tiempo continuas que en los casos de las PM y el O_3, pues los criterios de suficiencia de datos no son tan estrictos. Sin embargo, por falta de medición no se cuenta con datos de 2009 de Rosarito, Tijuana, y las zonas metropolitanas del valle de Toluca y Mexicali.

En todas las ciudades se cumple con este límite en todos los años, a excepción de las zonas metropolitanas de Guadalajara y Mexicali, en donde se cumple desde 2007 y 2006, respectivamente. En León y la ZM de Juárez las concentraciones fluctúan alrededor del valor límite, pero se cumple en 2009.

Las concentraciones más altas se registraron en Guadalajara y en Mexicali; en esta última se registraron más años con concentraciones que excedieron el límite que en cualquier otra ciudad. En contraste, las concentraciones más bajas se observan en San Luis Potosí y en tres ciudades del grupo 4 (Tecate, Rosarito y Silao).

En términos generales, las concentraciones de CO fueron disminuyendo a lo largo del periodo, sobre todo en las zonas metropolitanas del grupo 1 y en Mexicali y Celaya. Sin embargo, se observa que en León e Irapuato se han incrementado en los últimos cuatro años.

CO

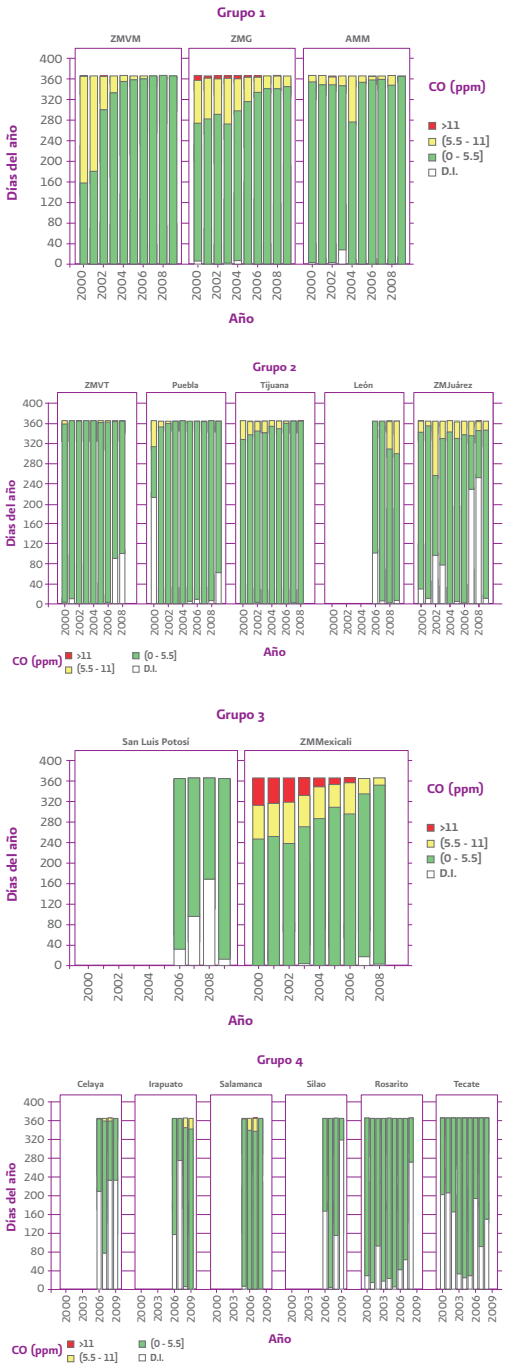
• Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

Figura 1.57 Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala

En general, la información para determinar la calidad del aire en cada día del periodo fue suficiente en casi todo éste, salvo los últimos dos años, en los que algunas redes contaron con menos datos disponibles o dejaron de medir. En este último caso se encuentran Toluca y todas las redes de Baja California. En Celaya y Silao el porcentaje de días con datos insuficientes en los últimos años es de más del 60%.

En Guadalajara y Mexicali se registraron más días en rojo y amarillo, como se anticipaba por el diagnóstico del cumplimiento de la norma que se presentó en la sección anterior. Por otra parte, en las ciudades del grupo 4 no se observan días en amarillo, pero esta apreciación puede estar sesgada, ya que falta mucha información de estas redes.

Se observa un descenso del número de días amarillos en todas las ciudades, y aparentemente no han aumentado las concentraciones de este contaminante en ninguna ciudad. Sin embargo, la falta de datos en varias ciudades en los últimos años sugiere cautela en esta interpretación.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día, de al menos el 50% de concentraciones horarias.

CO

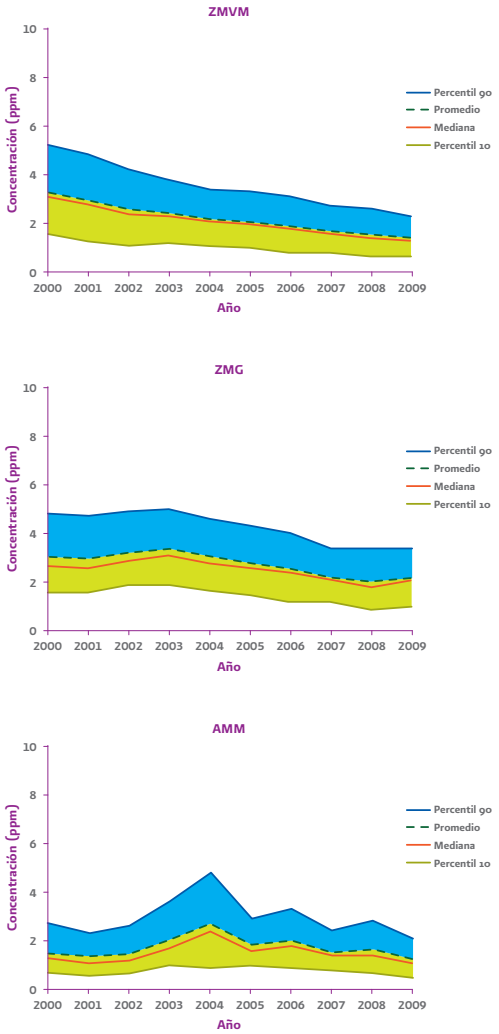
• Tendencias de las concentraciones diarias

En las figuras 1.58 a 1.60 se ilustra el comportamiento del 80% de las concentraciones diarias para cada una de las zonas metropolitanas y ciudades, de cada uno de los años que comprende el periodo de análisis. No se muestran las gráficas del grupo 3 porque no se contó con datos suficientes ni de San Luis Potosí ni de la ZM de Mexicali para calcular los indicadores.

Figura 1.58 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 1)

En este grupo todas las zonas metropolitanas contaron con información suficiente de todo el periodo de análisis. A partir de estos datos, se observa que las zonas metropolitanas del valle de México y Guadalajara exhiben una tendencia decreciente de las concentraciones diarias del contaminante. Esta tendencia es más marcada en la ZMVM, pues el percentil 90 se redujo en alrededor de 2 ppm.

En el AMM se observa una reducción leve de las concentraciones promedio y mediana en los últimos cuatro años, pero el percentil 90 no tiene el mismo comportamiento, razón por la cual no se aprecia una tendencia clara.



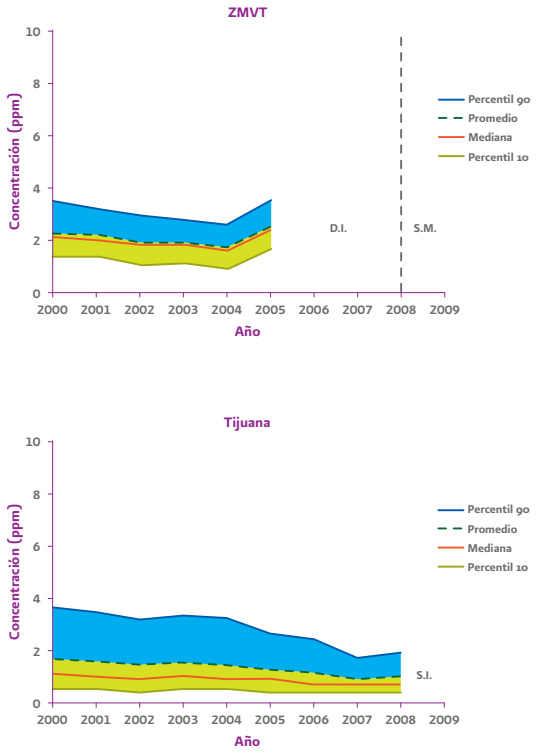
CO

Figura 1.59 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 2)

En este grupo no fue posible elaborar las gráficas de la ZM de Juárez, de Puebla y de León, por falta de información suficiente para el cálculo de los indicadores.

En la ZMVT aparentemente se observa un aumento en las concentraciones entre 2004 y 2006. No obstante, a partir de 2006 no se conoce la calidad del aire con respecto a este contaminante, ya sea por no contar con datos suficientes o por ausencia de mediciones, como en 2009.

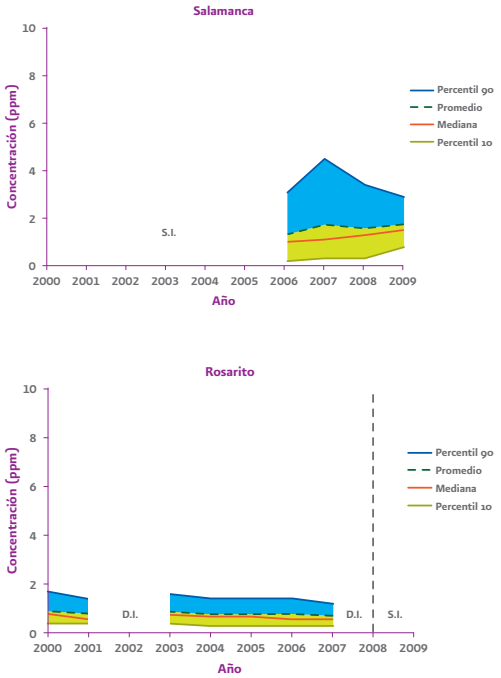
En Tijuana se observa una clara tendencia decreciente en las concentraciones diarias, aunque faltan los datos de 2009 para determinar si la tendencia continúa.



D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.M.= Sin medición.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

CO

Figura 1.60 Tendencia de las concentraciones diarias (grupo 4)



En este grupo solo en una de las ciudades de Baja California y en una de Guanajuato se obtuvo información suficiente para calcular los indicadores de más de dos años. Por lo tanto, no se exhiben las gráficas de Celaya, Irapuato y Silao.

En Salamanca solo se cuenta con información de los últimos cuatro años, pero en éstos no es posible distinguir una tendencia en las concentraciones. No obstante, se observa que el percentil 90 en 2007 se aleja mucho del promedio y la mediana, lo que indica que en ese año las concentraciones fueron muy variables.

En Rosarito la magnitud de las concentraciones es notablemente menor que en Salamanca. Se aprecia una ligera tendencia decreciente en el periodo 2003 a 2007, pero desde ese año se desconoce la situación.

No se presenta el indicador para la ZM de Juárez, Puebla y León, del grupo 2, la ZM de Mexicali y San Luis Potosí, del grupo 3, y Celaya, Irapuato, Silao y Tecate, del grupo 4, debido a que no cumplieron con los criterios de suficiencia anual en varios de los años del periodo de análisis.

D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el año, de al menos el 75% de datos diarios.
S.I.= Sin información. La información no está disponible en el INE.

• Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año

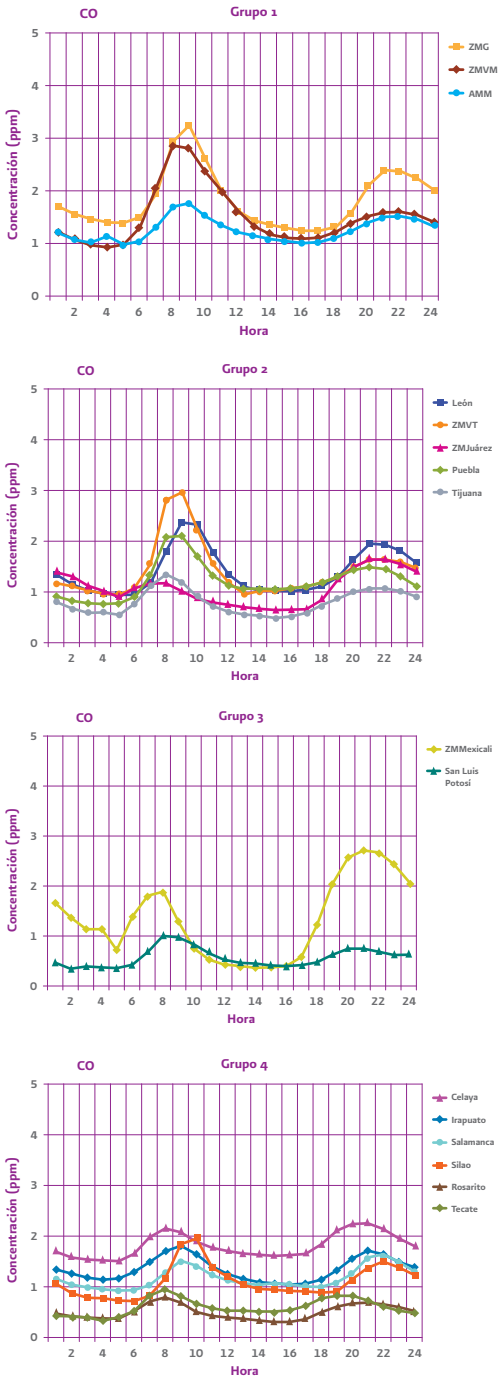
Las gráficas de la figura 1.61 muestran el comportamiento horario del CO en las 16 ciudades.

Figura 1.61 Comportamiento durante el día

Este contaminante también exhibe un comportamiento bimodal que, como el del NO_2, obedece a la actividad vehicular. En todas las ciudades las concentraciones máximas se dan por la mañana y en la tarde se elevan nuevamente, pero no en la misma medida. Este comportamiento tiene su excepción en Mexicali, donde las concentraciones máximas se presentan durante la noche.

Sin embargo, la magnitud de las concentraciones varía notablemente. Por ejemplo, en la ZMG se registraron concentraciones horarias comparativamente más altas que en la ZMVM, repitiendo el patrón que se observó con el NO_2. En este caso, además, las zonas metropolitanas de Toluca y Mexicali, así como León, tuvieron concentraciones máximas de magnitud similar.

Las concentraciones más bajas se advierten en tres redes de Baja California (Rosarito, Tecate y Tijuana), así como en San Luis Potosí. Asimismo, las concentraciones registradas en el AMM son notablemente bajas, considerando el tamaño de la flota y su actividad.

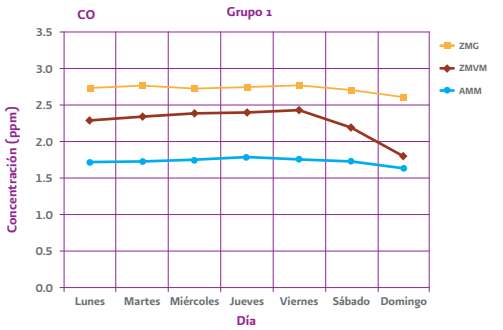


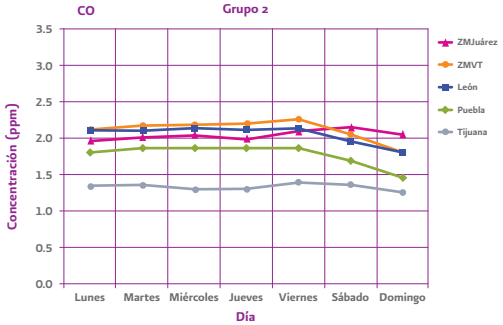
CO

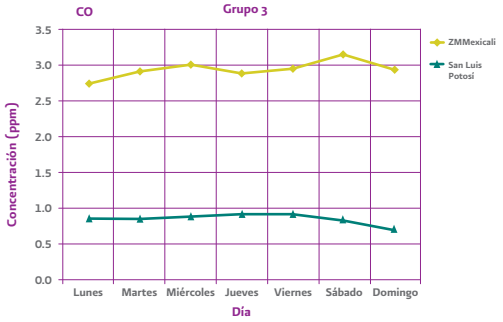
Figura 1.62 Comportamiento durante la semana

De este contaminante se observa un comportamiento similar al del NO_2: concentraciones constantes de lunes a viernes y reducidas el fin de semana. También en este caso se puede atribuir a la actividad vehicular.

En las zonas metropolitanas de Guadalajara y Mexicali las concentraciones son superiores a las del resto de las ciudades. En este sentido les siguen la ZMVM y Celaya, con concentraciones similares a pesar de pertenecer a grupos diferentes. Las ciudades que registraron las concentraciones promedio diarias más bajas fueron Rosarito, Tecate y San Luis Potosí.







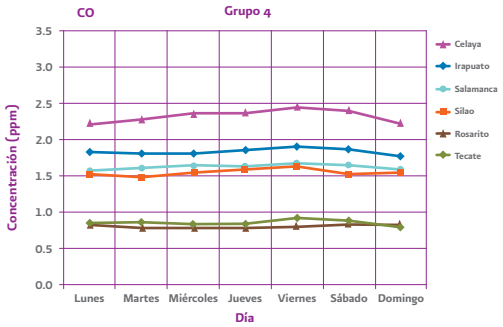
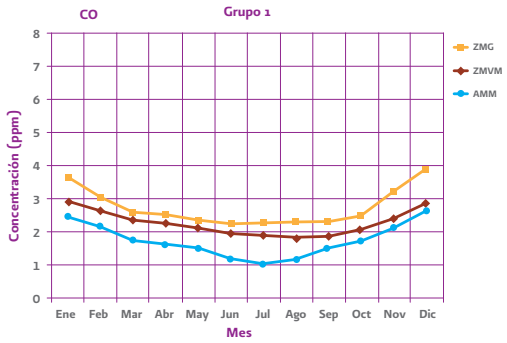


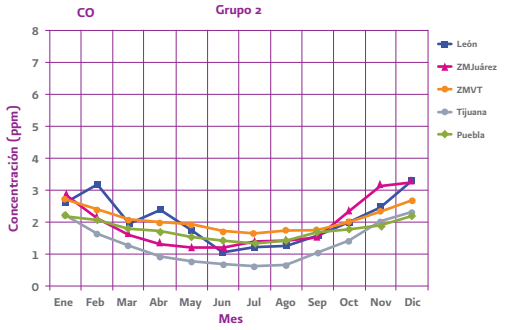
Figura 1.63 Comportamiento durante el año

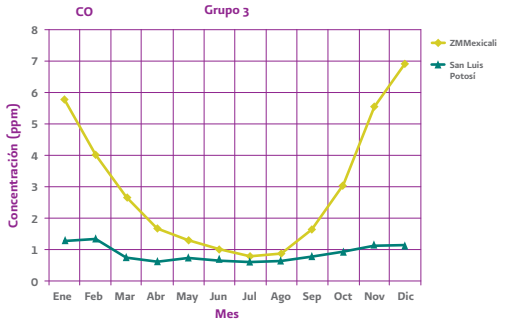
En este caso, el patrón que se observa en las ciudades de los grupos 1 y 2 es similar al del NO_2, pues también se trata de un contaminante primordialmente proveniente de los vehículos: las concentraciones mensuales más altas se observan en los meses fríos (noviembre a febrero). En esta época del año también se registran inversiones térmicas, que provocan la acumulación de contaminantes.

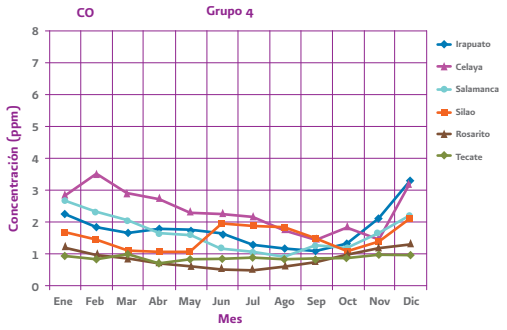
Por otra parte, en las ciudades del grupo 4 que pertenecen a Baja California, casi no varía la concentración con respecto a la época del año.

El caso de Mexicali es muy notorio, pues el patrón que siguen las concentraciones mensuales es el que se ha comentado en los párrafos anteriores. Sin embargo la variabilidad entre los promedios mensuales en esta ciudad es muy alta. De hecho, en Mexicali se registraron las concentraciones invernales más altas que en cualquier otra ciudad.









2.

Zona Metropolitana del Valle de México

2.1 Información general

Municipios y delegaciones	Hasta diciembre de 2005 estuvo conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal (DF) y 18 municipios del estado de México. Actualmente está conformada por 60 municipios (59 del estado de México y 1 de Hidalgo) y las 16 delegaciones del DF (ver anexo V) (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2008**	4.5 millones de vehículos (SMA-DF, 2010b)
		Índice de motorización	157 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	7854 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	La ZMVM se caracteriza por su desaceleración industrial y la consolidación de un sector para la prestación de servicios regionales y nacionales; es el centro financiero del país y sede de las principales empresas nacionales y extranjeras que operan en México (Mansilla, 2009)
Altitud	2240 msnm (SMA-DF, 2010b)		
Población en 2010	29 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2008, destaca que los vehículos automotores son la fuente más significativa de CO, NOx y $PM_{2.5}$, en tanto que las emisiones más importantes de COV, COT, PM_{10} y NH_3 provienen de las fuentes de área. Por otra parte, las fuentes fijas son la principal fuente generadora de SO_2 (figura 2.1) (SMA-DF, 2010b).

Figura 2.1 Inventario de emisiones de la ZMVM (2008)

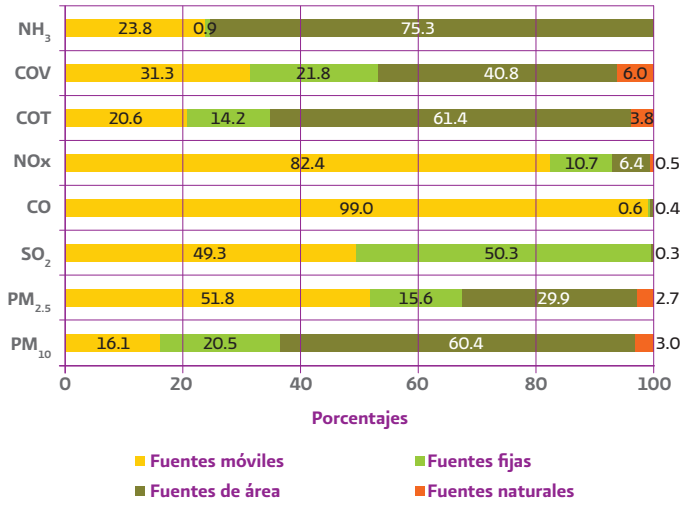


Figura 2.2a Estaciones de la RAMA de la ZMVM analizadas en el periodo 2000-2009

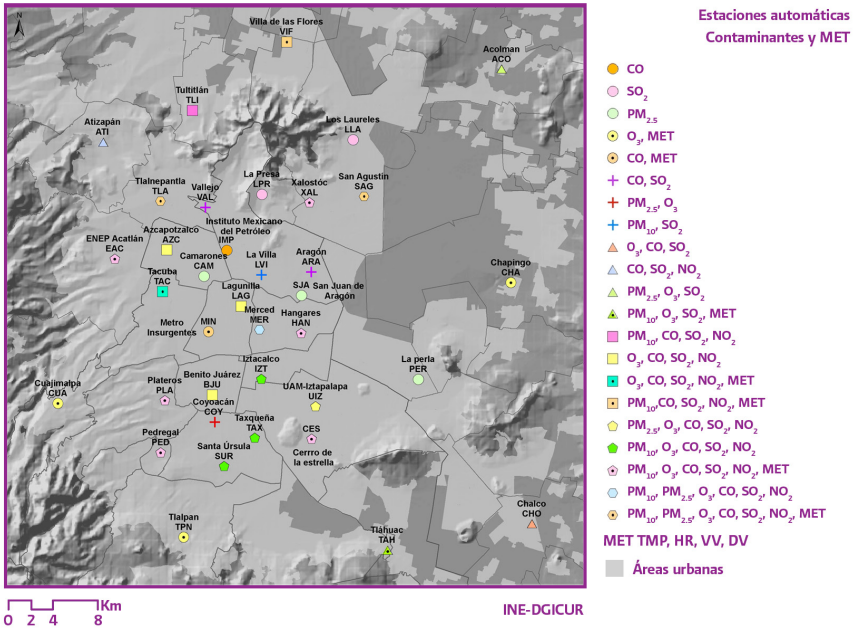
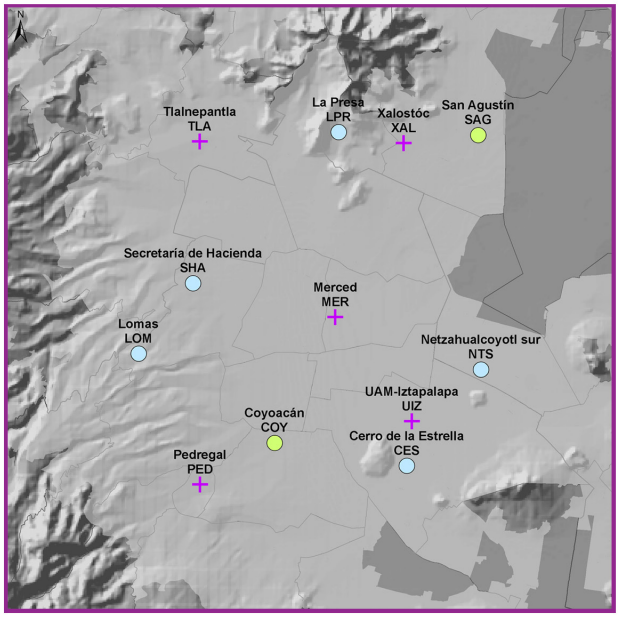


Figura 2.2b Estaciones de la REDMA de la ZMVM analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVM data de 1966, cuando la entonces Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia integró la primera red de monitoreo con equipos para medir SO_2 y partículas suspendidas en cuatro estaciones (SMA-GDF, 2011). La página http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php contiene información sobre la red de monitoreo actual. El sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México (SIMAT) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones del SIMAT tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son 37 estaciones de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) y 12 de la red manual de monitoreo atmosférico (REDMA). Estas estaciones se ubican de acuerdo con los mapas de las figuras 2.2a y 2.2b, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada una. Las estaciones que miden variables meteorológicas se distinguen con un punto en el símbolo correspondiente a la estación.

Las estaciones Benito Juárez (BJU), Hangares (HAN), Insurgentes (MIN) y Museo de la Ciudad de México (MCM) dejaron de medir en algún momento del periodo analizado; sin embargo, la información disponible antes de su salida de operación sí se incluye en el análisis de datos de este almanaque. Cabe mencionar que las $PM_{2.5}$ se empezaron a medir a partir de agosto de 2003.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 2.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) de la ZMVM. De acuerdo con la información disponible en 2009, se observa que la RAMA tiene un desempeño general muy bueno; las áreas de mejora son la frecuencia de las auditorías y el porcentaje de datos validados para contaminantes tales como PM_{10}, CO y SO_2. Sobre este último contaminante es importante decir que es indispensable mejorar el número de equipos de medición de SO_2 que aprueban la auditoría, a fin de hacer más confiable la información generada.

Cuadro 2.1 Desempeño de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) de la ZMVM

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Muy bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}	■				
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3	■				
	CO	■				
	NOx	■				
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}		■			
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3	■				
	CO		■			
	NO_2	■				
	SO_2		■			
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

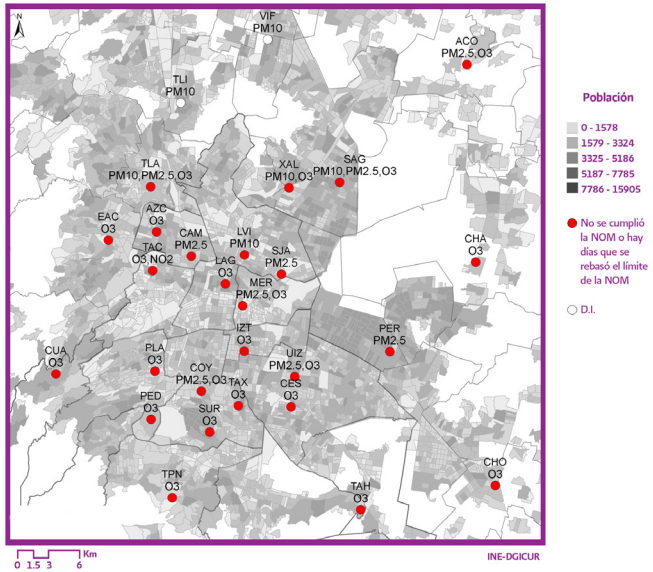
Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

2.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMVM

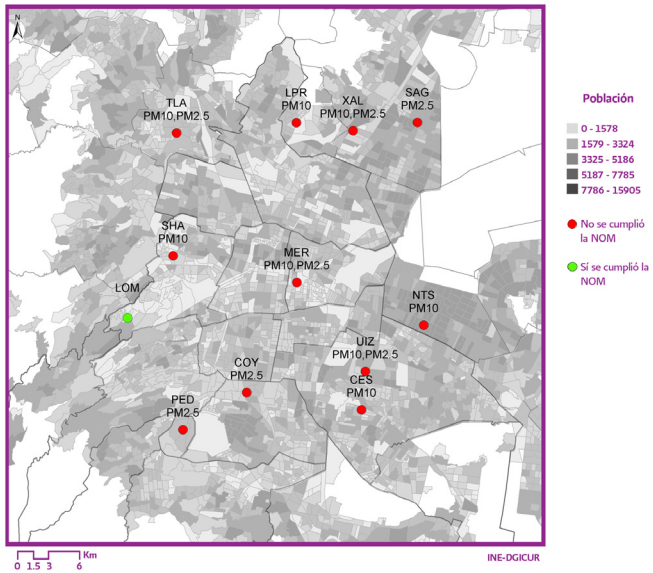
De acuerdo con el análisis de la información reportada por el SIMAT sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMVM se relacionan con altas concentraciones de O_3, PM_{10} y $PM_{2.5}$. Las figuras 2.3.a y 2.3.b muestran las estaciones de monitoreo de la RAMA y de la REDMA, respectivamente, que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. Considerando las estaciones de monitoreo que miden los contaminantes criterio en la ZMVM, el área de cobertura de éstas abarca entre el 42% y el 78% de la población, dependiendo del contaminante, véase el anexo VII.

Figura 2.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población en la ZMVM.

a) Estaciones automáticas



b) Estaciones manuales



Cuadro 2.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMVM. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMVM	
PM_{10}[b]	24 horas	-	LPR, XAL	No se cumplió	48
	Anual		SHA, TLA, LPR, NTS, XAL, MER, CES, UIZ	No se cumplió	
$PM_{2.5}$[b]	24 horas	-	-	Se cumplió	6[c]
	Anual		Todas	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	Todas	No se cumplió	179
	Anual	ACO, CHA, CUA, TPN, TAC y TAX	Todas las demás	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	1[d]
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:

a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.

b La evaluación del cumplimiento de la norma para las partículas se realizó con la información del monitoreo manual.

c A pesar de que en seis días se rebasó el límite de 65 µg/m³, la norma de 24 horas de las $PM_{2.5}$ se cumplió debido a que éstos caen en la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM, del 2% de mediciones en un año.

d A pesar de que se rebasó el límite de 0.21 ppm de 1 hora en un día, la norma del NO_2 se cumplió debido a que la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM es precisamente de un día.

Como complemento, el cuadro 2.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Es importante decir que en el caso de las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), el análisis relacionado con el cumplimiento de la norma se hizo con los datos recopilados a través de la REDMA, y para el resto de los contaminantes, con los datos de la RAMA, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

Si bien destaca que tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de la zona metropolitana se ha logrado cumplir con las normas de la calidad del aire para el CO, el SO_2 y el NO_2 desde los años 2001, 2002 y 2006, respectivamente, también es evidente que las partículas (tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$) y el O_3 siguen siendo los problemas más serios con la calidad del aire en la región. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

1 En México no existen especificaciones sobre cuáles datos utilizar para evaluar el cumplimiento de la normatividad vigente para las PM_{10} y $PM_{2.5}$. En la ZMVM se miden las PM con ambos equipos; en este caso la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM se realizó con los datos provenientes de la red de monitoreo manual, debido a que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) generalmente utiliza los datos provenientes de dicha red, sobre la base de que la calidad de dichos datos es mejor en relación con la precisión y el sesgo, debido a que estas mediciones están mejor controladas en el laboratorio, en términos de temperatura y humedad.

2.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMVM

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados por estación de monitoreo, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. En el caso particular de la ZMVM, debido al gran número de estaciones con que cuenta el SIMAT, éstas se agruparon en cinco regiones para facilitar la visualización de las gráficas. La agrupación corresponde a la utilizada por el SIMAT en su página de Internet http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo. Cabe recordar que en la evaluación del cumplimiento de las normas de la calidad del aire con respecto a las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se usaron solo los datos recopilados a través de la REDMA.

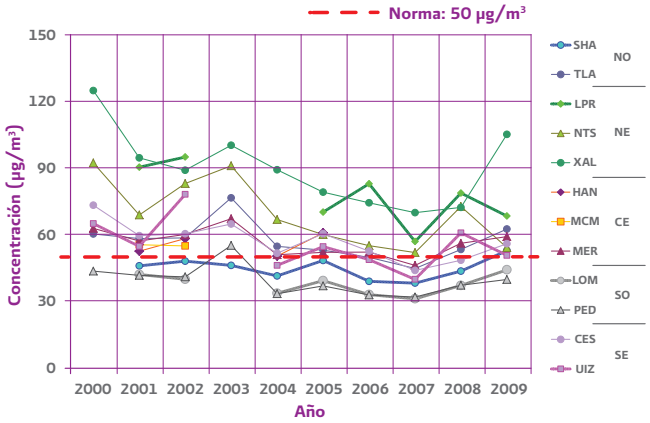
2) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

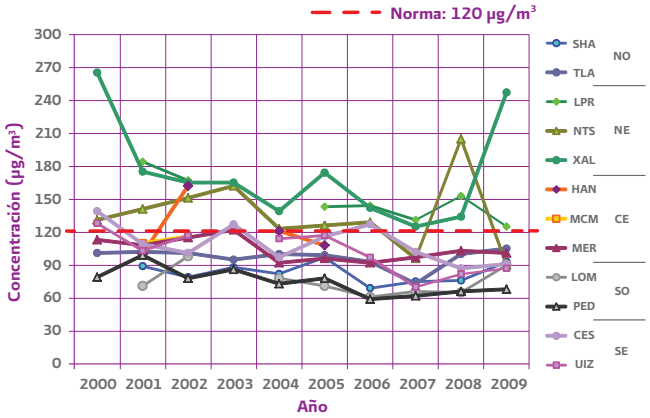
3) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

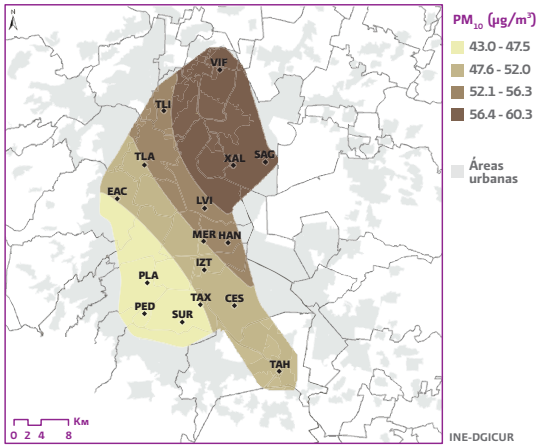
Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

El número de estaciones tomadas en cuenta para el cálculo puede variar dependiendo del contaminante y del método de cálculo, por lo que en cada caso se señala el número de estaciones utilizado.







Nota: en la elaboración de las gráficas relacionadas con el cumplimiento de las normas para este contaminante se utilizaron los datos de 12 estaciones de la REDMA. En la estimación del número de días con calidad del aire buena, regular y mala, se usaron los datos provenientes de 17 estaciones de la RAMA. Estas mismas se utilizaron para la elaboración del mapa.

Indicadores de las PM_{10}

Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

A pesar de que en la mayoría de las estaciones de monitoreo se había experimentado una reducción en este indicador entre 2003 y 2007, en los dos años más recientes se ha registrado un nuevo incremento y, por lo tanto, en 2009 el número de estaciones donde no se cumplió con la norma fue mayor que en los años previos, y parecido al de los años 2001 y 2002 aunque con valores menos alejados de la norma. Por otra parte, se observa que los promedios anuales más altos suelen ocurrir en las estaciones La Presa (LPR) y Xalostoc (XAL). En esta última destaca el notable incremento registrado en la concentración promedio anual de 2009, de alrededor del doble del valor normado.

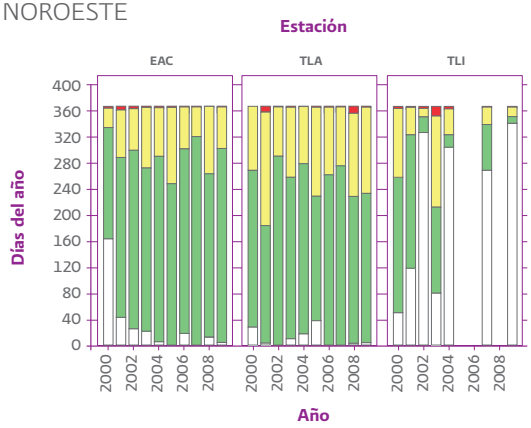
Límite de 24 h (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

A nivel de cada estación de monitoreo, este indicador muestra un comportamiento relativamente estable en la mayoría de las estaciones, lo que permite identificar con claridad que la norma suele rebasarse con mucho mayor frecuencia en las estaciones de la zona noreste (NE), tales como La Presa (LPR), Netzahualcóyotl Sur (NTS) y Xalostoc (XAL). Destacan en los años 2008 y 2009 las altas concentraciones que se registraron en las estaciones Netzahualcóyotl Sur (NTS) y Xalostoc (XAL) respectivamente.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

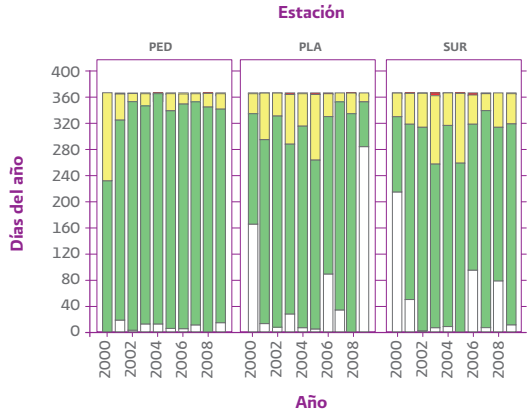
Se observa que, en promedio, los niveles más altos de PM_{10} se registran en el norte del área metropolitana, especialmente en los alrededores de las estaciones Xalostoc (XAL), San Agustín (SAG) y Villa de la Flores (VIF), con una disminución gradual hacia el suroeste. Una causa probable de este comportamiento es que en esta zona existen suelos desprovistos de cubierta vegetal que generan emisiones de PM_{10}, ya sea por la acción del viento o por el tráfico vehicular.

NOROESTE

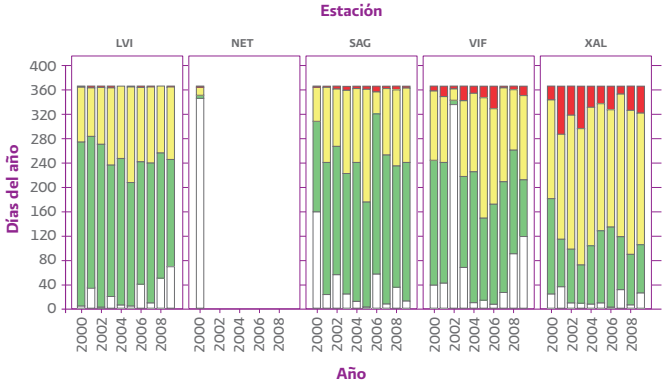


CENTRO

SUROESTE



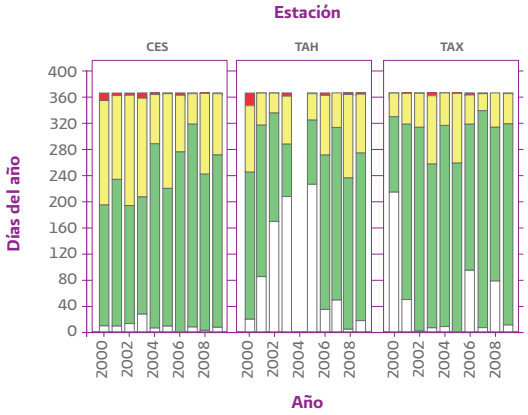
NORESTE



PM_{10} ($\mu g/m^3$)

- >120
- (60 - 120]
- (0 - 60]
- D.I.

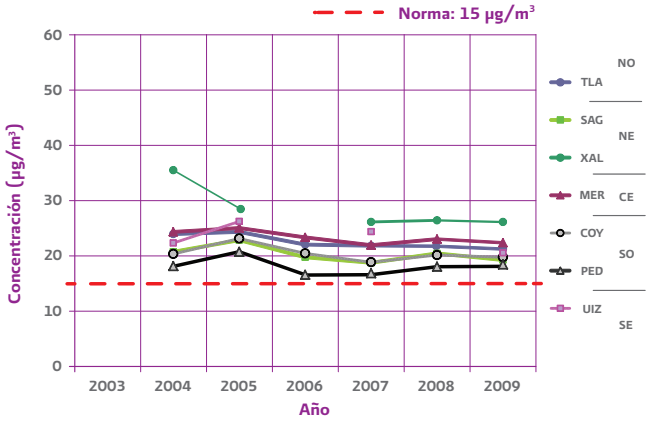
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

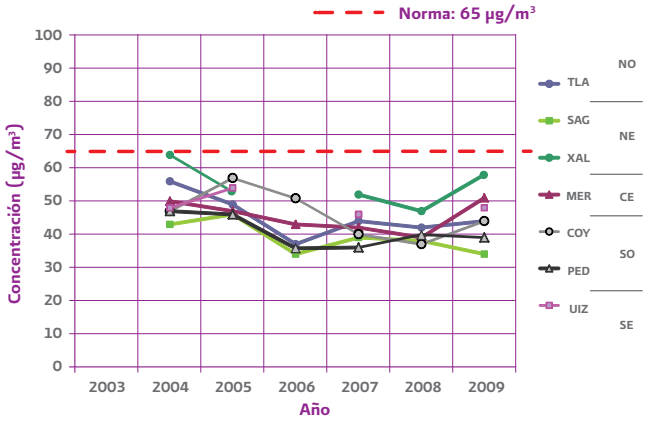
Las estaciones que se ubican al noreste de la zona metropolitana, especialmente Xalostoc (XAL) y Villa de la Flores (VIF), son las que registran la mayor cantidad de días en color rojo, en tanto que las ubicadas en la zona suroeste, y en menor medida la sureste, son las menos problemáticas con respecto a este contaminante. Por otra parte, en Xalostoc se registra la mayor cantidad de días en color amarillo, lo que indica el potencial de que se exceda la norma. Destaca también la irregularidad de las mediciones en los últimos cinco años en la estación Tultitlán (TLI), la cantidad de días sin datos suficientes en la estación Tláhuac (TAH) de 2000 a 2005, así como la insuficiencia de datos en PLA en 2009. En TLI y PLA la insuficiencia de datos en 2009 se debe a las obras de construcción en la zona (SMA-DF, 2010a). Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a la salida de operación de las estaciones Hangares (HAN) y Netzahualcóyotl (NET), o a la entrada en funciones de Iztacalco (IZT).

Indicadores de las $PM_{2.5}$



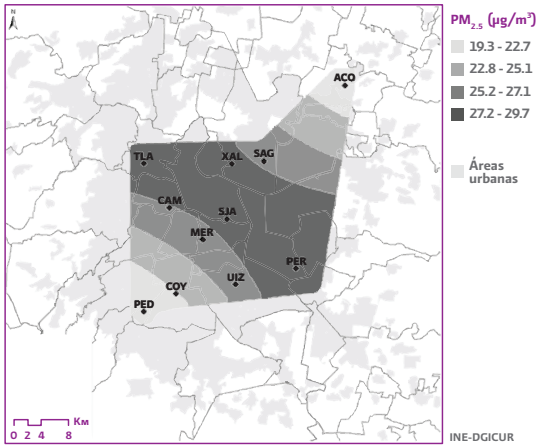
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

La norma anual no se ha cumplido en ninguno de los años analizados. Se observa que las concentraciones promedio anuales de la estación Xalostoc (XAL) son las más altas y en general en los últimos tres años los valores han tendido a mantenerse constantes.



Límite de 24 h (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

Caso contrario a lo observado en la norma anual: esta norma se ha cumplido en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado.

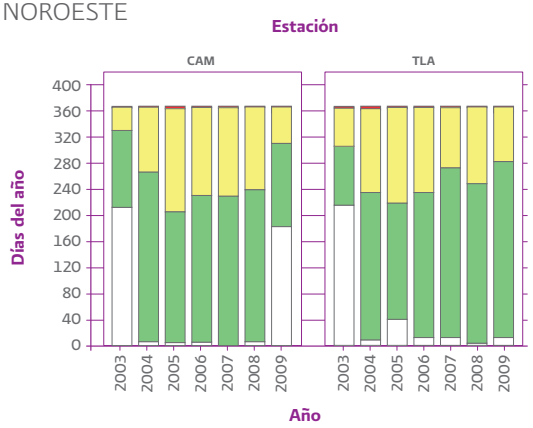


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los muestreos y promedios diarios de 24 h)

Las concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ se presentaron, en promedio, al norte del valle de México, en las inmediaciones de las estaciones Tlalnepantla (TLA), San Juan de Aragón (SJA), Xalostoc (XAL) y La Perla (PER). Las concentraciones más bajas, por el contrario, se registraron en los alrededores de la estación Pedregal (PED) al suroeste y Acolman (ACO) al noreste.

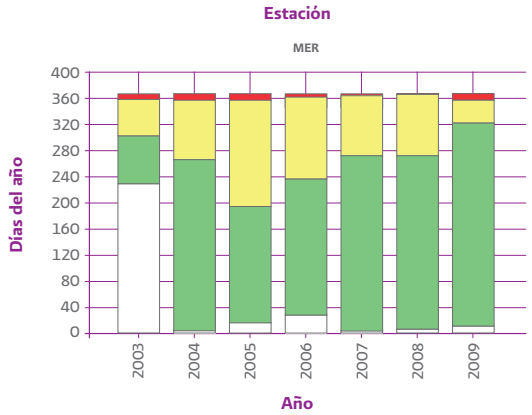
Nota: se utilizaron los datos de siete estaciones de la REDMA para la elaboración de las gráficas relacionadas con el cumplimiento de las normas para este contaminante. En la estimación del número de días con calidad del aire buena, regular y mala, se usaron los datos provenientes de nueve estaciones de la RAMA; en la elaboración del mapa, se utilizó la información de 11 estaciones, nueve de la RAMA y dos de la REDMA (Xalostoc y Pedregal), con el fin de ampliar la cobertura espacial de este contaminante, de acuerdo con la metodología descrita en la sección 3.3 del capítulo 22.

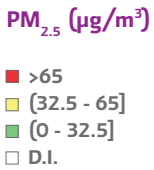
NOROESTE



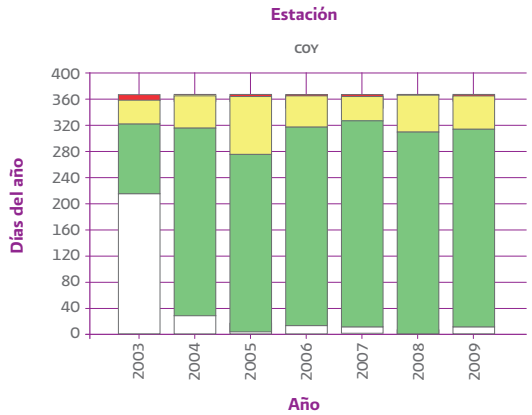
NORESTE

CENTRO

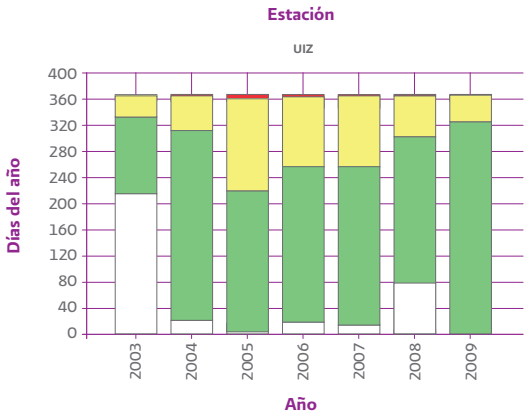




SUROESTE



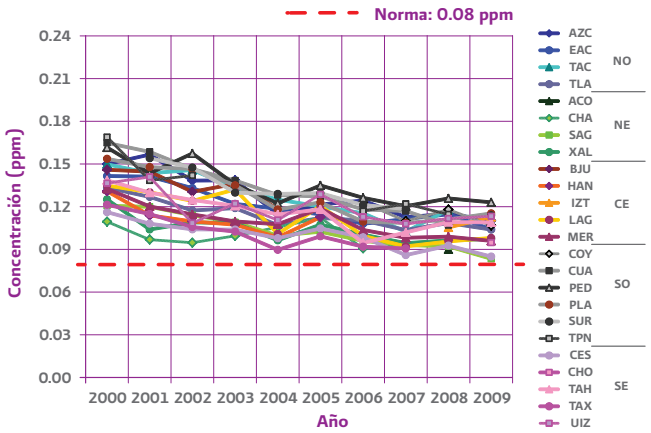
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

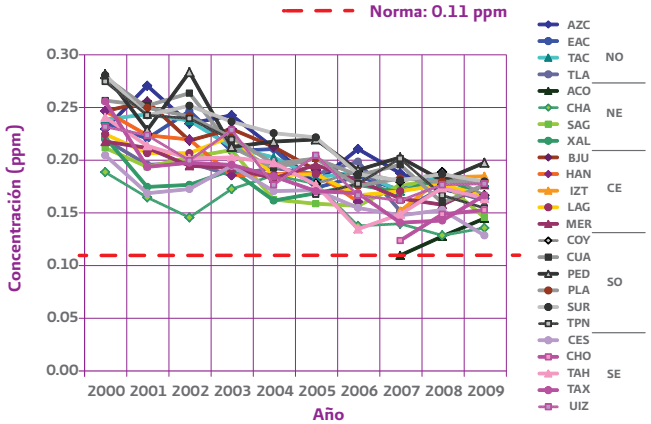
En congruencia con la distribución espacial de las PM_{10}, este contaminante también registró la mayor cantidad de días en color rojo en la zona noreste, particularmente en la estación La Perla (PER), que es la estación que reporta los mayores problemas con respecto a las $PM_{2.5}$, pues registra un número importante de días en color amarillo. Merced (MER) e Iztapalapa (UIZ) son las únicas estaciones que muestran una tendencia a la baja en cuanto al número de días en color amarillo, mientras que en el resto de las estaciones el comportamiento es más irregular. Por otra parte, el vacío de información que se observa en la estación Acolman (ACO) obedece a que entró en operación en 2007.

Indicadores del O_3



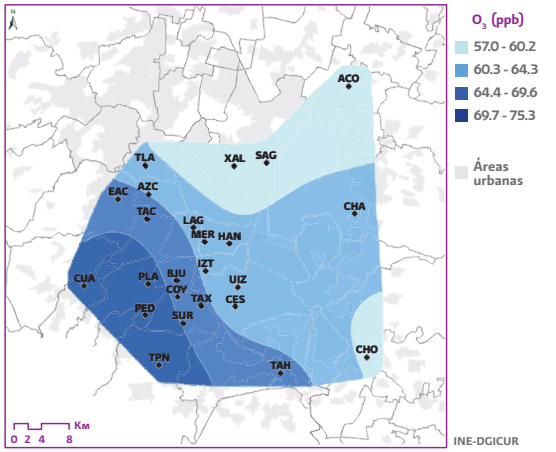
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Este indicador muestra una disminución constante en todo el periodo analizado en todas las estaciones de monitoreo. A pesar de ello, esta norma no se cumple en ninguna estación y en ninguno de los años incluidos en el análisis. La zona suroeste suele registrar las concentraciones promedio de 8 horas más elevadas, particularmente en la estación Pedregal (PED).



Límite horario (máximo horario)

Se observa que en la mayoría de las estaciones de monitoreo se registra una notable tendencia a la baja en las concentraciones máximas horarias de ozono, especialmente de 2003 a la fecha. A pesar de esta tendencia, todavía en 2009 más de la mitad de las estaciones muestran concentraciones superiores a 0.165 ppm, valor un 50% superior al de la norma. Las concentraciones de ozono más elevadas suelen registrarse en la zona suroeste (SO) de la ciudad, especialmente en las estaciones Pedregal (PED) y Santa Ursula (SUR).

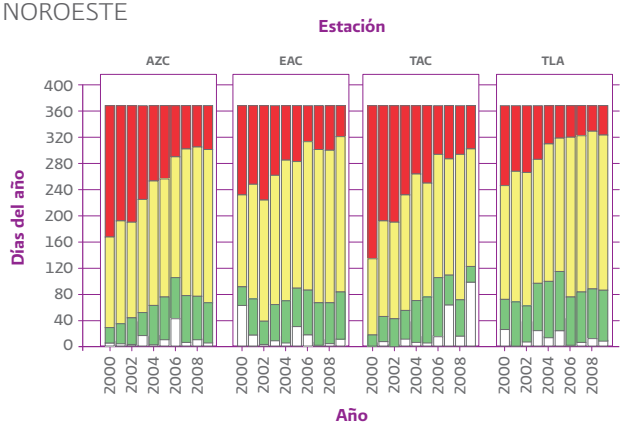


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

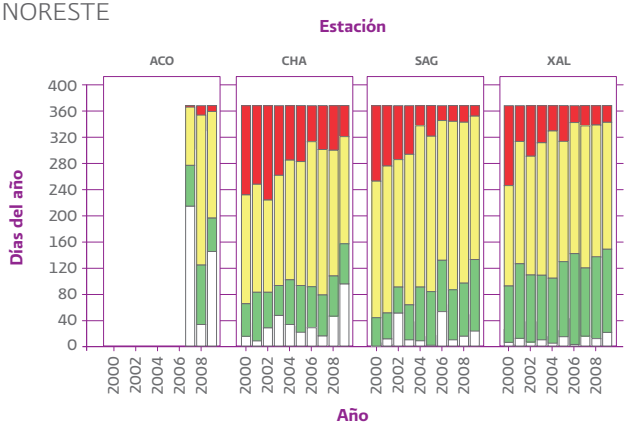
Las concentraciones más altas de este contaminante se localizaron, en promedio, al suroeste de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Pedregal (PED), Tlalpan (TPN) y Cuajimalpa (CUA), con una notable atenuación hacia el este y el norte. Este comportamiento, en general, se relaciona con el viento predominante, que va del noreste al suroeste.

Nota: en el cálculo de todos los indicadores se utilizaron los datos de las 24 estaciones de la RAMA, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3 de capítulo 22.

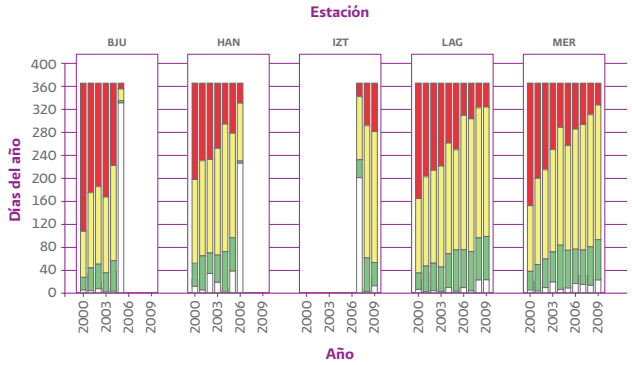
NOROESTE

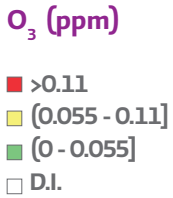


NORESTE

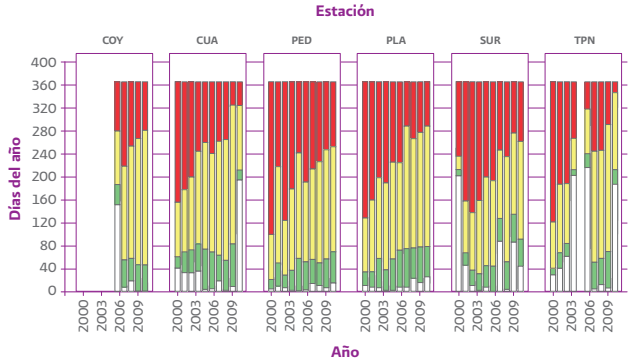


CENTRO

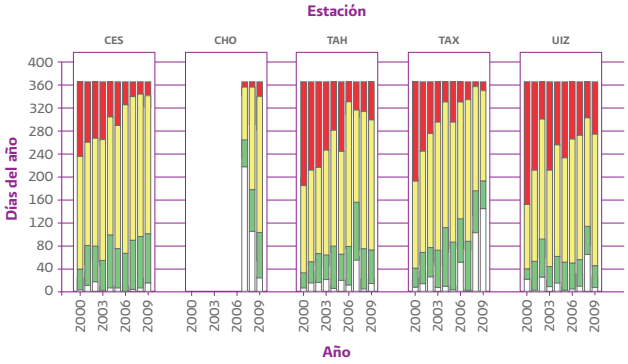




SUROESTE



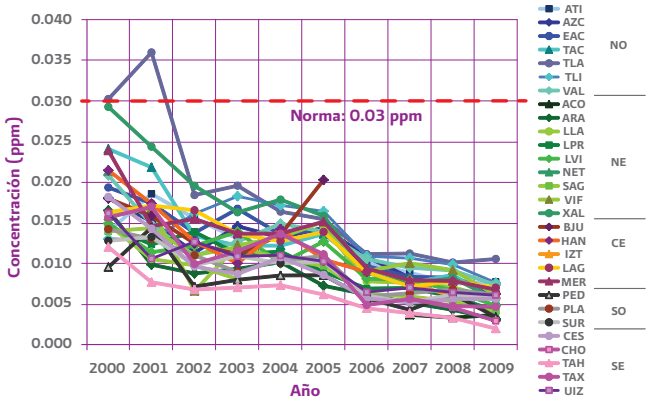
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

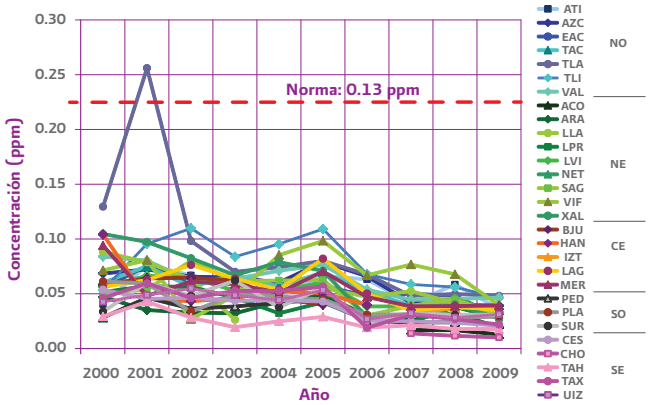
Este indicador revela que si bien el ozono sigue siendo un problema generalizado en la ZMVM, la situación ha ido mejorando, pues en la gran mayoría de las estaciones de monitoreo se nota una tendencia decreciente en el número de días en los que se rebasa el valor de la norma (en color rojo). Solo en las estaciones Iztacalco (IZT), Tláhuac (TAH), y de manera menos evidente en Chalco (CHO), se observa un incremento de días en rojo entre 2006 y 2009. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación las estaciones Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), o a la entrada en funciones de Acolman (ACO), Iztacalco (IZT), Coyoacán (COY) y CHO.

Indicadores del SO_2



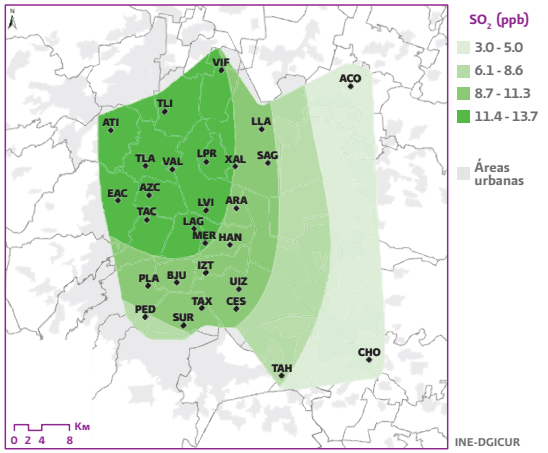
Límite anual (promedio anual de las concentraciones horarias)

Esta norma se ha cumplido en toda la ZMVM de 2002 a la fecha, y además se registra una notable reducción en las concentraciones promedio anuales de SO_2 entre 2006 y 2009.



Límite de 24 h (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Desde 2002 y hasta la fecha esta norma de la calidad del aire ha sido cumplida en todas las estaciones de monitoreo; destaca además una ligera reducción en los segundos máximos registrados entre 2006 y 2009 en casi todas estaciones.

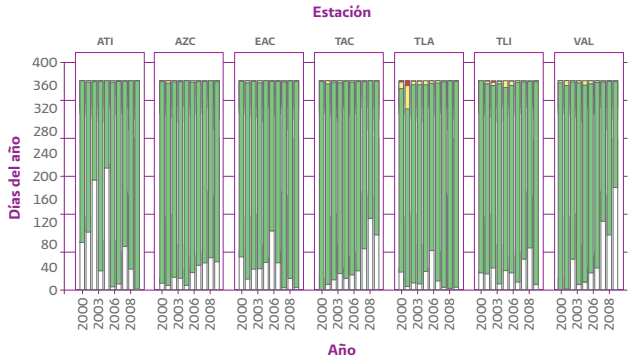


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

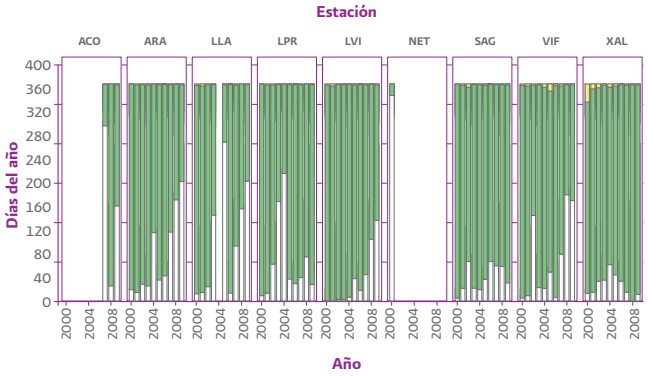
Las concentraciones más elevadas de bióxido de azufre se registran en la zona noroeste, en las cercanías de estaciones como Tultitlán (TLI), Atizapán (ATI), Tlalnepantla (TLA), Vallejo (VAL), ENEP Acatlán (EAC) y Tacuba (TAC), con una marcada atenuación hacia el sur y el este. Esta distribución puede ser producto de las emisiones generadas por la industria asentada en la zona norte que hace uso ilegal de combustibles con elevado contenido de azufre (SMA-DF, 2006). Otra posible causa pueden ser las emisiones de SO_2 generadas por la industria que se ubica fuera de los límites de la ZMVM, y que bajo ciertas condiciones meteorológicas pueden ser arrastradas al interior del valle (García-Reynoso, 2009).

Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 28 estaciones de la RAMA.

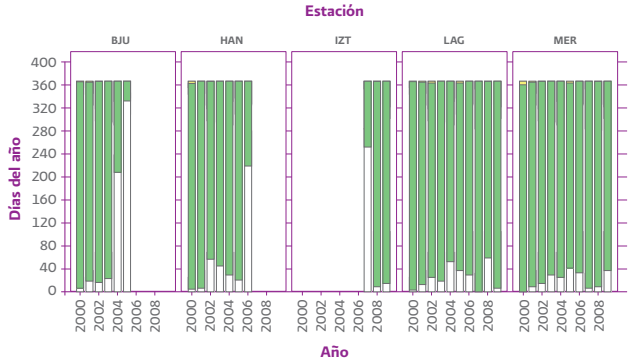
NOROESTE

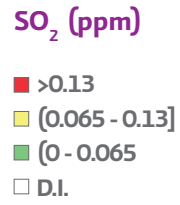


NORESTE

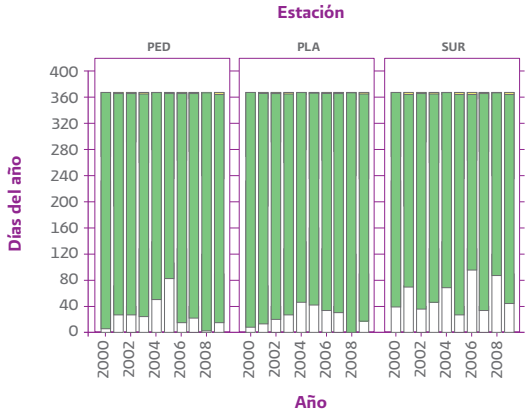


CENTRO





SUROESTE

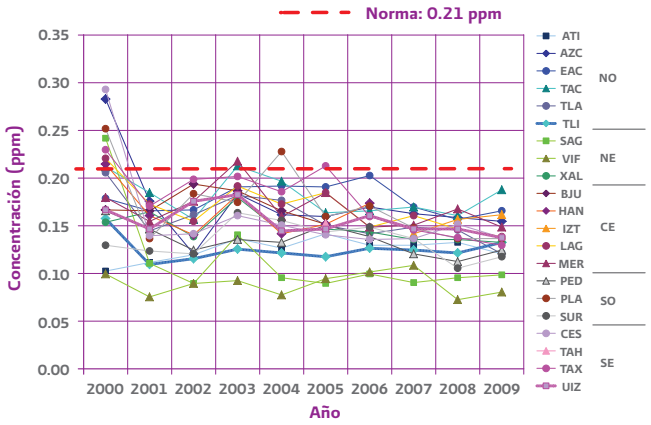


SURESTE

Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

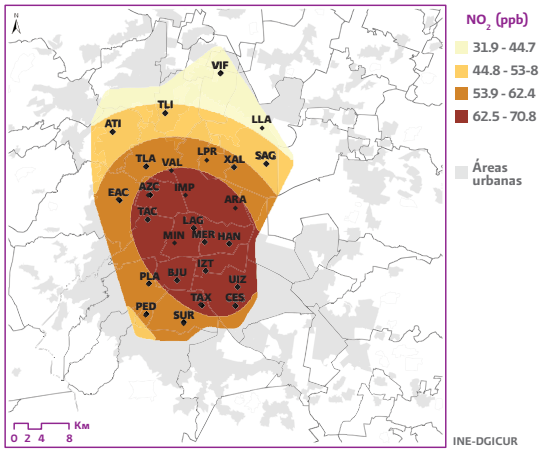
De 2003 a la fecha solo se ha registrado un día con una concentración de SO_2 superior al valor de la norma, y éste ocurrió en 2008 en la estación Tultitlán (TLI). En todas las demás estaciones, incluso en TLI, no se han registrado más días en color rojo. De hecho, este contaminante ya no representa un problema serio para la calidad del aire en la zona metropolitana si consideramos que la mayor cantidad de los días de cada año caen en el color verde, con concentraciones inferiores a la mitad del valor de la norma. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación Netzahualcóyotl (NET), Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), y entraron en funciones Acolman (ACO), Iztacalco (IZT) y Chalco (CHO).

Indicadores del NO_2



Límite horario (segundo máximo horario)

Los indicadores por estación de monitoreo indican que la norma de este contaminante se ha cumplido en toda la ZMVM desde 2006, año a partir del cual se observa una ligera disminución de este indicador en más de la mitad de las estaciones de monitoreo. De 2000 a 2006 solo Tacuba (TAC), Plateros (PLA) y Taxqueña (TAX) no cumplieron la norma en dos años.

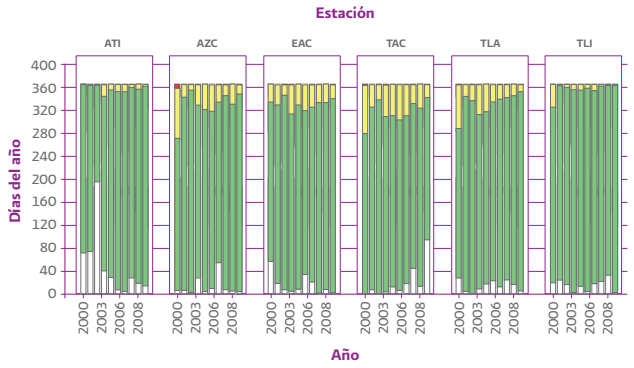


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

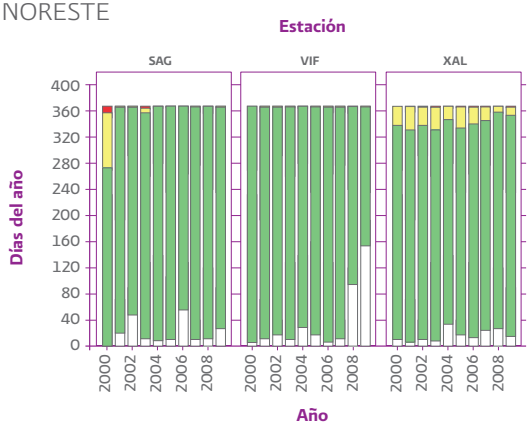
Al igual que el monóxido de carbono, el NO_2 es emitido principalmente por las fuentes vehiculares, y ello explica que ambos contaminantes muestren una distribución espacial similar y marcada de altas concentraciones en el centro urbano de la ciudad.

Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 21 estaciones de la RAMA, a excepción del mapa, en cuya elaboración se utilizaron 20, ya que no se consideró Tláhuac (TAH) por su escasa cantidad de datos en el periodo de análisis, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3.3 del capítulo 22.

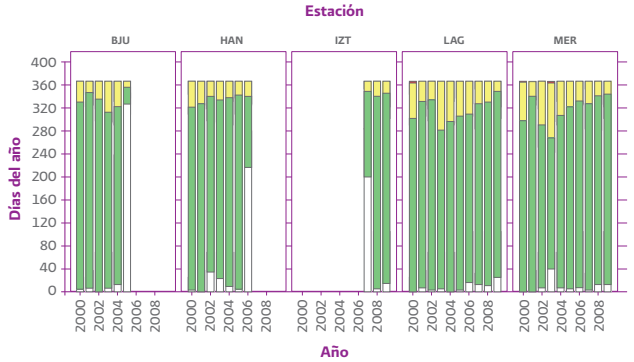
NOROESTE



NORESTE



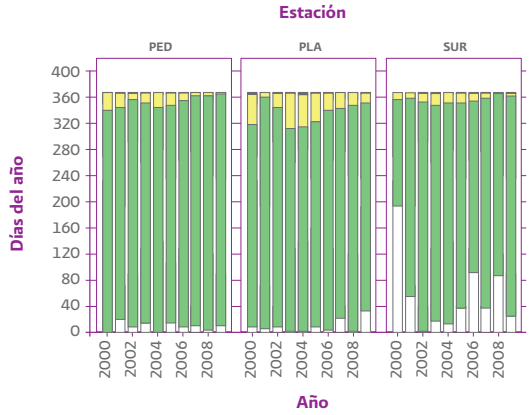
CENTRO



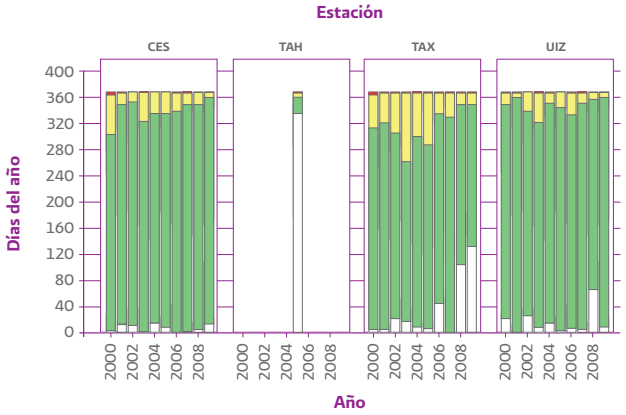
NO_2 (ppm)

- >0.21
- (0.105 - 0.21]
- (0 - 0.105]
- D.I.

SUROESTE



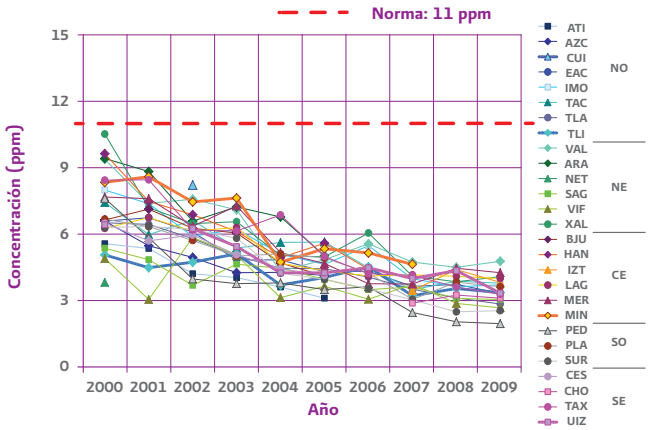
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

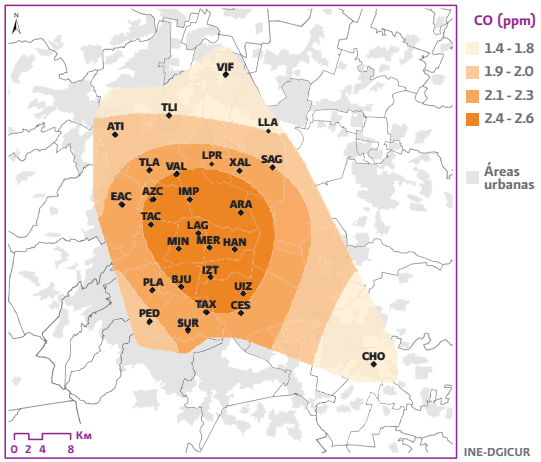
A pesar de que en muy pocas ocasiones se rebasa el valor de la norma, se puede apreciar que esto suele ocurrir con mayor frecuencia en el noroeste del área metropolitana, especialmente en la estación Tacuba (TAC). En general, en prácticamente todas las estaciones de monitoreo se aprecia una mejora que se ve reflejada no solo en la ausencia de días en color rojo, sino también en la reducción de días en color amarillo. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), ya no mide este contaminante Tláhuac (TAH), pero continúa en operación o entró en funciones Iztacalco (IZT).

Indicadores del CO



Límite horario (segundo máximo de los promedios móviles de 8 h)

Como puede observarse en la gráfica, se ha cumplido la norma en todas las estaciones de monitoreo durante todo el periodo. Además, continúan reduciéndose las concentraciones, y en casi la totalidad de las estaciones las concentraciones más bajas se han presentado en alguno de los tres años más recientes, especialmente en 2009.



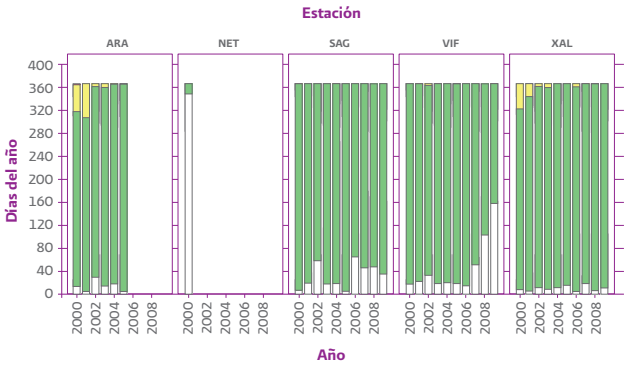
Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Se puede observar que las concentraciones más elevadas de este contaminante se presentan en estaciones de la zona norte: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Azcapotzalco (AZC), Tacuba (TAC) y Aragón (ARA); del centro: Lagunilla (LAG), Metro Insurgentes (MIN), Merced (MER), Hangares (HAN) y Benito Juárez (BJU); y del sur: UAM Iztapalapa (UIZ) y Taxqueña (TAX), lo que sin duda es reflejo de la intensa actividad vehicular que se registra a lo largo y ancho del valle de México.

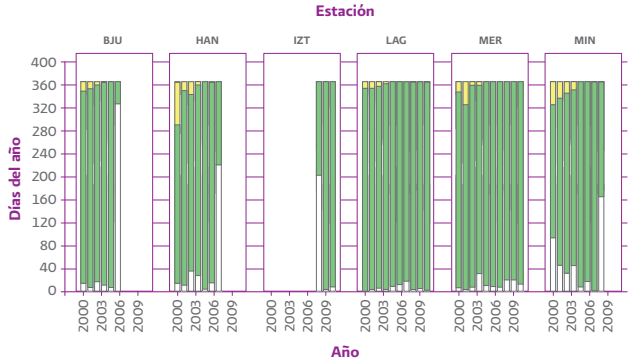
Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 26 estaciones de la RAMA, a excepción del mapa, para cuya elaboración se utilizaron 25, ya que no se consideró la información de Cuitláhuac (CUI) por su escasa cantidad de datos en el periodo de análisis, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3.3 del capítulo 22.

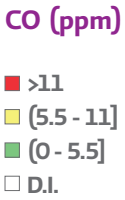
NOROESTE

NORESTE

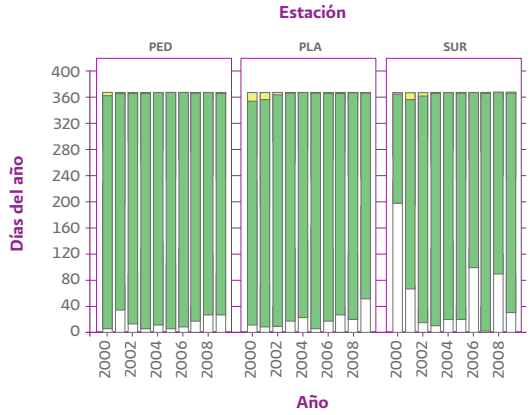


CENTRO

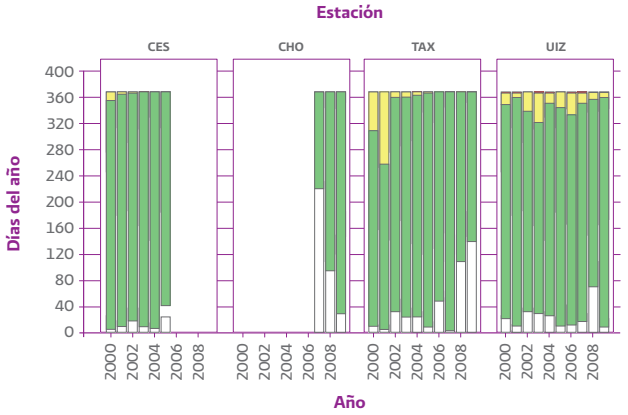




SUROESTE



SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Desde el año 2003 en todas las estaciones de monitoreo que cuentan con mediciones se han registrado concentraciones de CO inferiores al valor de la norma, lo que aunado a que casi no se han presentado días en color amarillo, revela que este contaminante ha dejado de ser un problema importante para la calidad del aire a nivel urbano en la ZMVM desde hace varios años Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación las estaciones Cuitláhuac (CUI), Netzahualcóyotl (NET), Benito Juárez (BJU), Hangares (HAN) y Metro Insurgentes (MIN); ya no miden este contaminante pero continúan en operación Atizapán (ATI), Azcapotzalco (AZC), Aragón (ARA) y Cerro de la Estrella (CES); y entraron recientemente en funciones Acolman (ACO), Iztacalco (IZT) y Chalco (CHO).

3.

Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

3.1 Información general

Municipios	Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	1.7 millones de vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	381 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	2734 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	Ganadería (principalmente de especies bovinas, porcinas, ovicaprinas, caprinas, equinas y avícola); industrias textil y metalmecánica; turismo y comercio (GEJ, 2007)
Altitud	1540 msnm (GEJ, 2007)		
Población en 2010	4.4 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2005, destaca que los vehículos automotores aportan porcentajes importantes de COV, NOx y CO, de manera similar a lo que ocurre en otras grandes zonas metropolitanas. Sin embargo, también destacan las aportaciones significativas de las fuentes de área al SO_2, y las emisiones de PM_{10} por erosión de suelos (SEMARNAT, 2010).

Figura 3.1 Inventario de emisiones de la ZMG (2005)

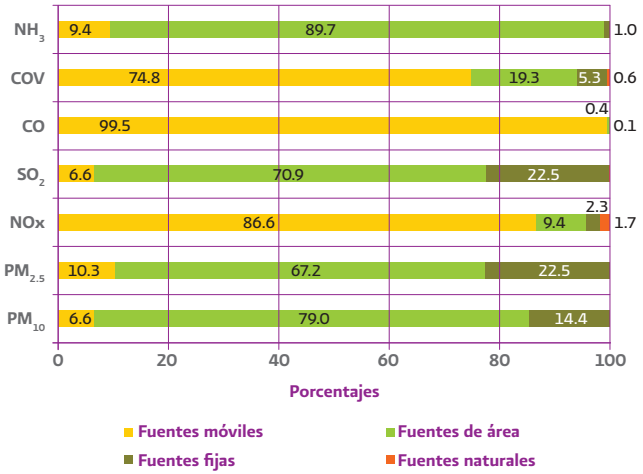
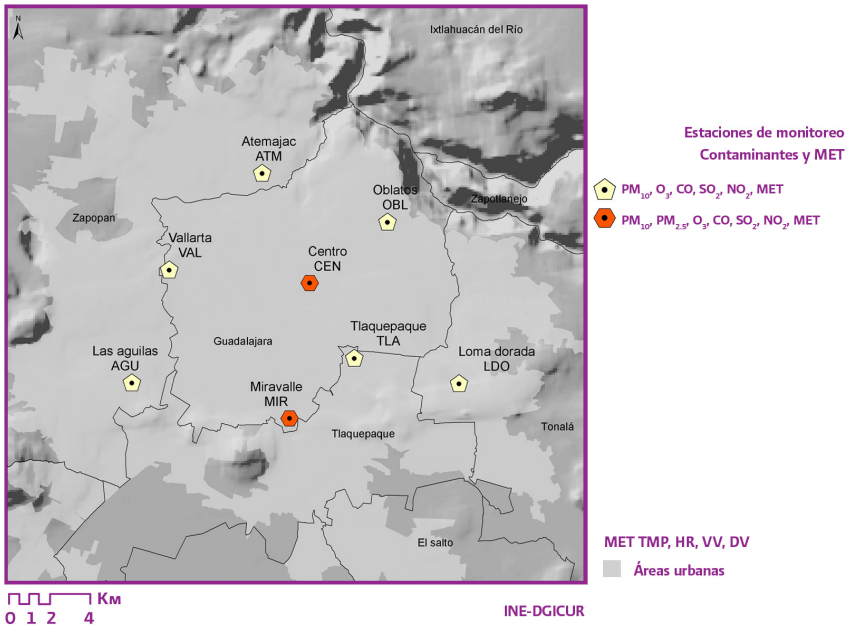


Figura 3.2 Estaciones de la RAMAG analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMG se inició en 1993. La página http://siga.jalisco.gob.mx/ramasp/ramag.htm contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico RAMAG se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMAG tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son ocho, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 3.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación. Cabe aclarar que aunque las $PM_{2.5}$ se empezaron a medir a partir de 2007, se considera que los equipos de medición empezaron a funcionar de manera adecuada en julio de 2011, por lo que no se incluye su análisis (SEMADES-GEJ, 2011). Si bien en 2010 fue instalada la nueva estación de monitoreo "Las pintas" situada en el municipio de El Salto, no se incluye su ubicación en el mapa, ni su análisis, porque el año está fuera del periodo contemplado en este almanaque.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 3.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMG. De acuerdo con la información disponible en 2009, se observa que la RAMAG requiere atención para mejorar su desempeño, pues a pesar de que son adecuados los mecanismos de difusión de la información y la oportunidad con que se realiza la validación de datos, así como el porcentaje de datos validados obtenidos para las mediciones de PM_{10}, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes en lo que

respecta a la frecuencia de las auditorías, al número de equipos de medición que cumplen los criterios de las auditorías, al porcentaje de datos validados para las $PM_{2.5}$ y a la trazabilidad de los equipos de calibración.

Es oportuno mencionar que se solicitó oficialmente a la Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana y Regional la anulación de todos los datos sobre las $PM_{2.5}$ debido a que recientemente se les informó a los encargados de la RAMAG que los equipos de medición de este contaminante nunca se configuraron ni se adecuaron apropiadamente para su operación; por tal motivo, no se tiene certeza de la veracidad de estos datos, y por tanto no se presenta el análisis de las $PM_{2.5}$ en este almanaque.

Cuadro 3.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMG (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Requiere atención
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	$PM_{2.5}$					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	$PM_{2.5}$[b]					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos[c]						
Difusión de la información						

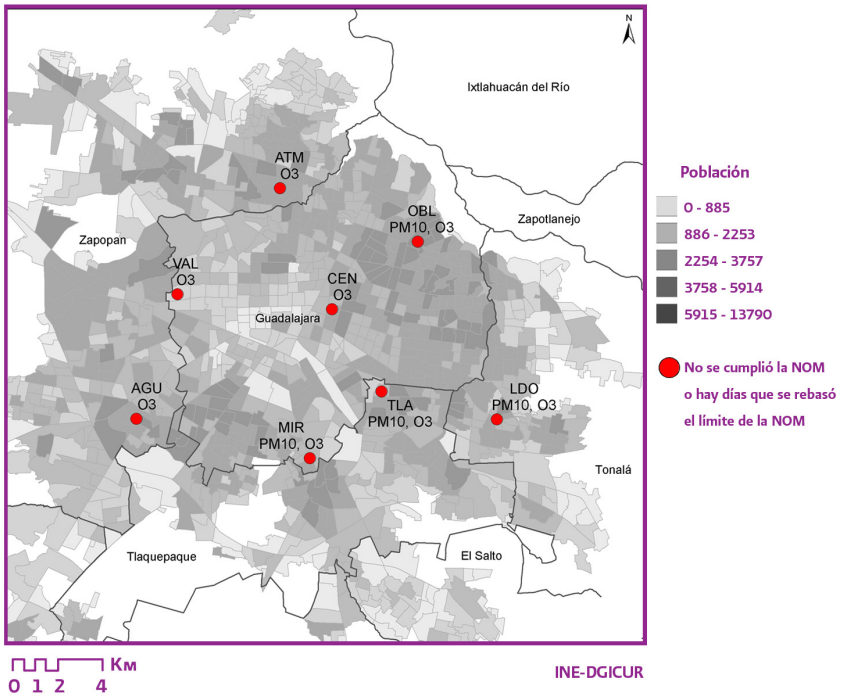
Notas:

a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

b El porcentaje de datos validados corresponde al periodo 2007-2009.

c Oportunidad de validación de los datos. Este parámetro se definió considerando el tiempo que tardan los responsables de las redes de monitoreo en realizar el proceso completo de validación de sus datos. Su importancia radica en la oportunidad para realizar sin mucho retraso el diagnóstico de la calidad del aire que respira la población, la evaluación casi inmediata al ocurrir episodios de contaminación, y la disponibilidad a tiempo de información confiable para los tomadores de decisiones.

Figura 3.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Fuente de la población: INEGI, II Conteo de Población y Vivienda 2005

3.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMG

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMG se relacionan con altas concentraciones de O_3 y PM_{10}. La figura 3.3 muestra las estaciones que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. Asimismo, se observa que estas ocho estaciones históricas se encuentran ubicadas en áreas densamente pobladas que cubren aproximadamente el 60% de la población de la zona metropolitana (ver anexo VII).

Cuadro 3.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMG. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMG	
PM_{10}	24 horas	VAL	LDO	No se cumplió	13
	Anual		LDO, MIR, OBL y TLA	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	Todas	No se cumplió	75
	Anual	LDO, TLA y VAL	AGU, ATM, CEN, MIR y OBL	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2[b]	1 hora	TLA, ATM	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b Los equipos de medición de NO_2 que no cumplen con los criterios de suficiencia de información presentaron problemas con diferentes componentes (válvulas de flujo de aire, las tarjetas de flujo, etc.). No fue posible realizar la reparación inmediata de los mismos por falta de recursos para la compra de las refacciones necesarias.

Como complemento, el cuadro 3.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Las dos normas correspondientes al O_3 y las PM_{10} no se cumplieron en 2009. Por otra parte, las normas correspondientes al CO, el NO_2 y el SO_2 se cumplieron, aunque no hubo suficiente información en un par de estaciones para calcular el indicador de 1 hora del NO_2. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

3.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMG

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

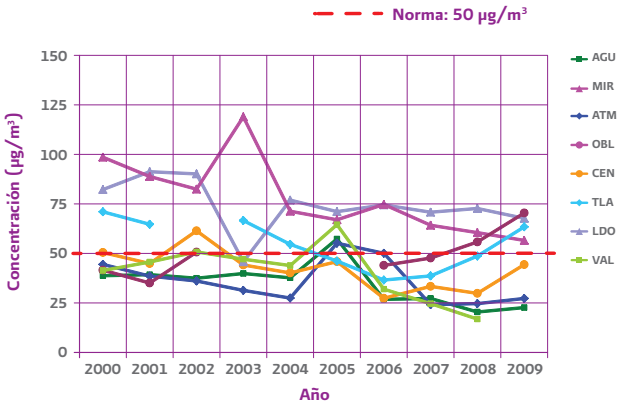
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados para la realización de los cálculos pueden consultarse en el disco compacto anexo, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

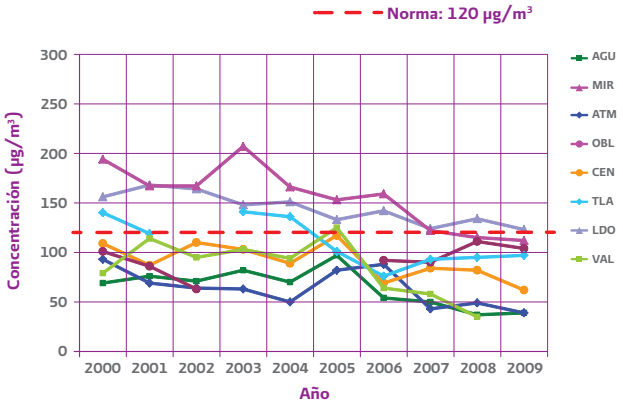
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

El comportamiento de cada una de las estaciones de monitoreo a través del tiempo no es claro, pues en algunos casos las concentraciones promedio anuales son muy similares en los últimos años, y en otros aumentan. Solo en la estación Miravalle (MIR) se observa una ligera tendencia decreciente.



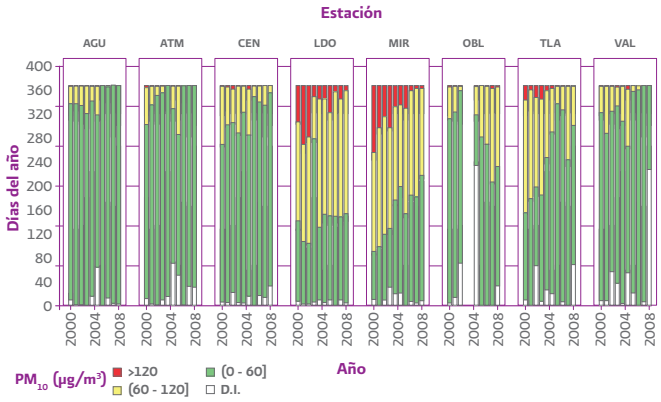
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En los últimos tres años la estación Loma Dorada (LDO) todavía presenta incumplimiento; los indicadores de las estaciones Miravalle (MIR), Oblatos (OBL) y Tlaquepaque (TLA) de los últimos dos años se encuentran muy cercanos al valor de la norma, y no es claro si la tendencia en estos casos es creciente o decreciente.



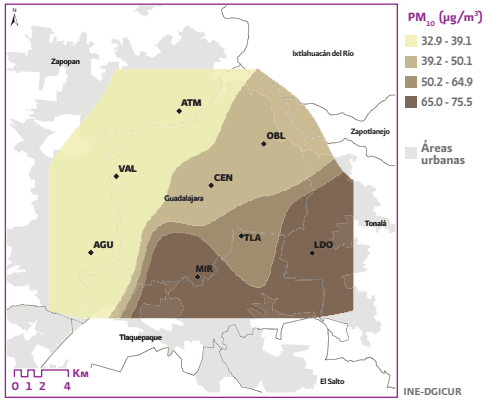
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Las estaciones Loma Dorada (LDO) y Miravalle (MIR) presentan más días en rojo que el resto de las estaciones, pero se observa que aquellos han disminuido en los últimos años. Sin embargo, no se ha reducido el número de días en amarillo en estas estaciones, lo que puede explicar por qué los indicadores del cumplimiento de las normas para este contaminante no muestran una tendencia clara hacia la baja.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

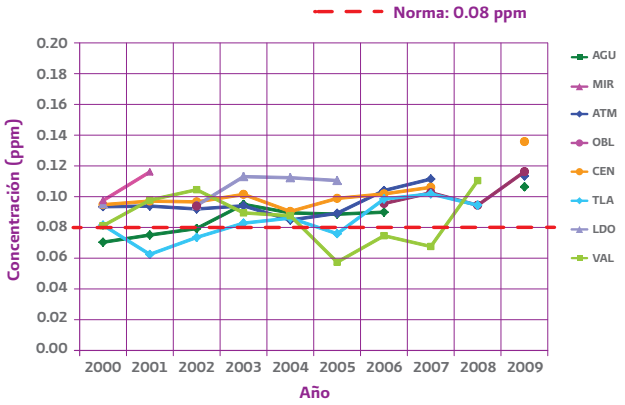
Las concentraciones más elevadas de PM_{10} suelen registrarse al sur y al sureste del área metropolitana, en las inmediaciones de las estaciones Miravalle (MIR) y Loma Dorada (LDO). Se observa una marcada atenuación hacia el norte y el oeste; las concentraciones más bajas se registran en las inmediaciones de las estaciones Atemajac (ATM), Vallarta (VAL) y Águilas (AGU).



Indicadores del O_3

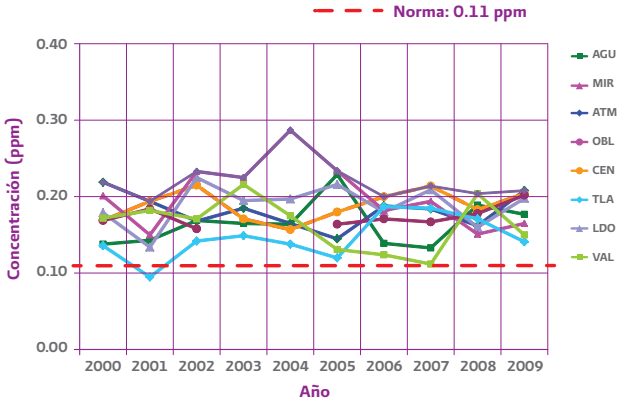
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

En la mayoría de las estaciones se observa un ligero aumento en el valor de este indicador en los años más recientes. En este caso destaca que en los años 2008 y 2009 no se contó con suficientes datos para calcular el indicador anual para varias estaciones de la ZMG.



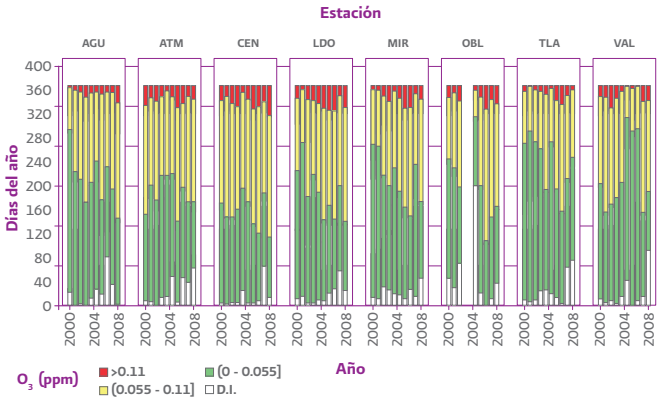
Límite horario (máximo horario)

Se observa claramente en todo el periodo que ninguna de las estaciones cumple la norma, excepto Tlaquepaque (TLA) en 2001. Se observa que el indicador de Miravalle (MIR) se ha mantenido prácticamente sin cambio en todo el periodo, excepto en 2004, cuando el indicador se elevó considerablemente, casi dos veces por arriba del valor de la norma. En lo que respecta a las demás estaciones de monitoreo, no se observa una tendencia clara en ninguna de ellas.



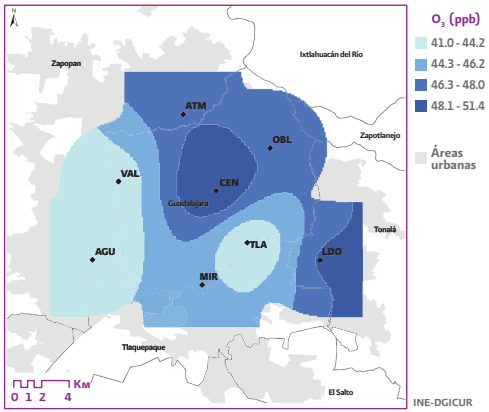
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Además de que se confirma el problema con este contaminante en todas las estaciones –por la cantidad de días en rojo–, destaca que en casi todas las estaciones el número de días en amarillo aumenta, lo que puede indicar que las concentraciones van aumentando, y es posible que en el futuro estos valores superen los valores normados.



Representación espacial (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

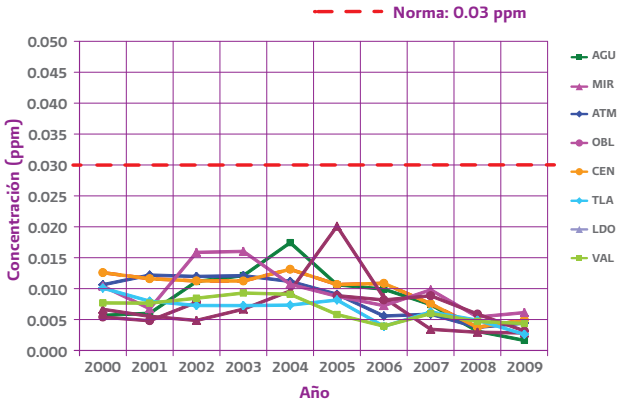
Las concentraciones más elevadas de O_3 se presentan al centro y al sureste de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Centro (CEN) y Loma Dorada (LDO), respectivamente.



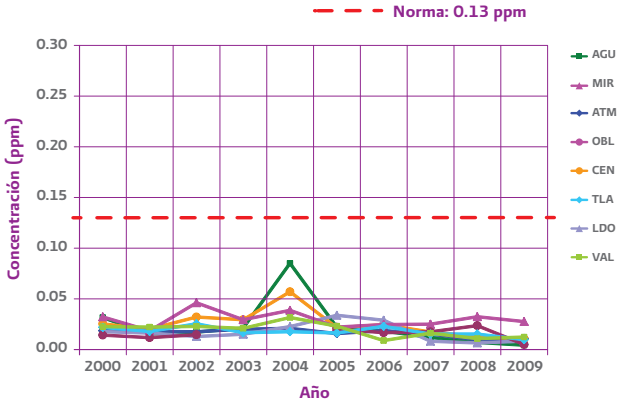
Indicadores del SO_2

Límite anual (promedio anual)

Salvo por algunos valores que se desvían de la tendencia (en 2002 y 2004), en general se observa que ésta es decreciente, y los niveles registrados no representan un problema para el cumplimiento de las normas respectivas.

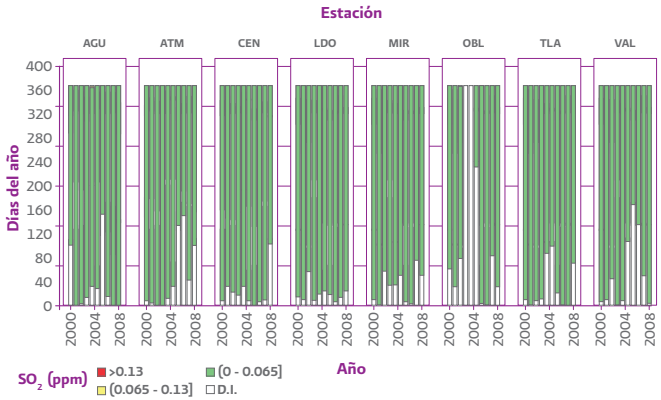


Límite de 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)



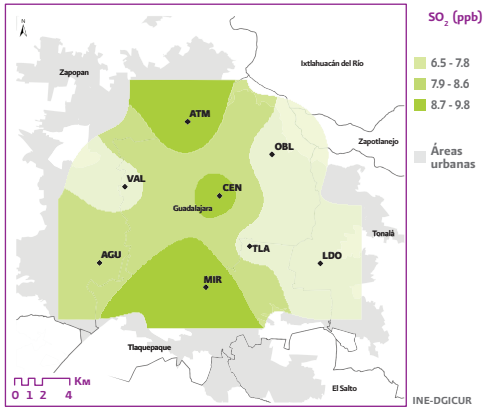
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En general no se observan problemas con respecto a este contaminante, pues una cantidad significativa de días, en cada año, caen en el color verde. Por otro lado, destaca también que hay una cantidad considerable de días con información insuficiente, especialmente en la estaciones Atemajac (ATM) y Vallarta (VAL).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

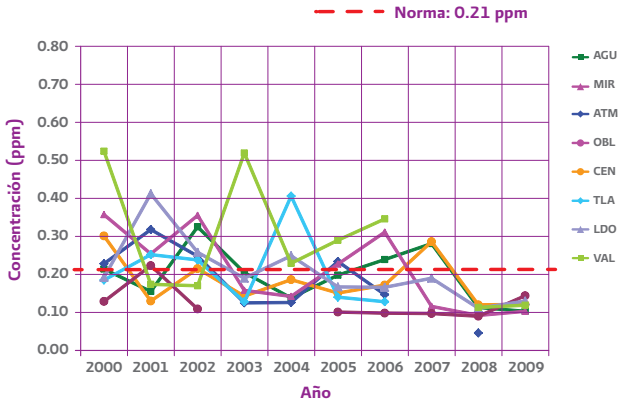
Se observa que las concentraciones elevadas de SO_2 se registran en Atemajac (ATM), Centro (CEN) y Miravalle (MIR), y se atenúan hacia el poniente de la ciudad en Águilas (AGU) y Vallarta (VAL); lo mismo ocurre hacia el oriente en Oblatos (OBL), Tlaquepaque (TLA) y Loma Dorada (LDO).



Indicadores del NO_2

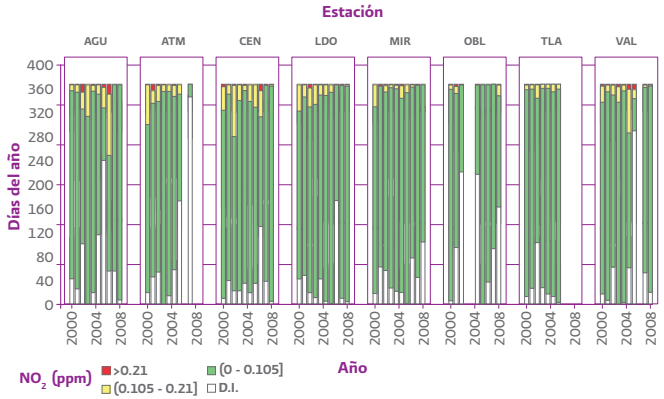
Límite horario (segundo máximo horario)

Se observa sobre el periodo de análisis que no hay una tendencia clara de este indicador; sin embargo, en 2008 y 2009 se cumplió con la norma en todas las estaciones de monitoreo. Llaman la atención los valores extremos de las estaciones Vallarta (VAL) y Tlaquepaque (TLA) en 2003 y 2004, respectivamente.



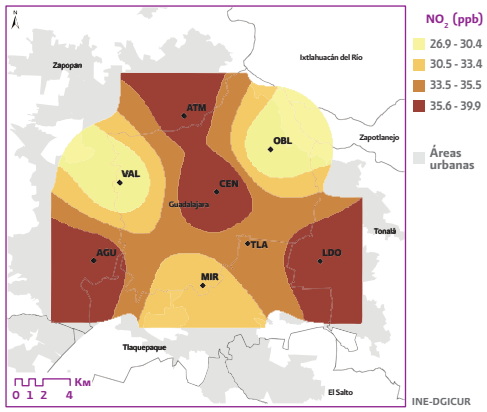
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Destaca la falta de medición y la insuficiencia de datos para generar el indicador en las estaciones Atemajac (ATM) y Tlaquepaque (TLA) en los últimos 2 y 3 años. Asimismo, en las estaciones Oblatos (OBL) y Miravalle (MIR) existe insuficiencia de datos para prácticamente la mitad de los días del último año. En las demás estaciones, Águilas (AGU), Centro (CEN), Loma Dorada (LDO) y Vallarta (VAL), también se observan días en blanco, pero predominan los días con un diagnóstico favorable.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

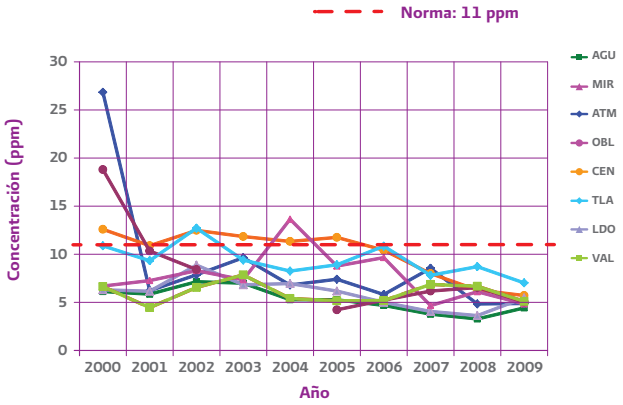
La distribución espacial del NO_2 muestra que las concentraciones más altas de este contaminante suelen registrarse en las inmediaciones de sitios con intensa actividad vehicular, como la registrada alrededor de zonas habitacionales cercanas a las estaciones Atemajac (ATM), Águilas (AGU) y Loma Dorada (LDO), o de áreas comerciales, como la estación Centro (CEN).



Indicadores del CO

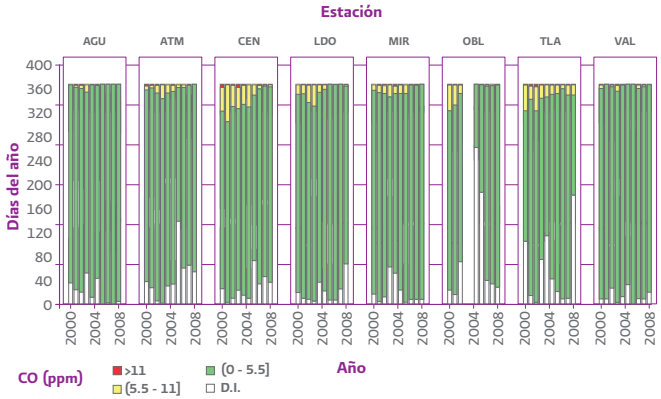
Límite horario (segundo máximo de los promedios móviles de 8 h)

Este contaminante representó un problema en la ZMG hasta antes de 2006; en este periodo destacan por sus valores cercanos al valor normado las estaciones Centro (CEN) y Tlaquepaque (TLA), pero posteriormente se ha cumplido la norma en todas las estaciones. Sin embargo, en los últimos tres años registrados los niveles se conservan prácticamente constantes.



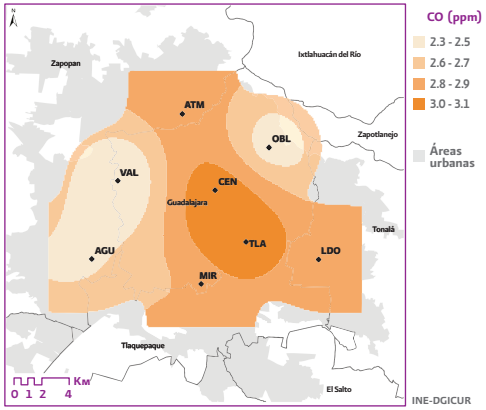
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En general, prácticamente todos los días de los últimos tres años se ha cumplido con la norma en todas las estaciones de monitoreo. Sin embargo, en 2009 la estación TLA no contó con información suficiente para dar un diagnóstico de la calidad del aire en aproximadamente la mitad de los días del año.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de las concentraciones diarias)

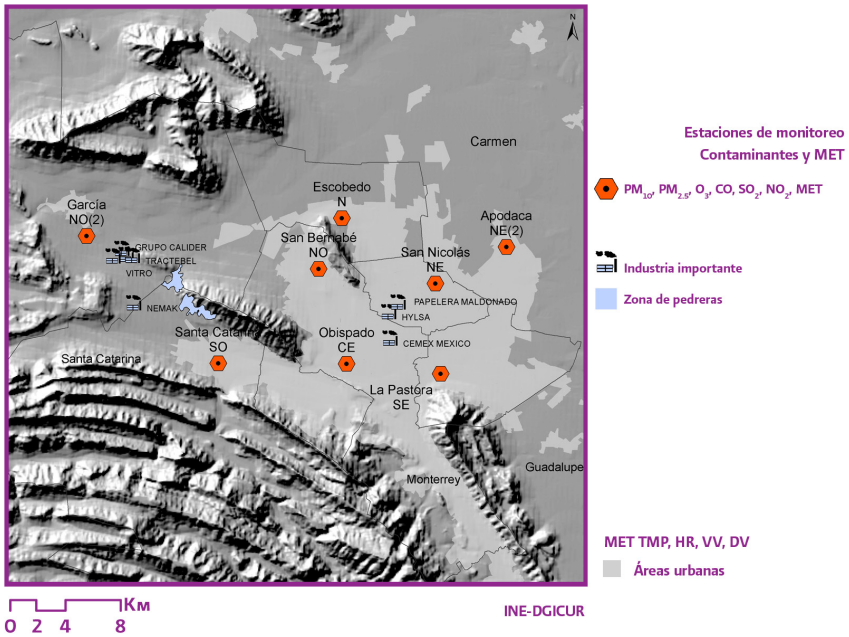
Las mayores concentraciones de este contaminante se observan en la zona centro de la zona metropolitana, Centro (CEN) y Tlaquepaque (TLA), la cual se caracteriza por ser un área comercial con intenso tráfico vehicular. Las concentraciones más bajas, por su parte, suelen ocurrir en las zonas habitacionales, como las localizadas en el entorno de las estaciones Águilas (AGU) y Vallarta (VAL) al oeste y Oblatos (OBL) al noreste.



4.

Área Metropolitana de Monterrey, N.L.

Figura 4.2 Estaciones del SIMA analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en el AMM se inició en 1992. La página http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones automáticas del sistema integral de monitoreo ambiental del AMM (SIMA) tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis de 2000 a 2009 fueron las cinco históricas, que se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 4.2. En cada estación se miden PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2, así como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y la dirección del viento, como se indica en la figura. También se indica la ubicación de las fuentes más importantes de emisiones de PM_{10} y SO_2, entre las que se encuentran industrias extractivas y algunas otras de los sectores metalúrgico, químico, automotriz, de cemento y cal, vidrio, de celulosa y papel, y de generación de energía eléctrica.

Cabe aclarar que las estaciones de monitoreo NO(2) (García) y N (Escobedo) se incorporaron al SIMA respectivamente en julio y diciembre de 2009, y la estación NE(2) se añadió en Apodaca en junio de 2011. Por tal motivo, si bien estas estaciones se ubican en el mapa, no se incluyen en el análisis de este apartado.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 4.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico del AMM. En él se puede apreciar que el desempeño global de la red fue bueno; sin embargo, aún hay áreas de oportunidad

que deben ser atendidas para lograr un mejor desempeño de la red e incrementar la confiabilidad de los datos en general, tales como la frecuencia de las auditorías y el porcentaje de analizadores de PM_{10} y NO_2 que cumplen con los criterios de las auditorías.

Cabe aclarar que solo se auditaron tres de las cinco estaciones de monitoreo consideradas para preparar este informe. De las tres estaciones que se auditaron, solamente el equipo de medición de NOx de Santa Catarina tuvo un error superior al 10%, por lo que se considera que requiere atención; las otros dos aprobaron la auditoría. En el caso de los equipos de medición de PM_{10}, durante la auditoría se encontró que dos equipos (correspondientes a las estaciones Santa Catarina y La Pastora) de los tres evaluados tenían variaciones de flujo mayores a las permisibles. Esto se debe a que los analizadores son de tecnología anterior y tienen un control de flujo manual. Si bien es conveniente que los equipos cuenten con un control electrónico automático de flujo, como el de los equipos nuevos, hacer este cambio es casi tan costoso como cambiar los equipos, que sería lo recomendable. A partir de este diagnóstico, se reemplazó el sistema de enfriamiento del fotodetector del equipo de medición de NOx de la estación Santa Catarina para corregir las fallas que presentó durante la auditoría. Asimismo, se cambiaron los rodamientos del control manual de flujo, se lubricó el sistema de toma de muestra de los equipos de medición de partículas de las estaciones Santa Catarina y La Pastora, y se modificaron los procedimientos de operación para que el personal del SIMA verifique al menos una vez a la semana el funcionamiento de los controladores de flujo, para asegurar que el flujo sea el correcto y se encuentre entre los límites aceptables. Estas acciones contribuirán a mejorar la operación de las estaciones y, por ende, la calificación del desempeño de los analizadores en el futuro.

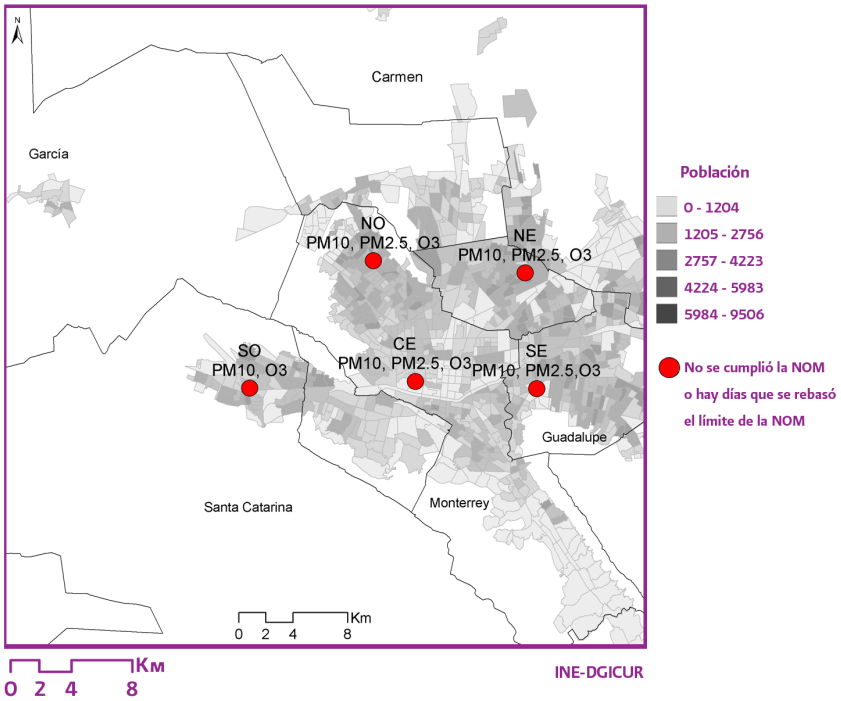
El SIMA además reporta que actualmente se tienen en operación ocho estaciones de monitoreo fijas y se ha dado mantenimiento a los equipos buscando mejorar la confiabilidad de los

Cuadro 4.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico del AMM (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2010)	PM_{10}				■	
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3 [a]					
	CO	■				
	NOx			■		
	SO_2	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[c]	PM_{10}	■				
	$PM_{2.5}$			■		
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2		■			
	SO_2		■			
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a No fue posible llevar a cabo las auditoras a los analizadores de ozono.
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
c El porcentaje de datos validados se calculó sin considerar las estaciones de monitoreo que empezaron a medir en 2009.

Figura 4.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



datos validados, en los cuales la calificación es muy buena en PM_{10}, O_3 y CO, y buena en NO_2 y SO_2. En el caso de las $PM_{2.5}$ se instalaron recientemente trazas de calentamiento para eliminar la condensación de la humedad, evitar interferencia y mejorar la calidad de los datos. Con estas acciones mejorará la calificación del desempeño del porcentaje de datos validados para estos contaminantes.

4.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en el AMM

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en el AMM se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 4.3 muestra las estaciones de monitoreo históricas y los contaminantes que representaron el principal problema para la calidad del aire en cada una de ellas durante 2009. En la figura también se aprecia que las estaciones situadas al norte del AMM, como NO y NE, tienen a su alrededor zonas de mayor densidad poblacional que las estaciones CE (Obispado), SE (La Pastora) y SO (Santa Catarina). Las cinco estaciones consideradas en este análisis cubren alrededor del 38% de la población metropolitana (ver anexo VII).

Como complemento, el cuadro 4.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda el área metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor normado. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 4.2 Diagnóstico de la calidad del aire en el AMM[a]. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[b] para el AMM	
PM_{10}	24 horas	-	CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	85
	Anual		CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	
$PM_{2.5}$	24 horas	CE, NE, NO y SO	-	D.I.	8[c]
	Anual		SE	D.I.	
O_3	1 hora	-	CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	12
	Anual	-	NO, SE y SO	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM del indicador para el AMM por falta de datos.
a No se consideraron para la evaluación del cumplimiento de las normas las estaciones que empezaron a medir en 2009 [NO(2) y N].
b La evaluación del cumplimiento del área metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
c A pesar de que no es posible evaluar la NOM, se registraron días con suficiente información para hacer el cálculo del dato base diario, y en 8 de ellos se rebasó el límite de 24 horas.

Es claro que las PM_{10} y el O_3 requieren de atención inmediata, pues en la mayoría de las estaciones de monitoreo no se ha logrado dar cumplimiento a sus respectivas normas al menos en los últimos 6 años en el caso de las PM_{10}, y en los últimos 10 años en el caso del O_3. En cuanto a las $PM_{2.5}$, destaca que prácticamente en ninguna de las estaciones de monitoreo se cuenta con información suficiente, de acuerdo con los criterios definidos en la misma norma de la calidad del aire para evaluar el cumplimiento de este contaminante, desde el año 2003; sin embargo, sí se presentan días por arriba del límite de 24 horas, como se verá en la siguiente sección. Como se mencionó antes, se espera que al instalar las trazas de calentamiento se cumpla con el criterio de suficiencia de información de las $PM_{2.5}$ para las estaciones CE, NE, NO y SO.

Por otra parte, las normas de la calidad del aire para el CO, el NO_2 y el SO_2 (de 24 horas y anual) se cumplen en todas las estaciones de monitoreo. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

4.3 Indicadores de la calidad del aire del AMM

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Para el cálculo se utilizó la información de las cinco estaciones históricas de la red. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero son superiores a la mitad de este límite (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

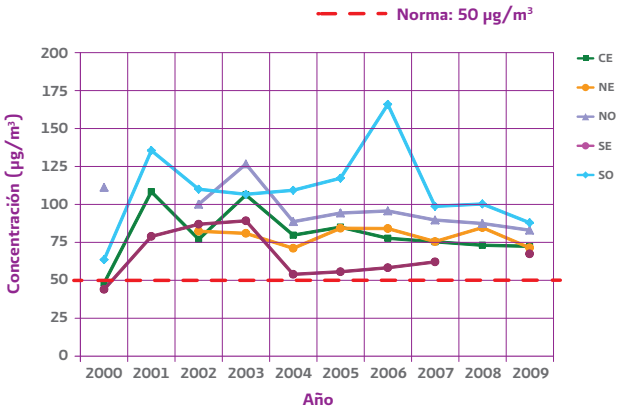
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, SO_2 y CO.

Desde 1993 el SIMA utiliza un código de colores con el objeto de comunicar a la población de manera inmediata la calidad del aire en un momento determinado. En la página del SIMA (http://www.nl.gob.mx/?P=sima_metropolitano) se encuentra la información detallada sobre dicho código y su uso.

Indicadores de las PM_{10}

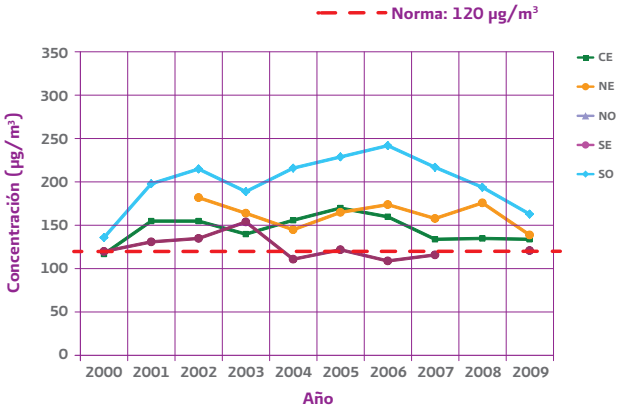
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

En la mayoría de los años y estaciones de monitoreo el promedio anual de PM_{10} ha sido notablemente superior al valor de la norma, llegando a alcanzar valores equivalentes al doble de éste. En el periodo de estudio la norma solo se cumplió en el año 2000 en la estaciones CE (Obispado) y SE (La Pastora).



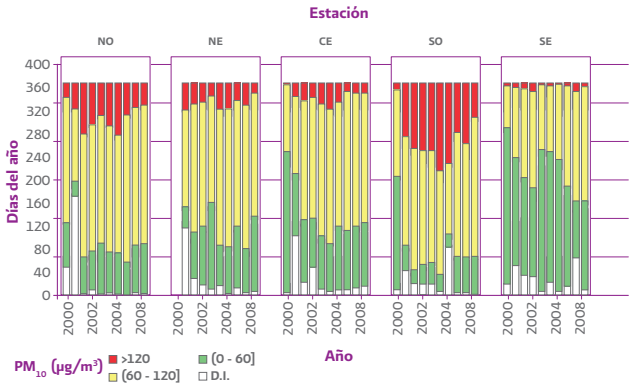
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En la mayoría de las estaciones que cuentan con mediciones, como CE (Obispado), NE (San Nicolás), NO (San Bernabé) y SO (Santa Catarina), la norma diaria de las PM_{10} es rebasada de manera consistente. Esto es particularmente notorio en la estación SO, donde además se registran los valores de concentración más altos de toda el AMM. La única estación de monitoreo donde se ha logrado cumplir, de manera esporádica, la norma diaria de las PM_{10} es la SE (La Pastora).



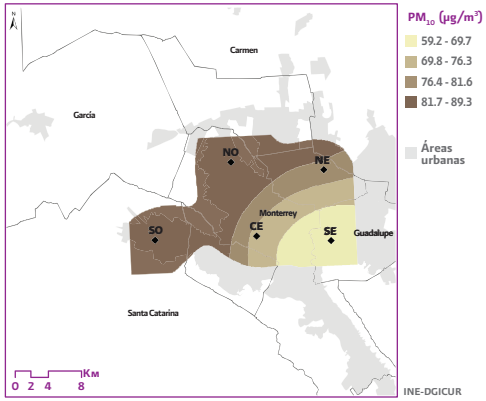
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En todas las estaciones se registraron días con concentraciones diarias superiores al valor de la norma (en rojo), particularmente en las estaciones NO (San Bernabé) y SO (Santa Catarina). A pesar de ello, a partir de 2006 se observa una ligera reducción del número de días con estas concentraciones en la mayoría de las estaciones de monitoreo. Sin embargo, hay un número significativo de días en color amarillo, lo que sugiere la posibilidad de que en el futuro se presente una mayor cantidad de días con concentraciones superiores a la establecida en la norma si no se instrumentan las medidas necesarias para su control.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

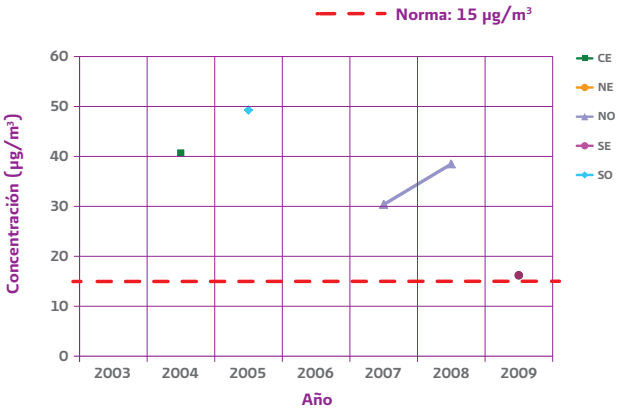
Se observa que las concentraciones más altas se registran al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. La estación SO (Santa Catarina) está dentro de una zona con alta actividad industrial y de desarrollo urbano (GENL, 2008b).



Indicadores de las $PM_{2.5}$

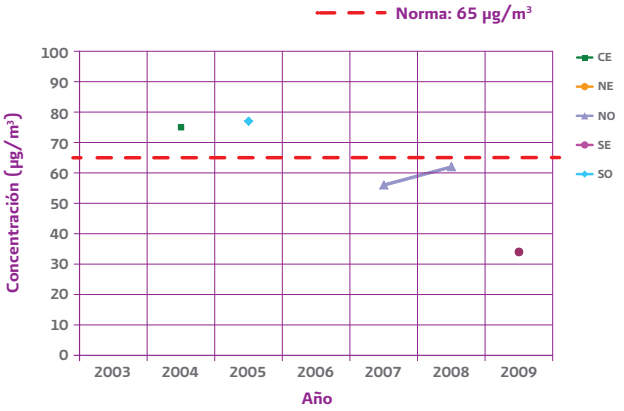
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

La información disponible es escasa y dispersa, por lo que no fue posible distinguir una tendencia en las concentraciones de este contaminante. Sin embargo, los pocos datos útiles existentes revelan que éstos siempre han sido superiores al valor de la norma. Cabe mencionar que la única estación que cumple con información suficiente en 2009 es la SE ya que cuenta con una traza de calentamiento para evitar condensación. El SIMA reporta que recientemente se instalaron trazas de calentamiento en el resto de las estaciones, por lo que se espera que se estabilice la medición de concentraciones de $PM_{2.5}$ y se cumpla con la suficiencia de datos en cada estación en los siguientes años.



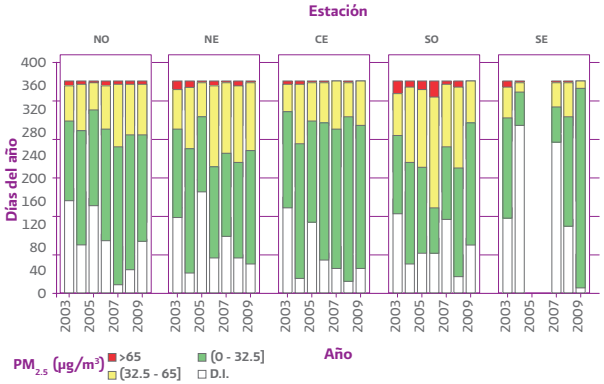
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En este caso tampoco fue posible distinguir una tendencia en las concentraciones de este contaminante. No obstante, los pocos valores existentes entre 2004 y 2005 muestran que se ha rebasado la norma en CE y SO, respectivamente, a diferencia de los valores más recientes de 2007 a 2009, que se han mantenido por debajo del valor de la norma en las estaciones NO y SE.



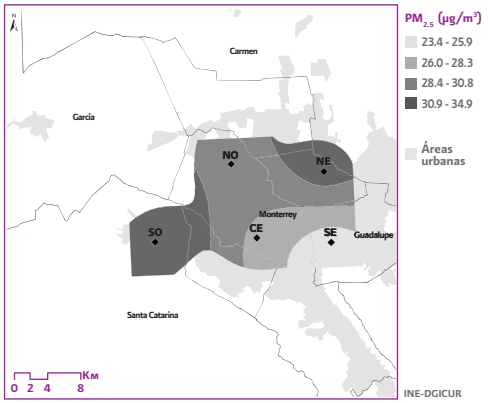
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En todas las estaciones hay datos faltantes, pero los registros con los que se cuenta muestran que la estación SO es la que históricamente ha presentado la mayor cantidad de días en rojo.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

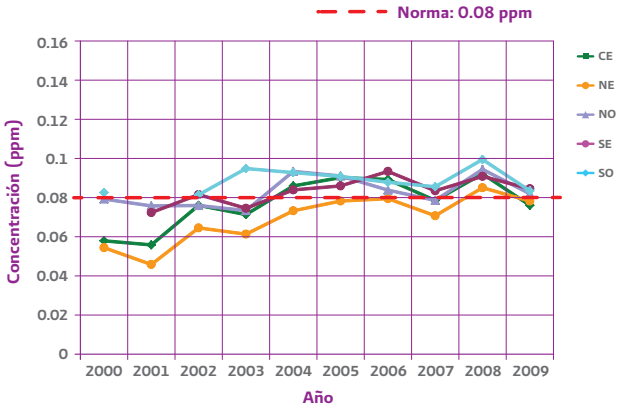
Las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. Sin embargo, llaman la atención los valores altos registrados en los alrededores de NE. Como en el caso de las PM_{10}, los valores altos en los alrededores de SO (Santa Catarina) probablemente estén relacionados con la actividad industrial intensa en la zona.



Indicadores del O_3

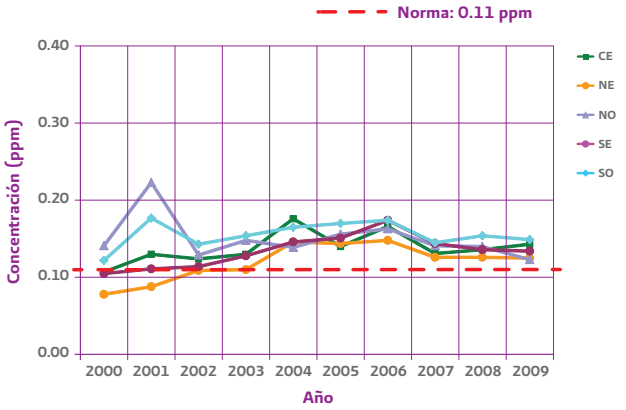
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Se puede apreciar un comportamiento diferenciado en el que las estaciones SE (La Pastora), SO (Santa Catarina) y NO (San Bernabé) presentan los mayores problemas de incumplimiento. La estación NE (San Nicolás) es donde se registran las concentraciones más bajas en todo el periodo, y solo en el año 2008 se rebasó la norma anual del ozono. Se observa una ligera tendencia ascendente en el indicador, sobre todo en la estación NE.



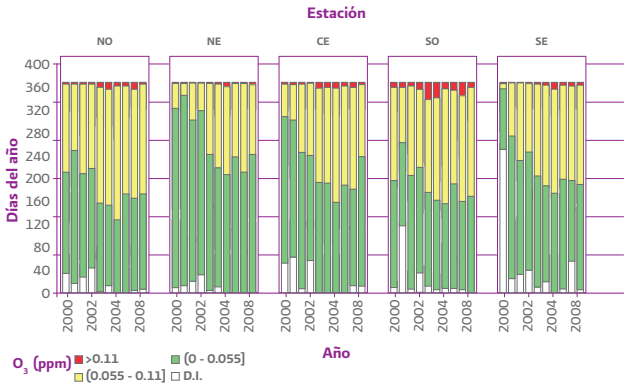
Límite horario (máximo horario)

La norma horaria del ozono tampoco se ha logrado cumplir desde el año 2004. Destaca, sin embargo, una ligera disminución en los máximos horarios registrados, en todas las estaciones de monitoreo, desde 2007.



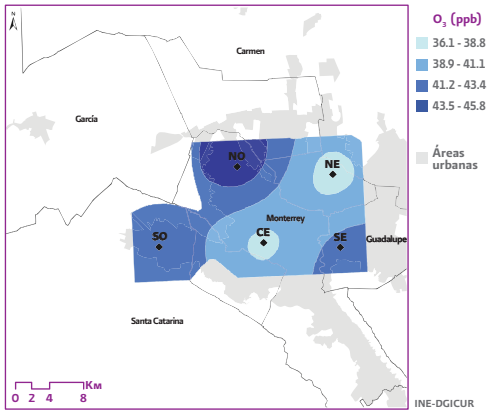
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

En todas las estaciones en los últimos 6 años se han presentado registros con concentraciones superiores a la norma (en rojo), aunque el problema es más severo en la estación SO (Santa Catarina), seguido de las estaciones NO (San Bernabé) y CE (Obispado). Desde 2003 se observa un aumento en el número de días en color amarillo en la mayoría de las estaciones de monitoreo, lo que advierte sobre la posibilidad de que los problemas con la calidad del aire debidos al ozono se intensifiquen en el futuro si no se instrumentan las medidas necesarias para su control.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

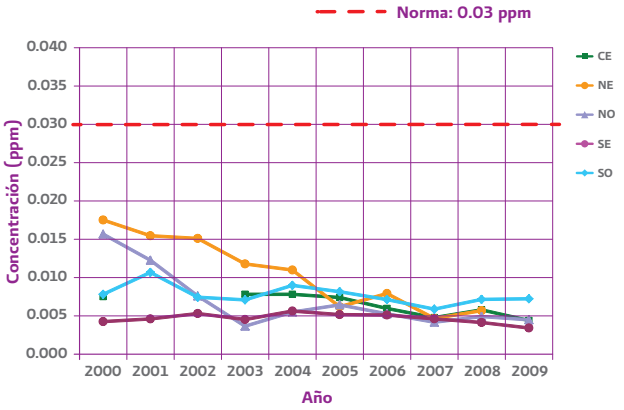
Las concentraciones más altas se registran en la zona noroeste, que se encuentra viento abajo con respecto a la mayoría de las fuentes industriales y del tráfico vehicular de la zona metropolitana (GENL, 2008). Otro factor a considerar es la topografía, pues al poniente de la ciudad se ubica la Sierra Madre Oriental, que puede estar actuando como una barrera física que promueve la acumulación de los contaminantes en esa zona.



Indicadores del SO_2

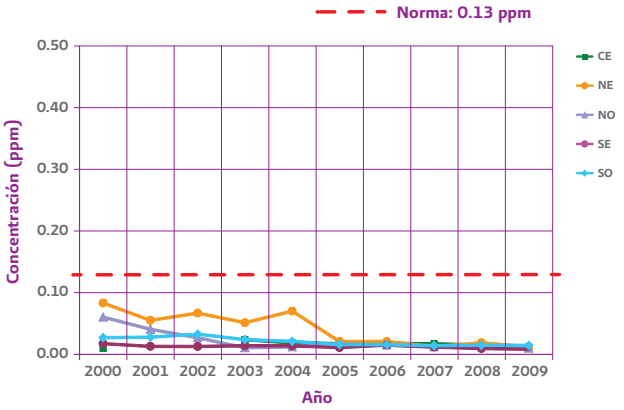
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

El promedio anual de SO_2 también se ha mantenido notoriamente por debajo del valor de la norma en todos los años analizados y en todas las estaciones de monitoreo.



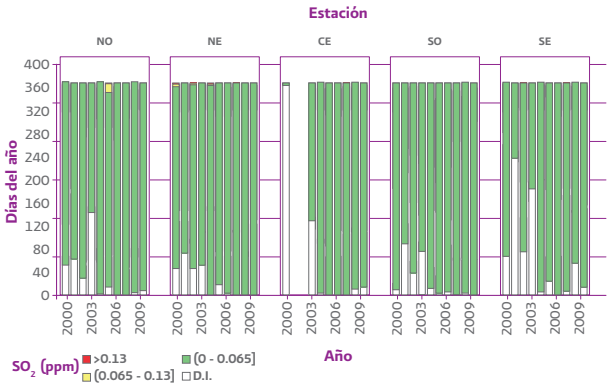
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Este contaminante está lejos de representar un problema para la calidad del aire en el AMM, pues sus registros promedio de 24 horas se han mantenido, en todas las estaciones de monitoreo, por debajo del valor de la norma, especialmente desde el año 2005. Sin embargo, al reaccionar en la atmósfera, el SO_2 puede formar sulfato de amonio, el cual es un componente importante de las $PM_{2.5}$. Por lo tanto, el control de las emisiones de azufre puede ser una buena estrategia para reducir la concentración de $PM_{2.5}$ en el AMM.



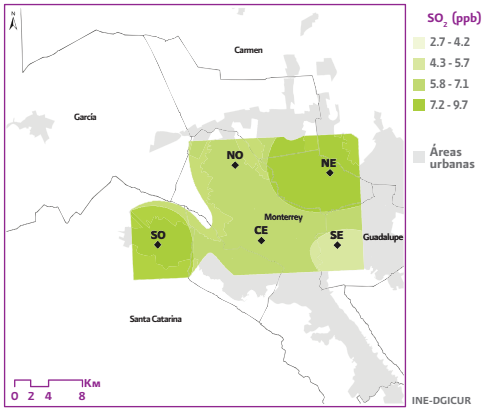
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

El SO_2 parece no ser un problema para la calidad del aire en el AMM, pues el valor de la norma nunca ha sido rebasado, y en la mayoría de los días se han registrado concentraciones muy bajas (inferiores a la mitad del valor de la norma).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

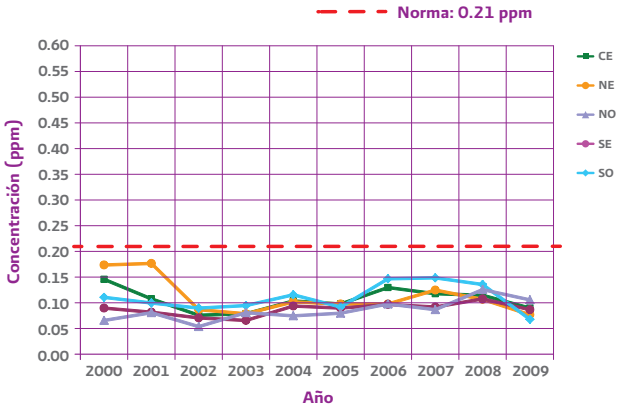
El bióxido de azufre, por su parte, registra las mayores concentraciones en la zona noreste, y ello probablemente se deba a las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles con alto contenido de azufre de las instalaciones industriales ubicadas en la zona (GENL, 2008a).



Indicadores del NO_2

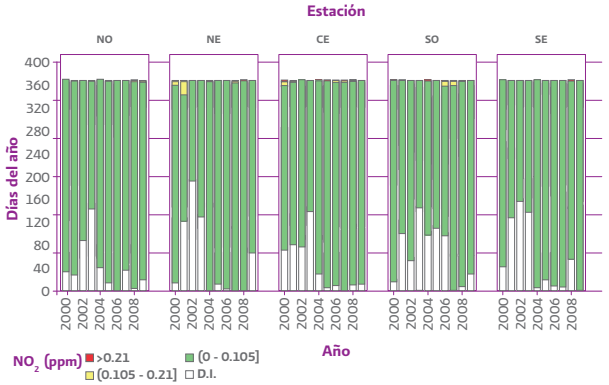
Límite horario (segundo máximo horario)

Lo que se aprecia con claridad en la figura que ilustra el comportamiento del segundo máximo del NO_2 en el AMM es que este contaminante no representa, por el momento, ningún problema para la calidad del aire en la región. En todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo de análisis los registros se han mantenido por debajo del valor de la norma, y los valores más bajos se presentaron en el año 2009. Sin embargo, el NO_2 es un precursor del nitrato de amonio, que es un componente de las $PM_{2.5}$ y del O_3, por lo que es importante controlar las emisiones de NOx en la región.



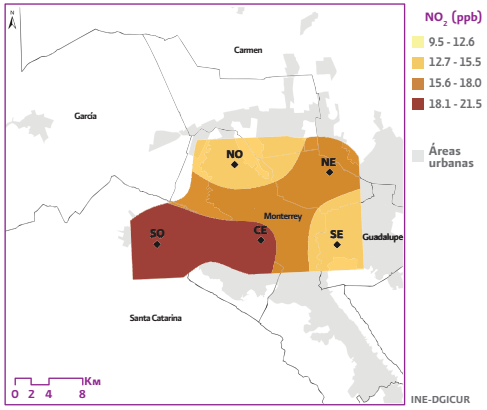
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Se puede observar que el valor de la norma de la calidad del aire para este contaminante nunca ha sido rebasado en ninguna de las estaciones de monitoreo del AMM, y que por el momento este contaminante no representa un problema para la calidad del aire, pues un porcentaje significativo de los días de cada año presentan concentraciones iguales o inferiores a la mitad del valor normado (en verde).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de los máximos diarios)

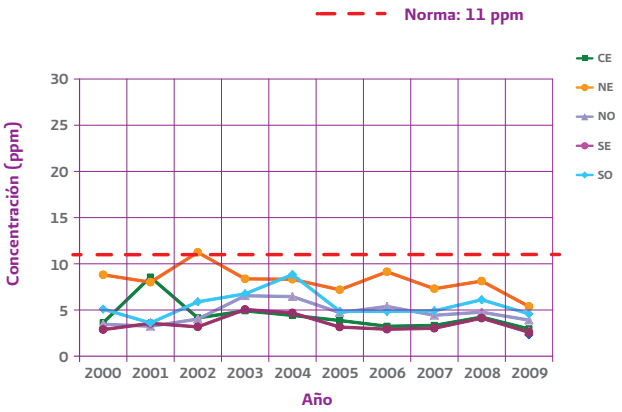
Al igual que para el resto de los contaminantes, se observa que las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. Este comportamiento podría estar asociado con una alta actividad vehicular en esta zona.



Indicadores del CO

Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire del CO solo ha sido rebasada en el año 2002. La estación de monitoreo que presentó este registro superior a la norma fue NE. De 2003 a 2009 el indicador se ha mantenido por debajo del valor de la norma, y alcanzó los registros más bajos, en todas las estaciones de monitoreo, en 2009.



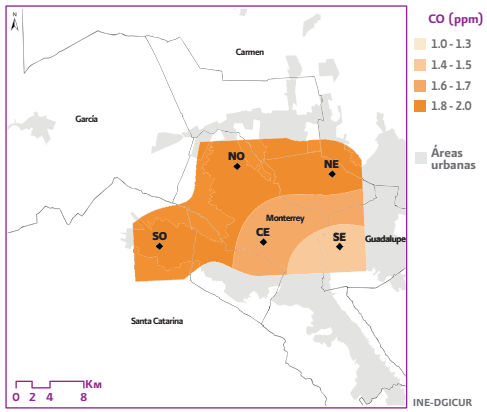
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aunque la mayor parte de los valores de este indicador, en todas las estaciones de monitoreo, son inferiores a 5.5 ppm (en verde), es posible que se repitan los episodios de altas concentraciones de este contaminante en las estaciones NE y SO, tal como ocurrió en la primera de estas estaciones en los años 2002 y 2006, cuando se registraron concentraciones superiores a lo establecido en la norma correspondiente.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe.

Otro factor a considerar es la topografía, pues al poniente de la ciudad se ubica la Sierra Madre Oriental, que puede estar actuando como una barrera física que promueve la acumulación de los contaminantes en esa zona.



5.

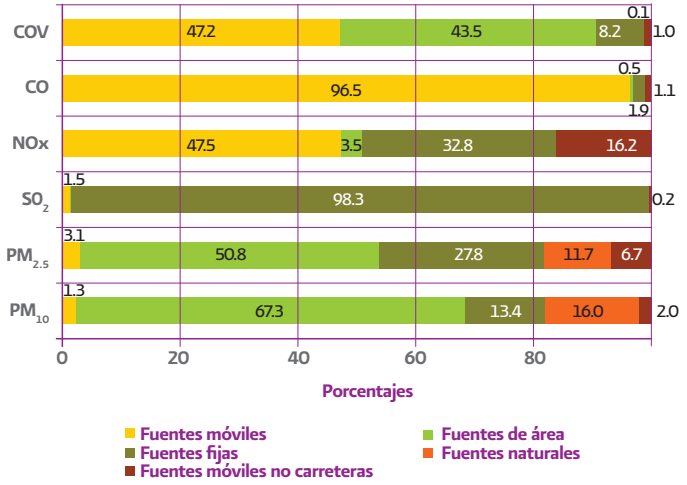
Zona Metropolitana del Valle de Toluca, edo. de Méx.

4.1 Información general

Municipios	Apodaca, Cadereyta Jiménez, Gral. Escobedo, García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, Santiago, Santa Catarina, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Salinas Victoria (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	1.7 millones de vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	415 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	6680 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	El AMM cuenta con una creciente infraestructura productiva en los sectores primario, secundario y terciario. El turismo se promueve como una novedosa y creciente fuente de ingresos (GENL, 2008a)
Altitud	500 msnm (GENL, 2008a)		
Población en 2010	4.09 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) cuenta con inventarios de emisiones de los años 1995 y 2005. Actualmente se está integrando el de 2008 y se planea seguir actualizando el inventario en los años subsecuentes con una periodicidad de tres años. En el del año 2005, destaca que cerca del 50% de las emisiones totales de NOx y COV en la región son generadas por las fuentes móviles, en tanto que las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) son generadas predominantemente por las fuentes de área. Casi todas las emisiones de SO_2 (98%) son producidas por el sector industrial, y las emisiones de CO (96%) por los vehículos (figura 4.1) (GENL, 2008a).

Figura 4.1 Inventario de emisiones del AMM (2005)



5.1 Información general

Municipios	Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	430 mil vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	233 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	2038 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	La ZMVT ha presentado una transformación en sus actividades económicas: pasó de ser una economía rural a una industrial y de servicios, y cuenta con importantes parques industriales (GEM, 2007a)
Altitud	2660 msnm (GEM, 2007a)		
Población en 2010	1.85 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2004, resalta que los vehículos automotores aportan un gran porcentaje de las emisiones de COV, NOx y CO, y que contribuyen significativamente a las emisiones de SO_2 y $PM_{2.5}$, de manera similar a otras grandes zonas metropolitanas. Por otra parte, los suelos desprovistos de vegetación son la principal fuente de emisión de PM_{10}, y las fuentes de área son las que aportan más a las emisiones de NH_3 (GEM, 2007b).

Figura 5.1 Inventario de emisiones de la ZMVT (2004)

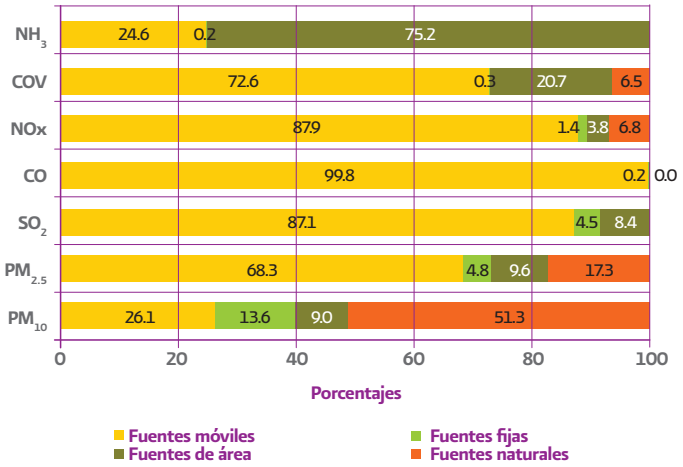
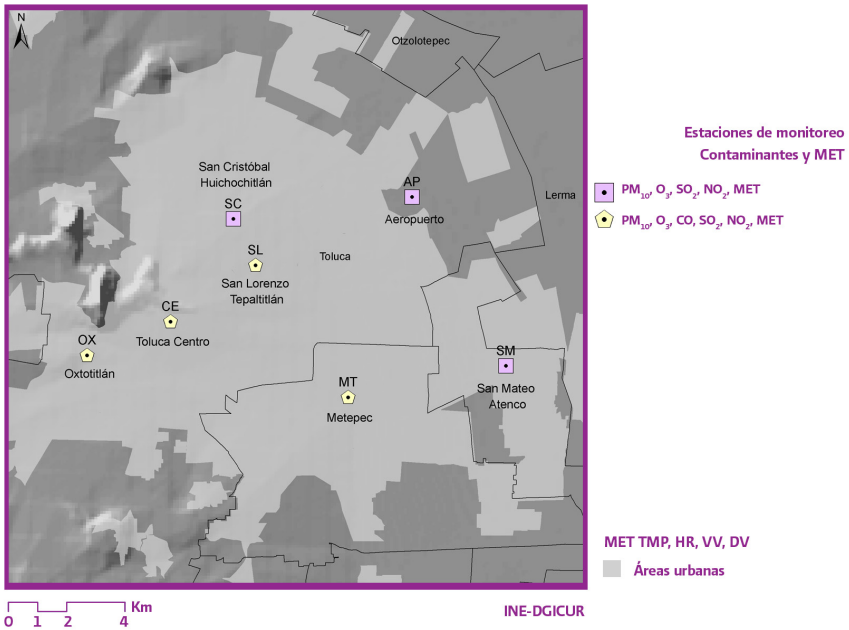


Figura 5.2 Estaciones de la RAMA-ZMVT analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVT entró en operación en 1994. La página http://sinaica.ine.gob.mx/rama_zmvt.html contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ZMVT (RAMA-ZMVT) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-ZMVT tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son siete, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 5.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 5.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMVT. De acuerdo con la información disponible se observa que, en general, la red de monitoreo tiene un desempeño mínimo aceptable, por lo que es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes para mejorar su desempeño general; por ejemplo, en lo que respecta a la frecuencia de las auditorías (la última se realizó en 2002), y por ende en el número de equipos de medición que las pasan, para incrementar la confiabilidad de la información que generan. Asimismo, es necesario identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperación de datos (o datos validados) para todos los contaminantes.

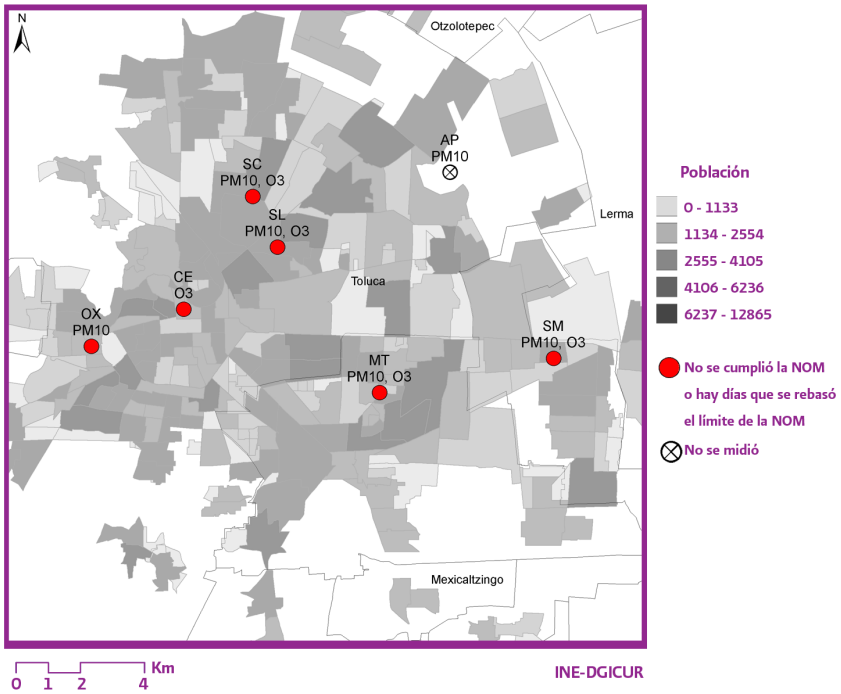
Con respecto a este parámetro, cabe destacar que solo se reportaron mediciones hasta el primer semestre de 2008 de los contaminantes O_3, CO, NO_2 y SO_2, lo que afectó considerablemente el porcentaje de datos validados en el periodo de análisis. En general, la atención de estos problemas es fundamental para incrementar tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 5.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMVT (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías[a]				■		Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente[b] (2009)	PM_{10}				■	
	O_3				■	
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[c] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}			■		
	O_3			■		
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos			■			
Difusión de la información		■				

Notas:
a La última auditoría externa se llevó a cabo en 2002.
b Debido al año en que se realizó la última auditoría, no se consideraron vigentes los resultados que se obtuvieron en ésta para usarlos en la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico.
c Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 5.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 o 2009 y distribución de la población



5.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMVT

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMVT se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 5.3 muestra las estaciones que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2008 o 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. En la misma figura también se indica, a través de un circulo con una equis, que la estación Aeropuerto (AP) no midió ningún contaminante en dichos años. Asimismo, en la figura se presenta la distribución de la población en la zona; la población cubierta por las mediciones de PM_{10} equivale a un 41%.

Como complemento, el cuadro 5.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible de los dos años más recientes, e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

En este caso, el año más reciente con información disponible es 2008 para O_3, CO, NO_2 y SO_2 (solo del primer semestre), debido a que no se reportaron mediciones de la RAMA-ZMVT en 2009. Durante 2009 únicamente se cuenta con información de PM_{10}.

Cuadro 5.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMVT. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008-2009

Año	Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
			Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMVT	
2009	PM_{10}	24 horas	AP, CE y SM	OX, SC	No se cumplió	154
		Anual		OX, SC y SL	No se cumplió	
2008	O_3	1 hora	-	CE, MT, SC y SL	No se cumplió	4[b]
		Anual	CE, MT, SC y SL	-	D.I.	
2008	CO[c]	8 horas	-	-	Se cumplió	0
2008	NO_2[c]	1 hora	-	-	Se cumplió	0
2008	SO_2[c]	24 horas	-	-	Se cumplió	0
		Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la ZMVT por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El número de días en los que se rebasa la norma horaria de O_3 se encuentra subestimado debido a que solo se reportaron mediciones el primer semestre del año.
c Los indicadores de CO, NO_2 y SO_2 se calcularon con la información que se reportó del primer semestre del año, por los que los resultados podrían estar subestimados.

Del análisis de los últimos años, se observa que las PM_{10} y el O_3 siguen siendo los problemas a resolver, ya que tanto la norma diaria como la anual se incumplen en el último año con información disponible. Por otro lado, el CO, el NO_2 y el SO_2 no representan un problema para la calidad del aire en el valle de Toluca. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

5.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMVT

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas en cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

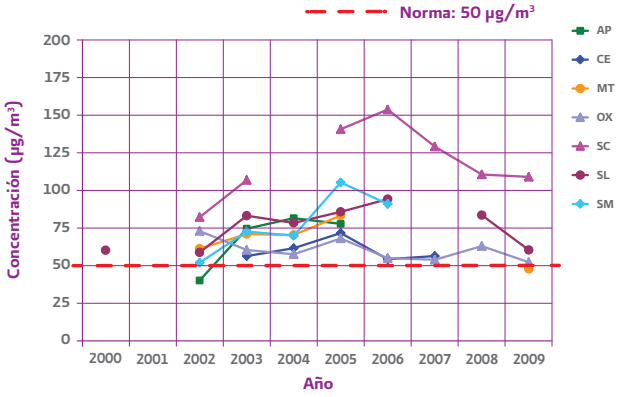
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009 para PM_{10} y 2000-2008 para el resto de los contaminantes: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

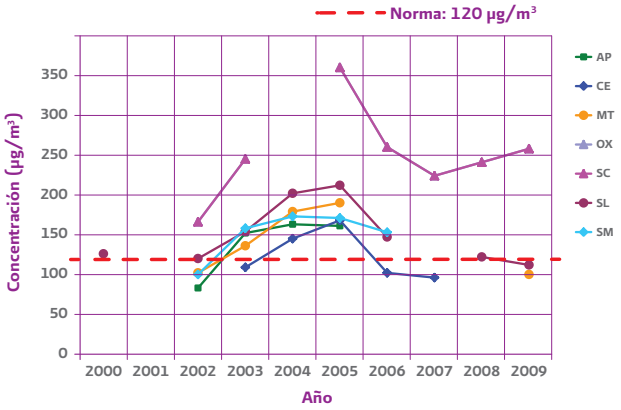
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

En las estaciones de monitoreo donde pudo calcularse el indicador, la norma no se cumplió salvo en Aeropuerto (AP) en 2002 y en Metepec (MT) en 2009. La figura muestra que la estación Oxtotitlán (OX) registra las concentraciones más bajas, que se aproximan al valor de la norma. En el resto de las estaciones las concentraciones promedio anuales son muy superiores al valor normado, particularmente en San Cristóbal (SC), donde las concentraciones registradas han llegado a ser equivalentes al doble y en ocasiones al triple de dicho valor.



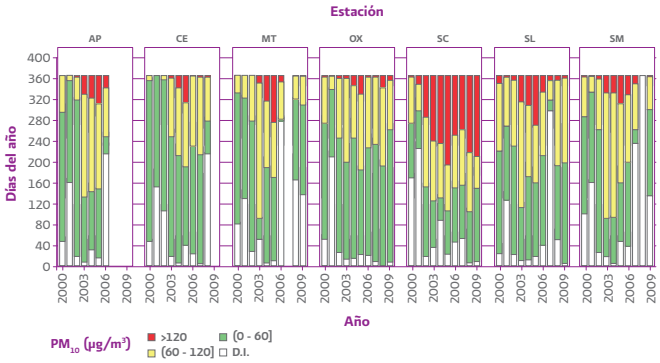
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

De la gráfica destaca que el cumplimiento del límite se ha logrado solo de manera muy esporádica, pues en todas las estaciones se ha dado incumplimiento en la mayoría de los años en los que fue posible calcular el indicador. En San Cristóbal (SC) se registran las concentraciones más elevadas.



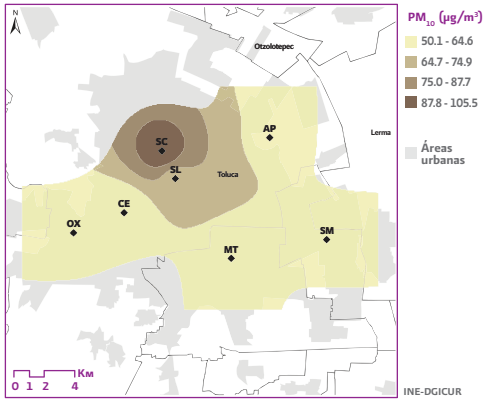
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Las estaciones SC y OX registran la mayor cantidad de días con datos validados, y en ellas es posible observar una cantidad importante de días en rojo, especialmente en SC donde, además, han ido en aumento. Si bien en el resto de las estaciones se ha presentado una gran cantidad de días con concentraciones superiores a la norma, no es posible reconocer una tendencia con respecto a este contaminante, por el gran porcentaje de días sin información suficiente.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 horas)

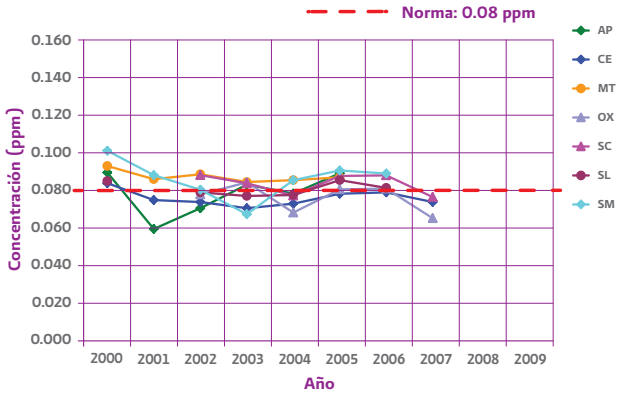
Las concentraciones más elevadas de este contaminante se ubican en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo San Cristóbal (SC), con una disminución paulatina hacia el sur. La estación SC se localiza en un área semirrural cuyas avenidas son de terracería y presentan un flujo vehicular medio donde domina el transporte público y de carga. Según el inventario de emisiones más reciente, las principales fuentes emisoras de PM_{10} en Toluca son las fuentes erosivas, las áreas agrícolas y los caminos no pavimentados.



Indicadores del O_3

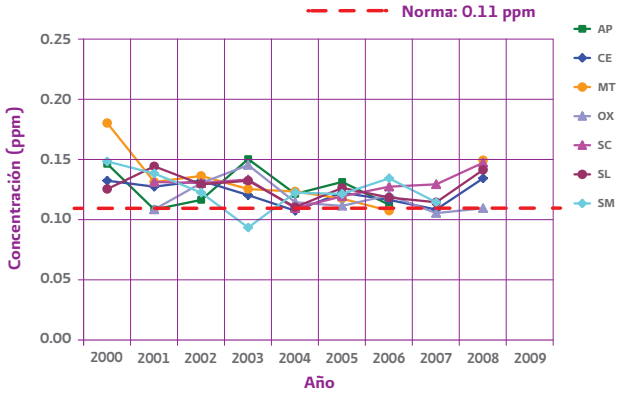
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

No fue posible calcular, por falta de información, el indicador en ninguna de las estaciones de monitoreo desde 2007. En los años anteriores, solo en Toluca-Centro (CE) se ha logrado dar cumplimiento a la norma a partir de 2001, aunque no se distingue una tendencia clara. En el resto de las estaciones, aunque la norma se incumple con frecuencia, se observa que las concentraciones son muy cercanas al valor de la norma, y en 2007 ésta se cumple en las tres estaciones en las que se dispuso de información.



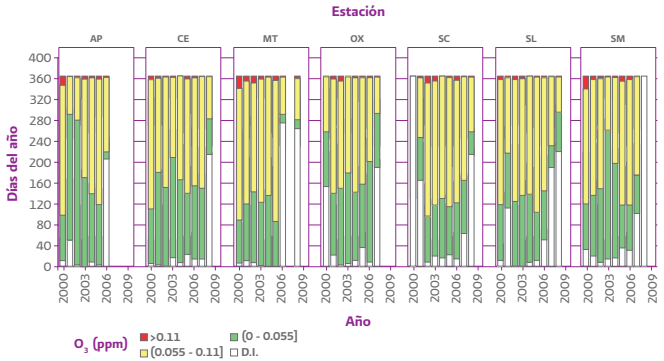
Límite horario (máximo horario)

El límite de la norma solo se ha cumplido uno o dos años en cada una de las estaciones. Aunque las concentraciones más altas suelen registrarse en la estación Metepec (MT), el comportamiento general en todas las estaciones de monitoreo revela que aún se requiere de un gran esfuerzo para conseguir el cumplimiento de esta norma en el valle de Toluca.



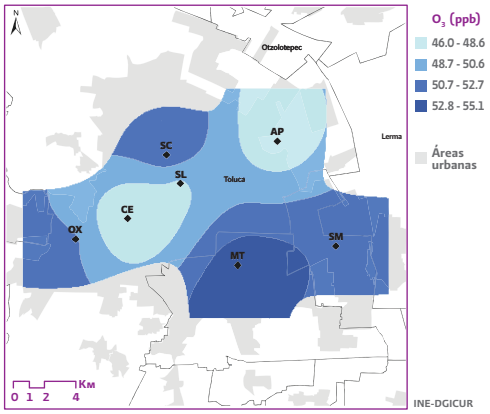
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Es notoria la falta de información en los últimos 4 años en todas las estaciones. Sin embargo, si se consideran los años en los que se observan más mediciones, se confirma el problema con este contaminante en todas las estaciones por la proporción de días en rojo y amarillo en todo el periodo analizado.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

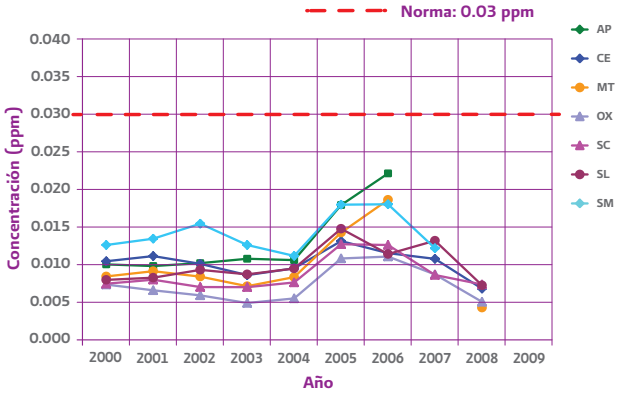
Los valores más altos se presentan al sur de la ciudad, en las inmediaciones de la estación Metepec (MT), disminuyen gradualmente hacia el centro y se incrementan al norte en la vecindad de las estaciones San Cristóbal Huichochitlán (SC) y Oxtotitlán (OX). Las concentraciones más bajas de ozono se localizan cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Aeropuerto (AP).



Indicadores del SO_2

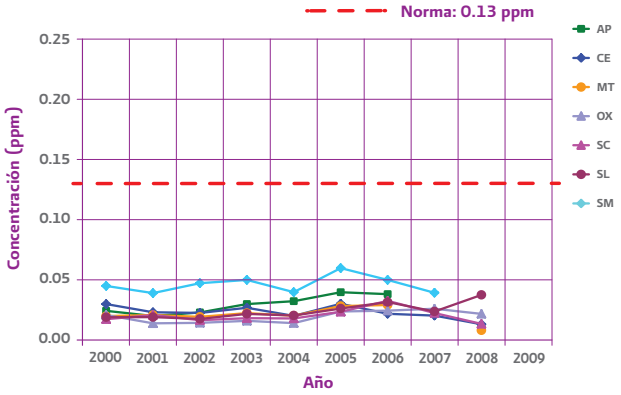
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma se cumplió de 2000 a 2008 en todas las estaciones de monitoreo, a pesar del incremento experimentado en las concentraciones entre 2004 y 2006. Aunque dicho incremento fue notable, no impidió el cumplimiento de la norma. Después de 2006 nuevamente hubo un declive en las concentraciones promedio anuales.



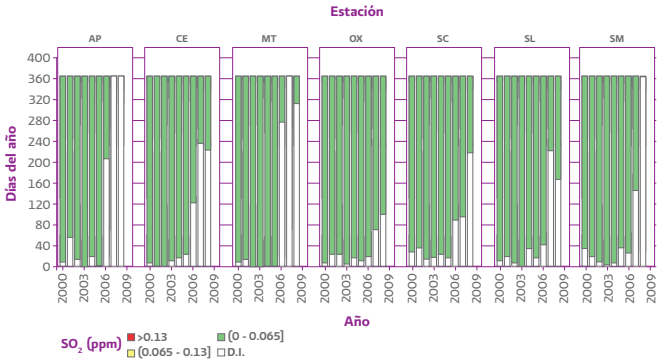
Límite 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Esta norma se ha cumplido en todo el periodo tanto a nivel de estación de monitoreo como de zona metropolitana. Las concentraciones registradas son aproximadamente del 70% al 75% menores respecto al valor de la norma.



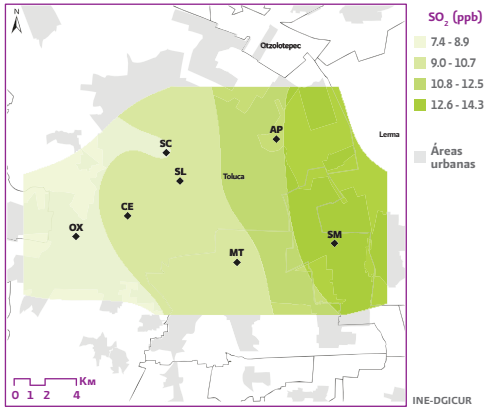
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

También en esta gráfica se puede apreciar la irregularidad del monitoreo en los últimos 3 años. Sin embargo, durante los años con suficiente información, todos los días se muestran en color verde, lo que representa concentraciones inferiores a la mitad del valor de la norma.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

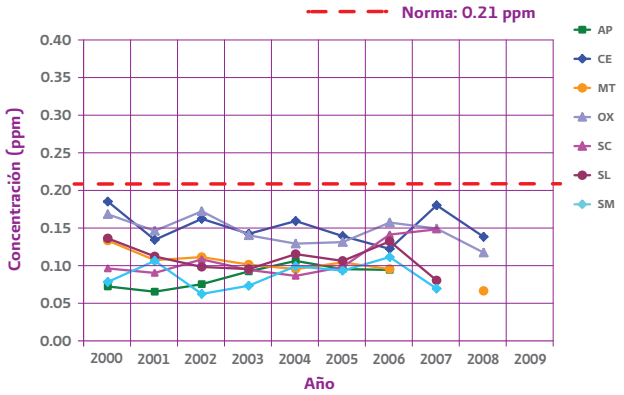
La distribución espacial del SO_2 es totalmente contraria a la mostrada por el CO y el NO_2. En este caso las concentraciones más elevadas se registran en la zona este, en los alrededores de la estación San Mateo (SM), y disminuyen a medida que se avanza hacia el oeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación Oxtotitlán (OX).



Indicadores del NO_2

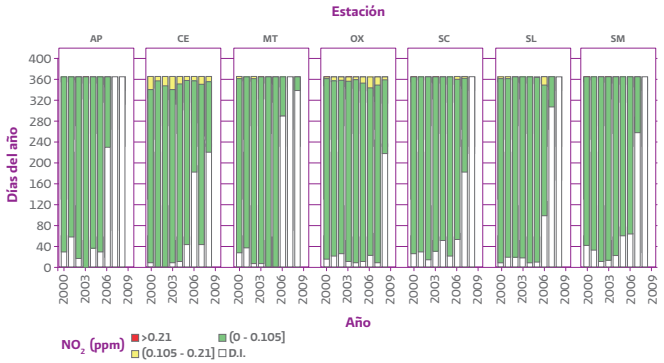
Límite horario (segundo máximo horario)

El límite de la norma se cumplió en todo el periodo en todas las estaciones. Las concentraciones más altas suelen registrase en las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX), y aunque en algunos años se aproximan a la norma, se han mantenido por debajo. En el resto de las estaciones las concentraciones suelen ser más bajas, hasta ser equivalentes en algunos casos a la mitad del valor normado.



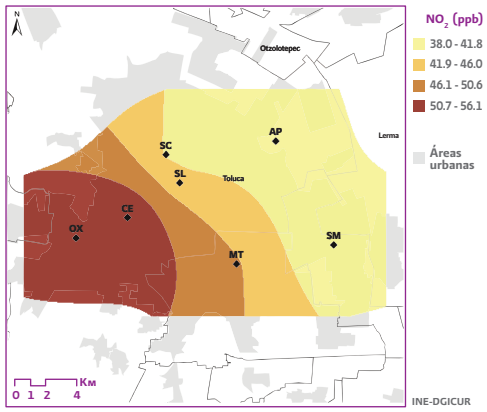
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En este caso también se registraron irregularidades en el monitoreo desde 2007, y se suspendió el monitoreo en 2009. En todo el periodo solo se registraron cuatro días con concentraciones superiores a la norma; tres de éstas se registraron en la estación Toluca-Centro en los años 2000, 2002 y 2004, y una en Metepec (MT) durante el año 2000. A partir de 2005, aunque existen algunos días en color amarillo, la mayor parte de los días caen en el color verde, pero es difícil determinar la tendencia, por la falta de información.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

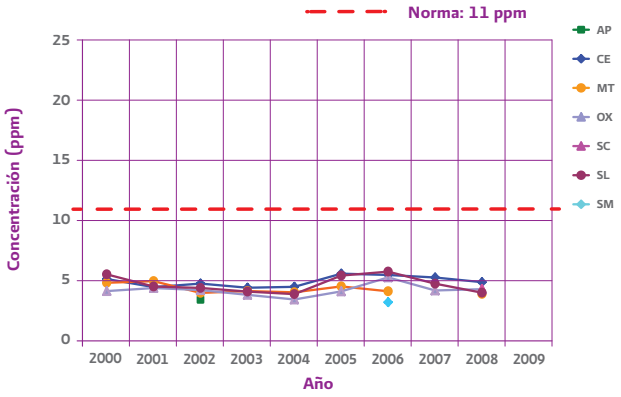
Las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona centro, especialmente cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX). A partir de estos puntos se observa una disminución paulatina de las concentraciones de ambos contaminantes a medida que se avanza hacia el este. Al igual que en el caso del CO, las altas concentraciones en CE y OX pueden estar relacionadas con una actividad vehicular intensa dada la ubicación de servicios administrativos a nivel estatal y regional en esta región (poniente).



Indicadores del CO

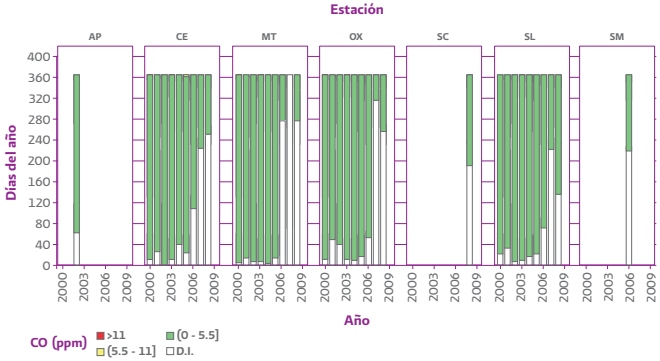
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

En todas las estaciones de monitoreo este indicador se ha mantenido por debajo del valor que exige la norma, incluso a la mitad, en todos los años analizados.



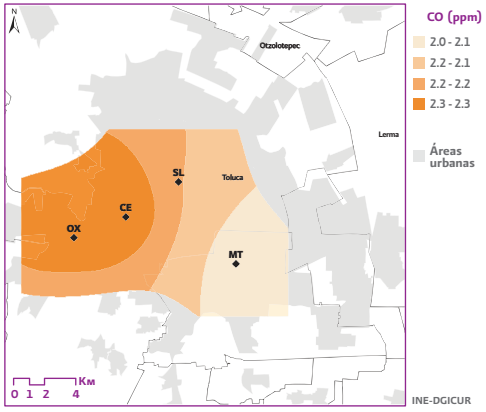
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Destaca la irregularidad del monitoreo en todas las estaciones en los últimos años, que se ve reflejada en la insuficiencia de datos para generar el indicador. En particular, en las estaciones Aeropuerto (AP), San Cristóbal Huichochitlán (SC) y San mateo Atenco (SM) solo se cuenta con información de un año, y con un alto porcentaje de días sin información. Sin embargo, si se considera la información recopilada de 2000 a 2006 (cuando se contó con datos suficientes), parece que este contaminante no representa un problema para la calidad del aire en la ZMVT.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona centro, especialmente cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX). En los alrededores de la estación CE se desarrolla la actividad más intensa de toda la región, pues allí se ubican importantes tiendas comerciales y se llevan a cabo muchos de los servicios administrativos a nivel estatal y regional, por lo que se registra un intenso tráfico vehicular durante todo el día. En el entorno de la estación OX se registra alto tráfico vehicular tanto de trasporte privado como público y, ocasionalmente, de carga (INE-DGCENICA, 2007).



A partir de estos puntos se observa una disminución paulatina de las concentraciones de este contaminante a medida que se avanza hacia el este.

6.

Puebla, Pue.

6.1 Información general

Superficie	483 km^2 (GEP, 2005)	**Índice de motorización**	340 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	2160 msnm (INEGI, 2009a)		
Población en 2010	1.5 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	El sector comercios y servicios, así como la industria manufacturera de productos metálicos, maquinaria y equipo (GEP, 2005)
Flota vehicular en 2009	524 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La ciudad de Puebla cuenta con un inventario de emisiones para el año 2004 (GEP, 2005), el cual indica que los vehículos automotores aportan las emisiones más significativas de CO, NOx y COT, en tanto que las fuentes de área aportan el mayor porcentaje de las emisiones de PM_{10} y SO_2.

Figura 6.1 Inventario de emisiones de Puebla (2004)

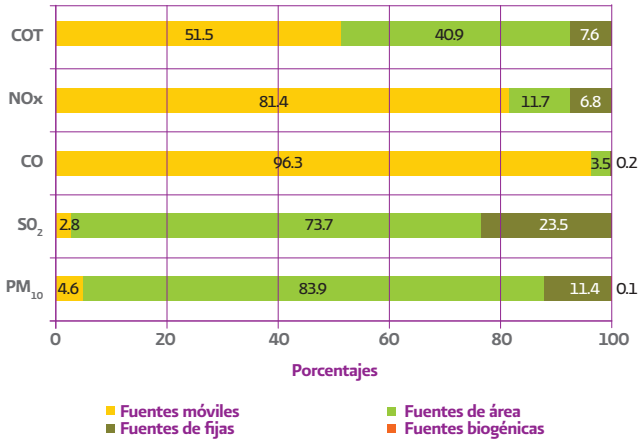
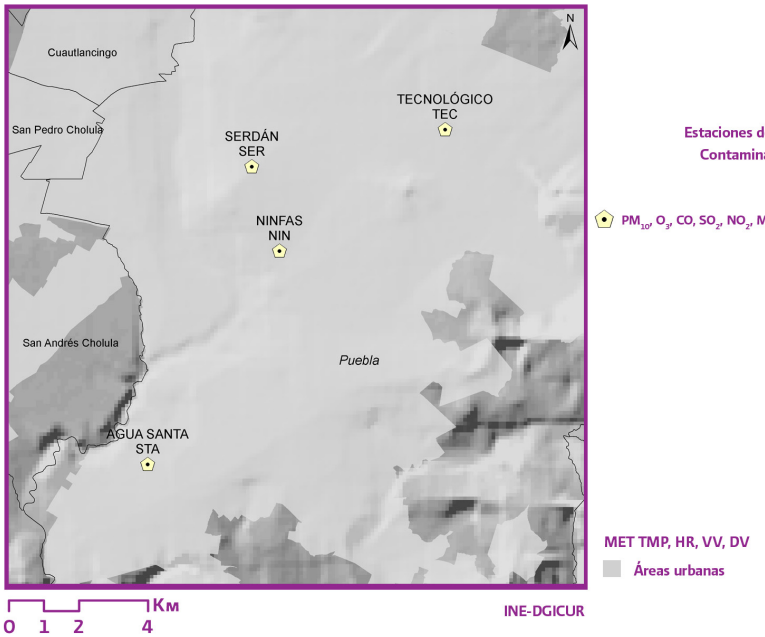


Figura 6.2 Estaciones del SEMA-Puebla analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Puebla se inició en agosto del año 2000 con cuatro estaciones automáticas de monitoreo. La página http://izta.remapuebla.gob.mx/index.php/reporte-imeca-puebla contiene información sobre la red de monitoreo actual. El sistema estatal de monitoreo ambiental de Puebla (SEMA-Puebla) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones automáticas del SEMA-Puebla tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire para el periodo 2000-2009, que se presenta en esta sección del almanaque, se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 6.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada una de ellas.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 6.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Puebla. El desempeño global de la red fue de "mínimo aceptable", y se puede apreciar la existencia de varias áreas de oportunidad para mejorar su desempeño general. Por ejemplo, los equipos de medición de PM_{10} y ozono deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Asimismo, deben identificarse y corregirse las causas que provocan la baja recuperación de datos validados para todos los contaminantes. La atención de estos problemas es fundamental para incrementar tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se podrá dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 6.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Puebla (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos						
Difusión de la información						

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 6.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población

6.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de Puebla

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, el principal problema con la calidad del aire de esta ciudad se relaciona con las altas concentraciones de O_3. Sin embargo, la figura 6.3 muestra que durante 2009 no fue posible evaluar en todas las estaciones el cumplimiento de la norma de 24 h de las PM_{10}, ni tampoco de las normas anuales del ozono y las PM_{10}; por lo tanto, se indica que hubo datos insuficientes para ese año.

Cuadro 6.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Puebla. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Puebla	
PM_{10}	24 horas	Ninfas, Serdán, Agua Santa y Tecnológico	-	D.I.	0
	Anual		-	D.I.	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió[b]	0
	Anual	Ninfas, Serdán, Agua Santa y Tecnológico	-	D.I.	
CO	8 horas	Ninfas	-	Se cumplió[b]	0
NO_2	1 hora	Ninfas y Serdán	-	Se cumplió[b]	0
SO_2	24 horas	Ninfas	-	Se cumplió	0
	Anual		-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la ciudad por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El cumplimiento de la norma para estos contaminantes se debe de tomar con reserva debido a que se evaluó con menos del 50% de los datos horarios del año.

Como complemento, el cuadro 6.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

De este cuadro destaca, en primer lugar, que debido a la escasez de datos los indicadores relacionados con las normas de las PM_{10} y el límite anual del O_3 no pudieron ser evaluados; para el resto de los contaminantes, los indicadores se elaboraron con menos del 50% del total de los datos horarios que se pueden recopilar a lo largo de un año completo de monitoreo. Con estas limitaciones, en ninguno de los días con información suficiente disponible se rebasó el valor de ninguna de las normas de la calidad del aire. En la siguiente sección de este capítulo se incluyen más detalles sobre la evolución de la calidad del aire en la ciudad de Puebla.

6.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de Puebla

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

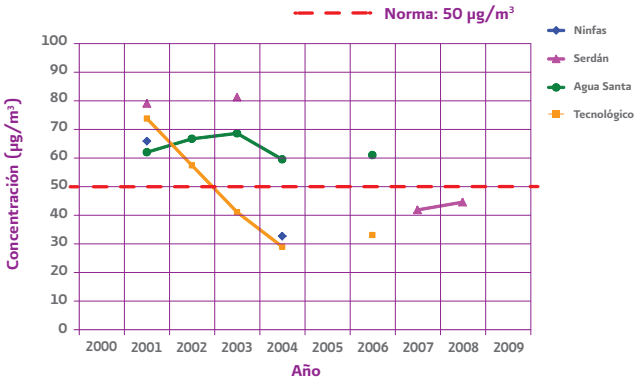
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados para la realización de los cálculos pueden consultarse en el disco compacto anexo, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

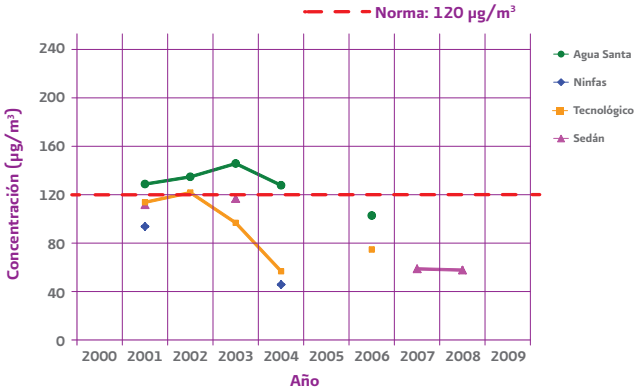
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

Aunque sí hay estaciones para las cuales fue posible calcular el indicador en uno o varios años en el periodo 2001 a 2004 y 2006, destaca el incumplimiento en Agua Santa en todos los años en los que fue posible calcular el indicador; asimismo, resalta la tendencia decreciente de Tecnológico de 2001 a 2004; sin embargo, la falta de información impide determinar si existe alguna tendencia en el comportamiento de este contaminante.



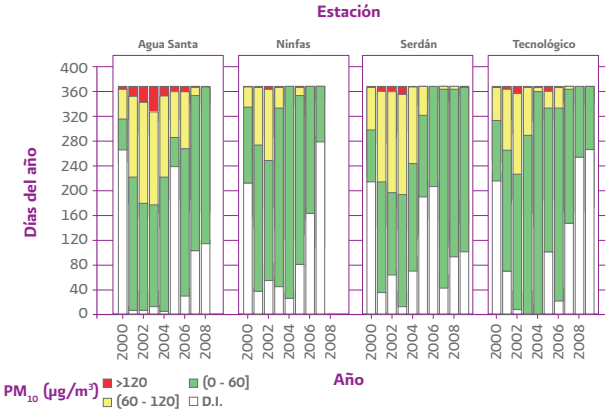
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Debido a la irregularidad de las mediciones de PM_{10} en Puebla, solo se aprecian puntos dispersos, por lo que tampoco puede determinarse si existe o no alguna tendencia en el comportamiento de este contaminante.



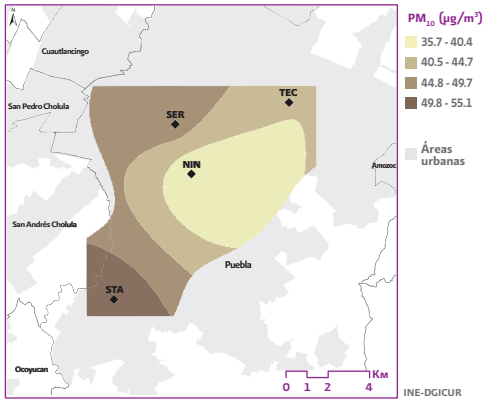
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En primera instancia se aprecia la gran cantidad de días en los que no hay información suficiente para generar el indicador, sobre todo en los últimos años. La estación Serdán es la que presenta un mayor porcentaje de días con información, mientras que en Ninfas y Agua Santa no se realizan mediciones desde 2008 y 2009, respectivamente. En general, se puede apreciar que en la estación Agua Santa es donde con mayor frecuencia se presentaron días con mala calidad del aire por PM_{10} (rojo) en años anteriores, seguida de Tecnológico y Serdán.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

Las concentraciones más elevadas de PM_{10} se registraron al suroeste, en los alrededores de la estación de monitoreo Agua Santa. Probablemente esto esté vinculado con el hecho de que esta zona es una de las áreas más erosionadas de Puebla, que además cuenta con una gran cantidad de calles sin pavimentar. Adicionalmente, los vientos dominantes del noreste pueden ser otro factor que favorece la concentración de partículas en esta región.

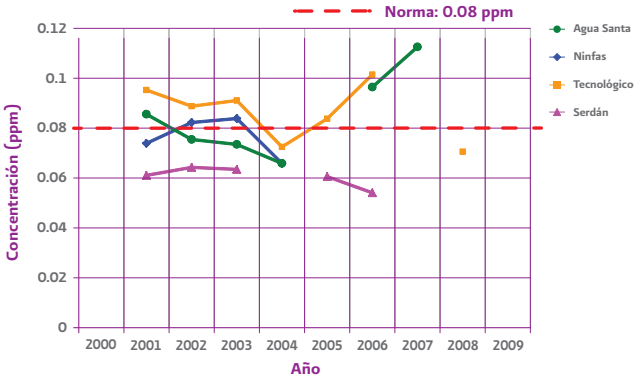


Indicadores del O_3

Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

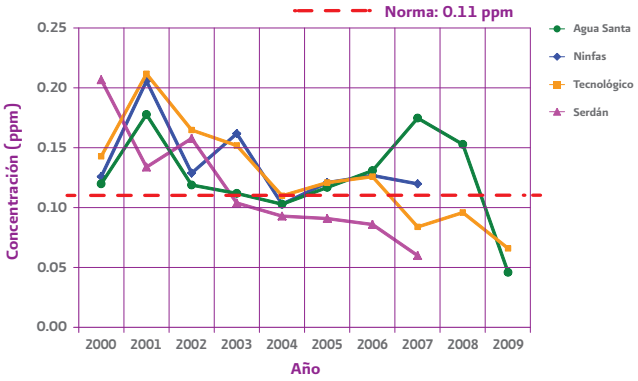
La estación Tecnológico presentó las concentraciones anuales más elevadas en todos los años, y en ella no se cumplió con la norma, excepto en 2004 y 2008. Respecto a las demás estaciones, destaca que solo en la estación Serdán se cumple la norma en todos los años con información disponible.

Claramente se observa que durante los tres años más recientes la red de monitoreo ha experimentado problemas de operación, y por ello hay escasez de información. Desde 2006 no se cuenta con información suficiente para determinar una tendencia en el comportamiento de este contaminante.



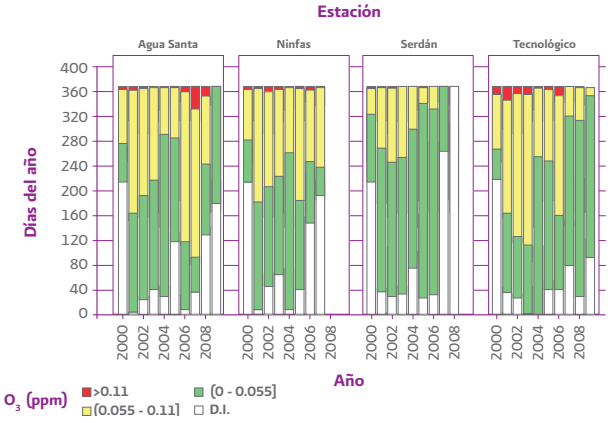
Límite horario (máximo horario)

El indicador de las estaciones de monitoreo muestra una tendencia decreciente en las concentraciones máximas horarias de ozono. Esta tendencia se observa también en la mayoría de las estaciones, aunque solo en Serdán y Tecnológico se ha logrado cumplir con la norma respectiva, desde 2003 y 2007, respectivamente. Sin embargo, esta tendencia debe tomarse con reservas debido a la poca información disponible en los últimos años.



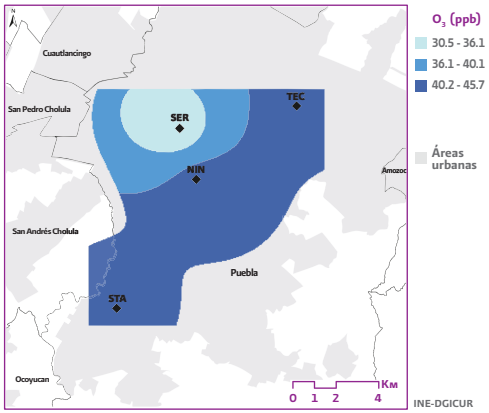
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Destaca la ausencia de mediciones en Ninfas y Serdán durante 2008 y 2009, así como el bajo porcentaje de datos validados en Agua Santa en 2009 (menos del 50%). La estación Tecnológico es la que cuenta con más datos validados a lo largo del periodo, y en ella históricamente se ha registrado una mayor cantidad de días con mala calidad del aire (rojo), aunque en los últimos años hay una clara tendencia a la baja, tanto de estos días como de los días con calidad del aire regular (amarillo).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

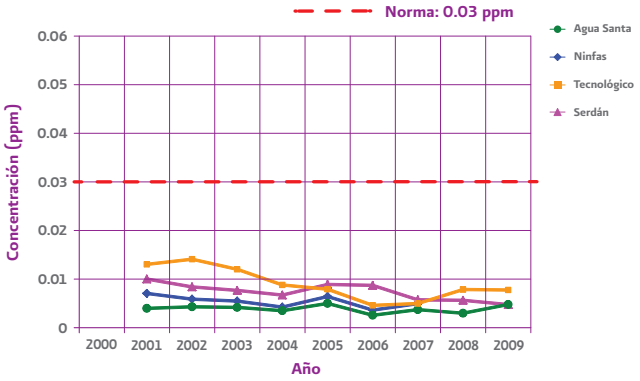
En la figura se puede apreciar que las concentraciones más elevadas de ozono se registran en las zonas centro, sur y este de Puebla, en las inmediaciones de las estaciones Ninfas, Agua Santa, y Tecnológico, con una atenuación hacia el noroeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación Serdán.



Indicadores del SO_2

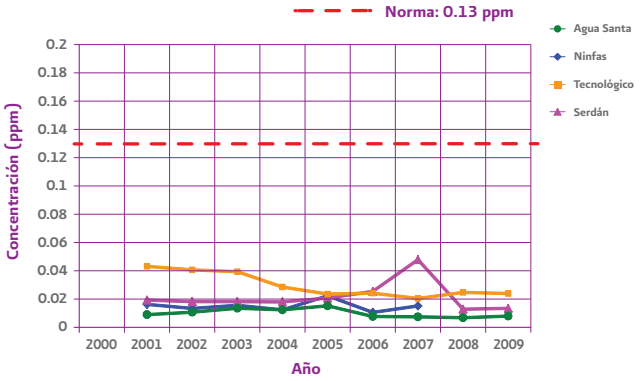
Límite anual (promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican, en todas las estaciones y años, muy por debajo del límite normado, y alcanzan valores equivalentes a menos de un tercio del valor de la norma.



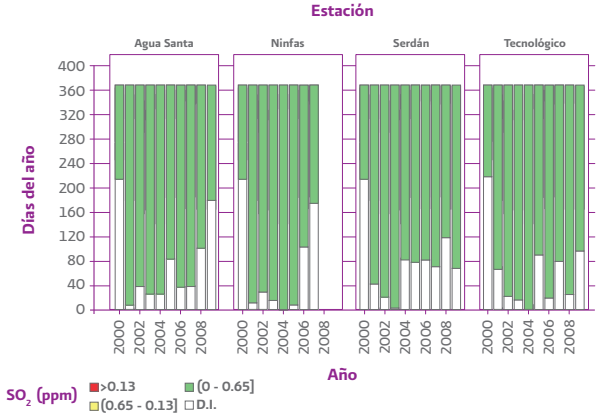
Límite horario (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado, incluso con concentraciones inferiores, en todos los años, a la mitad del valor normado.



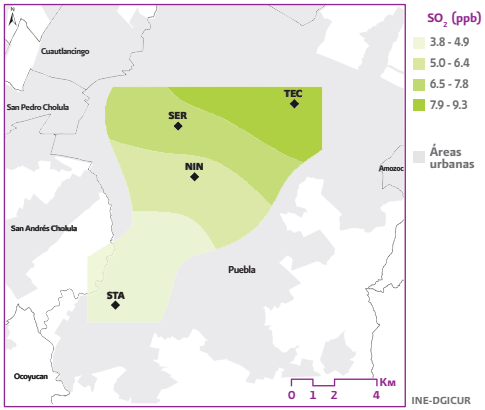
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En las estaciones Agua Santa y Ninfas hay una gran cantidad de días con información insuficiente. Sin embargo, en las estaciones Serdán y Tecnológico, con más información, dominan de manera clara los días con una buena calidad del aire con respecto al SO_2, pues prácticamente todos los días con información disponible caen en el color verde.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

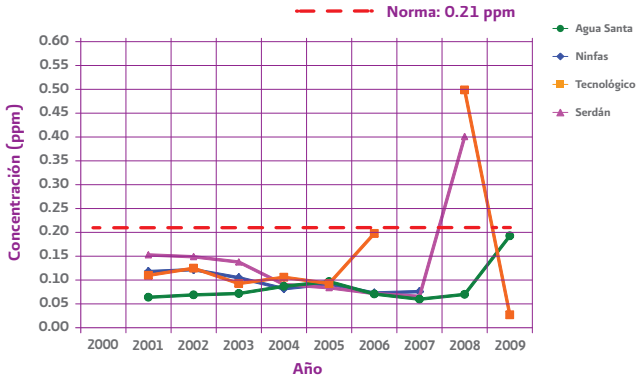
La figura muestra que las concentraciones más altas de SO_2 suelen ocurrir en las inmediaciones de la estación Tecnológico (al norte de la ciudad), y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección al sur, hasta registrar las concentraciones más bajas en la estación Agua Santa.



Indicadores del NO_2

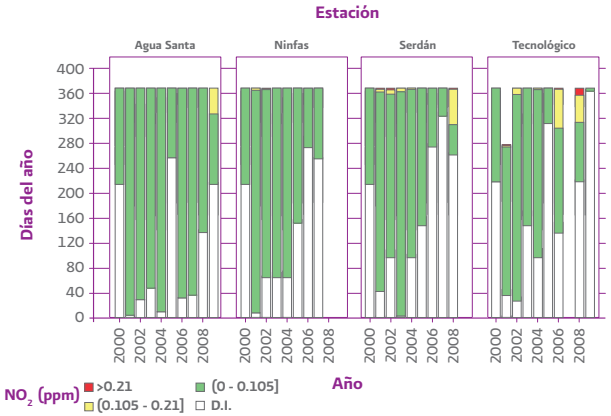
Límite horario (segundo máximo horario)

Destaca que después de haberse cumplido la norma del NO_2 durante un largo periodo (2001-2007), en 2008 se registraron concentraciones casi equivalentes al doble del valor de la norma en las estaciones Tecnológico y Serdán. Para 2009 nuevamente se cumple con la norma en las estaciones donde fue posible calcular el indicador (Tecnológico y Agua Santa); sin embargo, este comportamiento no es representativo de todo el año, pues se cuenta con muy pocos datos para su cálculo. Por el momento se ignoran las causas de este extraño comportamiento en 2008.



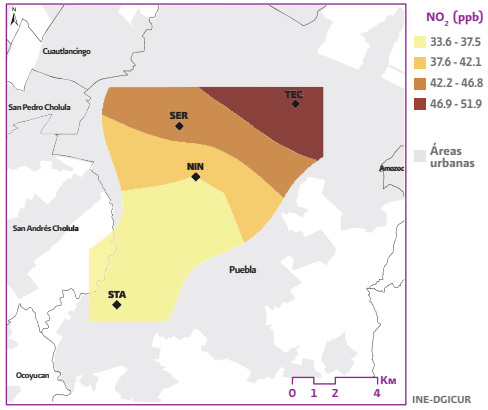
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En los últimos años se ha reducido el número de días con información suficiente para calcular el indicador, lo que impide determinar una tendencia para este contaminante. Las estaciones Ninfas y Serdán dejaron de medir desde 2008 y 2009, respectivamente, y en Tecnológico el número de mediciones se redujo hasta casi cero en 2009. Llama la atención que, en esta estación, se registraron 10 días en los que se rebasó el valor de la norma en 2008.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

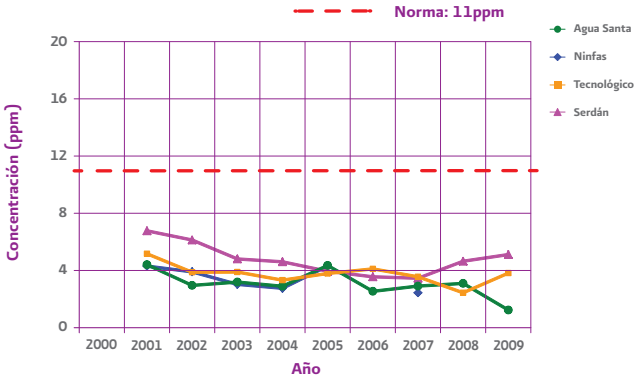
Esta figura muestra que las concentraciones más altas de NO_2 suelen ocurrir en las inmediaciones de la estación Tecnológico (al norte de la ciudad), y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección al sur, hasta registrar las concentraciones más bajas en la estación Agua Santa.



Indicadores del CO

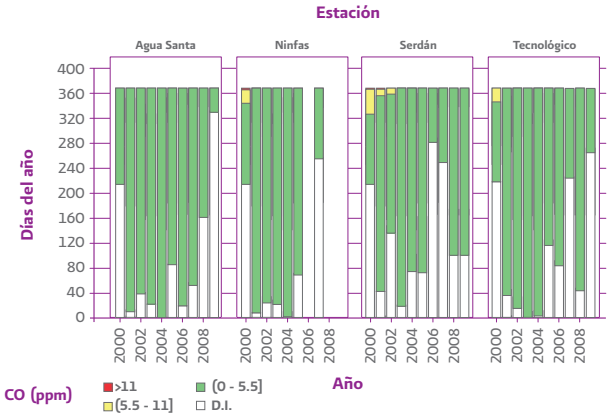
Límite de 8 horas
(segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Los indicadores muestran que en todos los años se ha cumplido con la norma, por lo que hasta ahora este contaminante no representa un problema para la calidad del aire en esta ciudad.



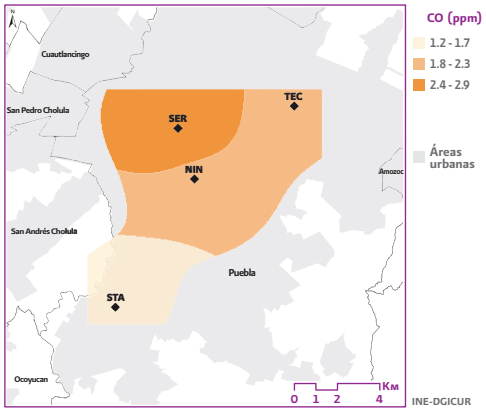
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Destaca la gran cantidad de días con datos insuficientes para generar el indicador (en blanco) en Agua Santa y Tecnológico, y la ausencia de mediciones en Ninfas desde 2007. De los datos disponibles, se observa que dominan los días con buena calidad del aire (en verde), aunque no es posible establecer una tendencia a partir de esta información.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas)

En esta figura se observa que las mayores concentraciones de CO se registran en la zona norte de Puebla, en las inmediaciones de la estación Serdán, que se ubica cerca de un área de mucha actividad comercial y vialidades con intenso tráfico vehicular. A partir de este punto se aprecia una atenuación de las concentraciones a medida que se avanza hacia el sur, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en los alrededores de la estación Agua Santa.



7.

Tijuana, B.C.

7.1 Información general

Superficie	1243 km^2 (INEGI, 2011c)	**Índice de motorización**	440 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	20 msnm (GEBC, 2010a)		
Población en 2010	1.6 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria maquiladora es la más relevante, seguida de la industria de alimentos y bebidas, la industria de la construcción, y la fabricación de productos metálicos y no metálicos (GEBC, 2010b)
Flota vehicular en 2009	686 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

Es oportuno mencionar que si bien recientemente se le confirió la denominación de Zona Metropolitana de Tijuana a los municipios que comprenden Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito (SEDESOL *et al.*, 2007), en el presente almanaque se reporta el diagnóstico de la calidad del aire para cada uno de estos municipios por separado; esto se debe a que, con la cobertura actual de las estaciones, la información de la calidad del aire representa características fisiográficas diferentes, así como dinámicas urbanas distintas, por lo que resulta inadecuado que las estaciones ubicadas en estos municipios se traten como una sola red de monitoreo; por lo tanto, se elaboró un capítulo individual para cada municipio.

El municipio de Tijuana cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010). De éste destaca que los vehículos automotores contribuyen con casi la totalidad de las emisiones de CO y NOx y son la principal fuente de emisiones de COV, mientras que las fuentes de emisión predominantes de PM_{10} y SOx son las fuentes de área (figura 7.1).

Figura 7.1 Inventario de emisiones de Tijuana (2005)

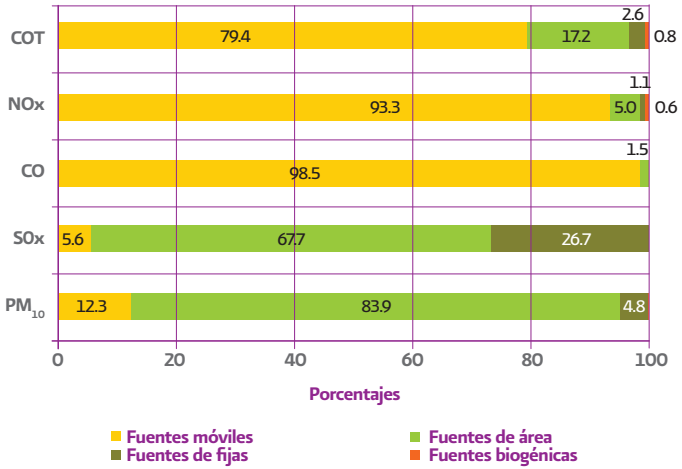
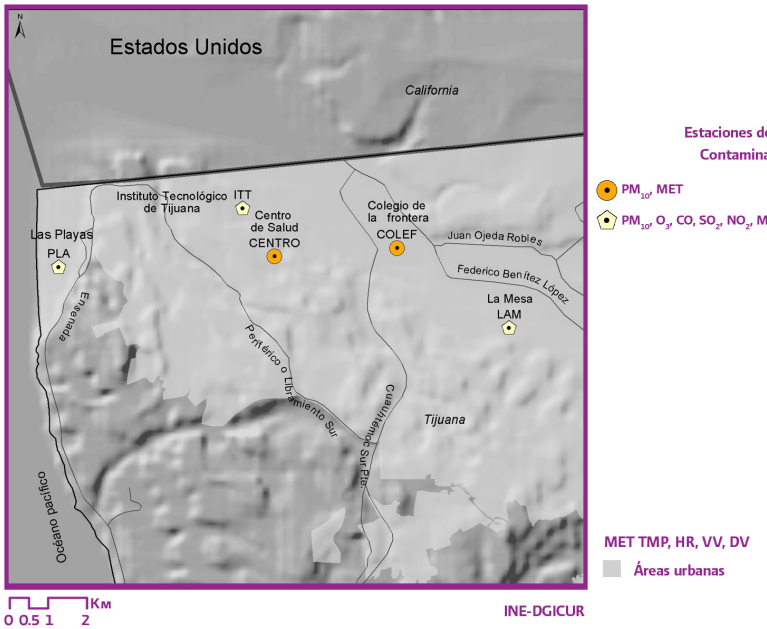


Figura 7.2 Estaciones de la RMA de Tijuana analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Tijuana comenzó a operar en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, sus siglas en inglés), de la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB), y de la entonces SEMARNAP. La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos y era financiada por la EPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades de la USEPA hacia el gobierno del estado de Baja California en México, este último ya administra la operación y el mantenimiento de la red (INE, 2010). La página http://aire.bajacalifornia.gob.mx/county.cfm?c=Tijuana contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red de monitoreo atmosférico de Tijuana (RMA-Tijuana) se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RMA-Tijuana tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son cinco, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 7.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

Las estaciones de monitoreo realizan las mediciones de los contaminantes con equipos automáticos, a excepción de las PM_{10}, que se miden con equipos manuales; sin embargo, a partir de 2005 la estación LAM mide PM_{10} también con equipo automático.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología

descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 7.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Tijuana.

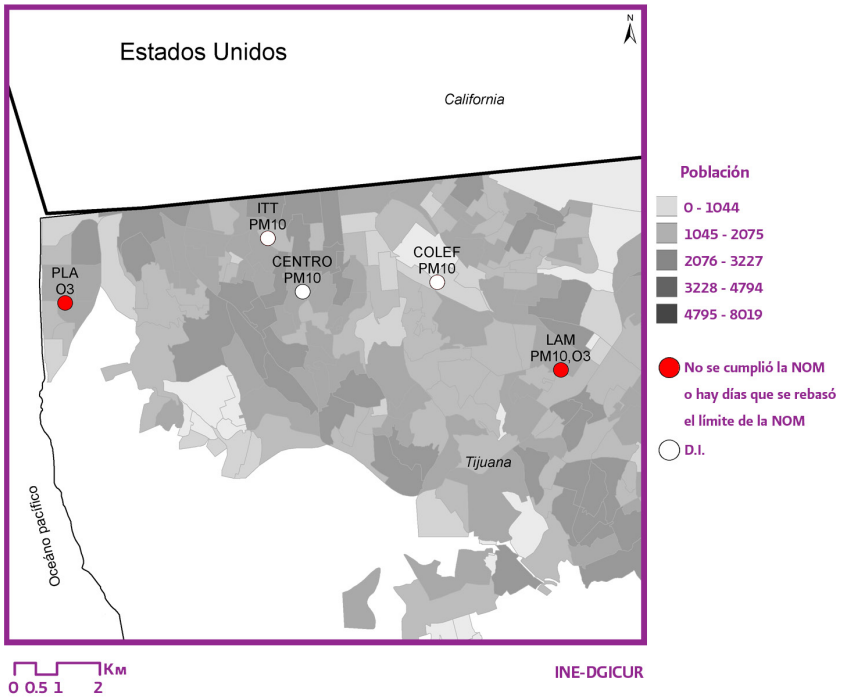
De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes. Por ejemplo, los equipos de medición de PM_{10} y NO_2 deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Igualmente útil resultará identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperabilidad de datos validados para el SO_2, las PM_{10} y el NO_2, así como la oportunidad en la validación de los datos. Debido a los cambios administrativos que ha sufrido esta red, era de esperarse que se presentaran variaciones en su desempeño. En general, la atención de estos problemas incrementaría tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se abriría la posibilidad de dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 7.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Tijuana (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]				■	
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2			■		
	SO_2 [b]					
Trazabilidad[c] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[d]	PM_{10} [a]			■		
	O_3		■			
	CO		■			
	NO_2			■		
	SO_2				■	
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos				■		
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Cuando se realizó la auditoria no había equipo disponible para realizar la evaluación.
c Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
d Excepto para las PM_{10}, el porcentaje de datos validados corresponde a 2000-2008.

Figura 7.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 y distribución de la población



7.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Tijuana

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la RMA-Tijuana sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ciudad se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 7.3 muestra los contaminantes que representan el principal problema en cada una de la estaciones para el año más reciente con información disponible. En la figura también se observan áreas densamente pobladas alrededor de las estaciones ITT, CENTRO y LAM, a diferencia de COLEF y PLA.

Como complemento, el cuadro 7.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2008), e incluye las estaciones de monitoreo en donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI. Los datos validados de la calidad del aire que fueron analizados en este almanaque se obtuvieron tanto de la base de datos de la Agencia de Protección del Ambiente de California en la página web http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm, como de las autoridades estatales de Baja California.

Si bien se dispone de la información sobre las PM_{10} para el análisis de los indicadores hasta 2009 (que se presenta en el apartado 7.3), el diagnóstico que se muestra en el cuadro 7.2 corresponde al año más reciente (2008) para el cual se cuenta con información de todos los contaminantes que se miden; esto se debe a que al momento de elaborar este documento los responsables de la red no habían reportado al INE la información validada de 2009 para los demás contaminantes.

Cuadro 7.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Tijuana. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Tijuana	
PM_{10}[b]	24 horas	Centro, Colef, ITT, LAM y PLA	-	D.I.	4[c]
	Anual		-	D.I.	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	0
	Anual	LAM y PLA	-	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = no hay datos suficientes para determinar el cumplimiento de la NOM de acuerdo con los criterios establecidos en la norma.
a La evaluación del cumplimiento de Tijuana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El análisis de las PM_{10} se realizó hasta 2009, pero se reporta 2008 para tener el mismo año de evaluación con respecto a los demás contaminantes. Para la evaluación del cumplimiento de las normas se utilizaron los datos provenientes de las mediciones manuales.
c Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año. En total, 23 muestreos máximos en 2008.

Es importante señalar que para el caso de las PM_{10} se utilizó exclusivamente la información proveniente de equipos manuales, y para el resto de los contaminantes, los datos de los equipos automáticos; esto obedece a la cobertura de las estaciones manuales, y es congruente con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Si bien para el CO, el NO_2 y el SO_2 no se distingue una problemática importante, el comportamiento de las PM_{10} así como la insuficiencia de los registros del O_3 requieren atención inmediata. Para la mayoría de los contaminantes existe todavía una reiterada insuficiencia de datos para realizar la evaluación de los indicadores, especialmente en los años más recientes.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

7.3 Indicadores de la calidad del aire en Tijuana

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados para cada contaminante en el periodo 2000-2009 para las PM_{10}, y 2000-2008 para el resto de los contaminantes (O_3, SO_2, NO_2 y CO). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
    a) no excedieron el valor diario normado (verde),
    b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
    c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
    d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

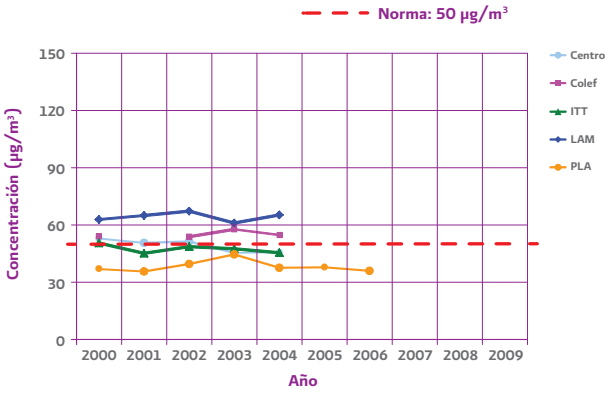
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

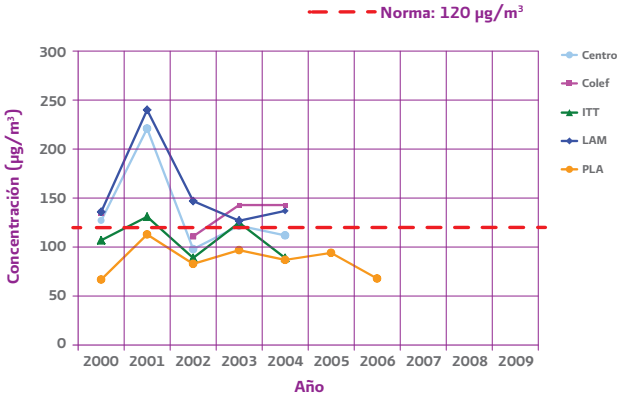
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

A partir del año 2007 es imposible realizar el cálculo por falta de datos provenientes de las mediciones manuales. En el periodo anterior (2000 a 2006) resalta que solo se cumple con la norma en la mayoría de los años en Playas (PLA) e Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), en contraste con La Mesa (LAM) y Colegio de la Frontera (COLEF), en donde se incumplió la norma en dicho periodo.



Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

En este caso sucede algo similar a lo que sucede con la norma anual, pues desde 2007 no se cuenta con información suficiente para calcular el indicador. Durante el periodo anterior (2000 a 2006) destaca que la única estación que ha estado por debajo del valor de la norma es Playas (PLA), y el resto de las estaciones ha estado fuera de cumplimiento al menos una vez en el periodo de análisis. Asimismo, llaman la atención las concentraciones registradas en 2001 en La Mesa (LAM) y Centro, que alcanzan valores cercanos al doble del valor normado.

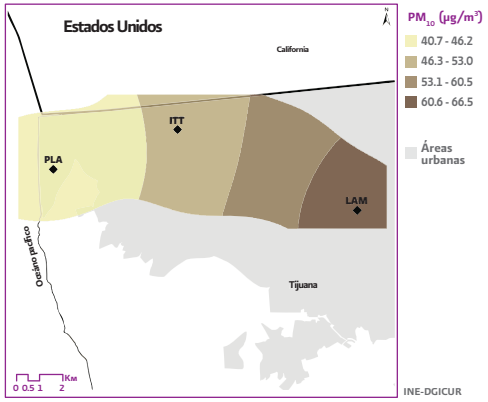


Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

En esta figura también se aprecia que hay una gran carencia de información en todas las estaciones en los años más recientes. Sin embargo, con la información existente se observa que en todas las estaciones ha habido algunos días por arriba del valor normado en algún momento del periodo analizado, y es en La Mesa (LAM) donde se presenta el mayor número de días en rojo.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los muestreos de 24 horas)

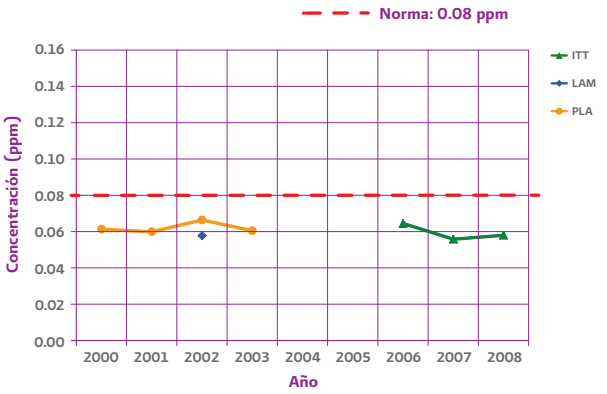
Para este contaminante se observa una distribución de oriente a poniente; las concentraciones más altas se presentan en La Mesa (LAM) y posteriormente en Colegio de la Frontera (COLEF); concentraciones un poco menores en Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) y Centro de Salud (CENTRO); y las concentraciones más bajas en Playas (PLA). Conforme al inventario de emisiones, más del 80% de las emisiones de PM_{10} provienen de las fuentes de área, y se sabe que cerca de la estación LAM existen algunas zonas de terracería, así como establecimientos de comercio y servicios.



Indicadores del O_3

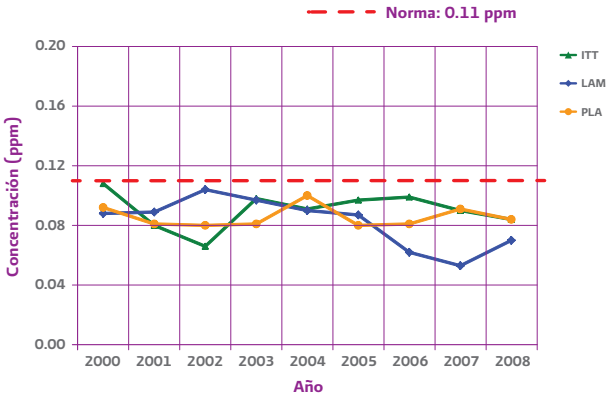
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Existen algunos años en los que se cuenta con datos suficientes, y se aprecia que este indicador se encuentra por debajo del límite establecido en la norma; sin embargo, los datos son muy escasos para hacer un diagnóstico adecuado.



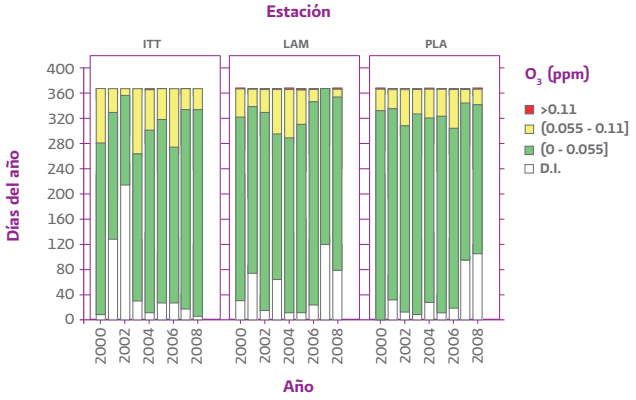
Límite horario (máximo horario)

A pesar de que no se cuenta con información suficiente para evaluar el cumplimiento de la norma anual, los datos disponibles permiten evaluar la norma horaria, y se observa que aunque los valores registrados en todas las estaciones, y de manera global en Tijuana, son cercanos al valor de la norma, no se ha rebasado dicho valor durante el periodo de análisis. Destaca la tendencia decreciente en La Mesa (LAM) de 2003 a 2007; sin embargo, en el año más reciente (2008) hay un aumento de este indicador.



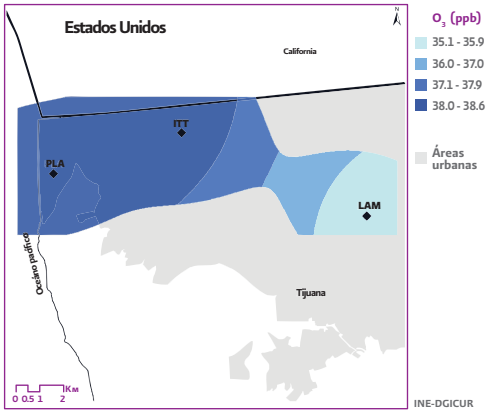
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

A partir de la información disponible, se observa que en todo el periodo no hay ningún día reportado con valores mayores a la norma horaria. Es importante mencionar que en las estaciones La Mesa (LAM) y Playas (PLA) se aprecia un incremento de los días con insuficiencia de datos en los tres años recientes.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

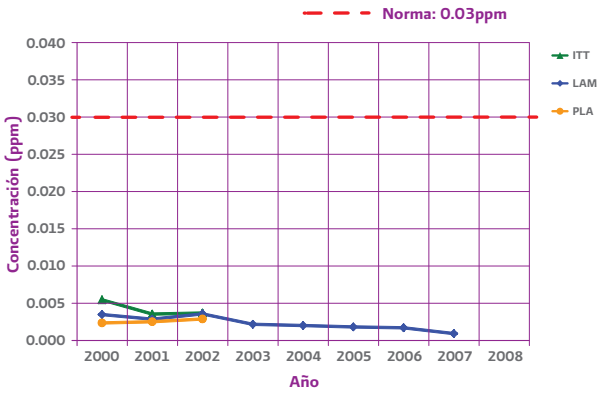
En las estaciones Playas (PLA) e Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) se han registrado las concentraciones más altas de ozono; éstas se atenúan hacia el oriente, y las más bajas se registran en los alrededores de la estación La Mesa (LAM).



Indicadores del SO_2

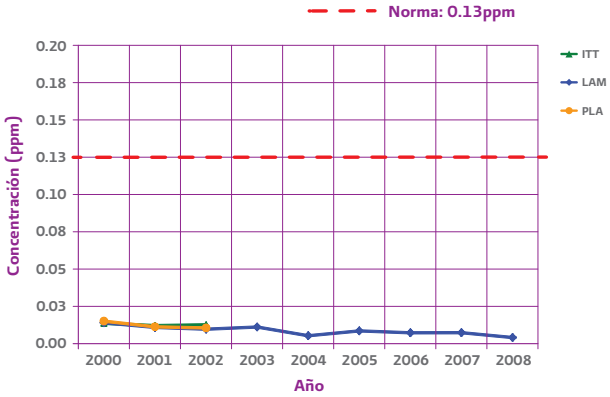
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

Al igual que para el CO, se observa una ligera tendencia a la reducción en el periodo analizado, y todas las estaciones se encuentran muy por debajo del valor normado.



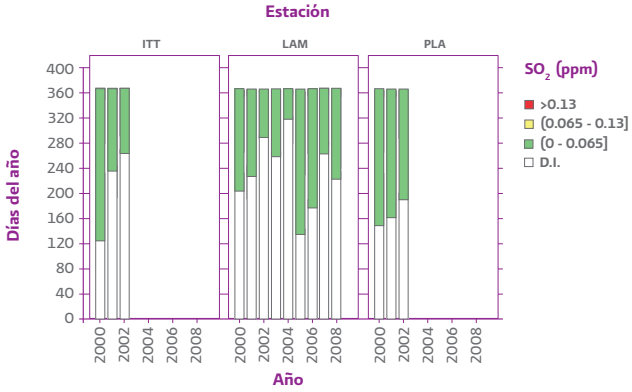
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Se observa una ligera tendencia a la reducción en el periodo analizado, y todas las estaciones se encuentran muy por debajo del valor normado.



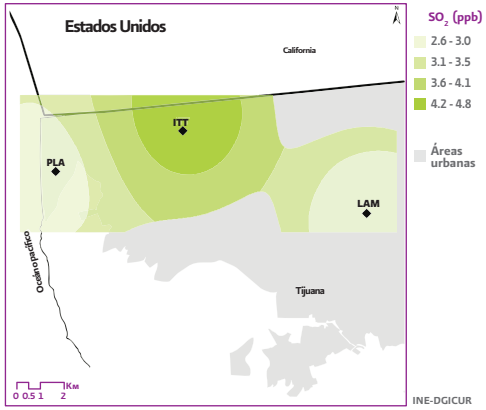
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Desde 2002 solo la estación La Mesa (LAM) ha continuado midiendo este contaminante, pero con una gran proporción de días con insuficiencia de datos (cerca del 60% en 2008). Si bien no se reporta ningún día en el que se rebase el valor de la norma, no es posible hacer un diagnóstico adecuado de la calidad del aire con respecto a este contaminante.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

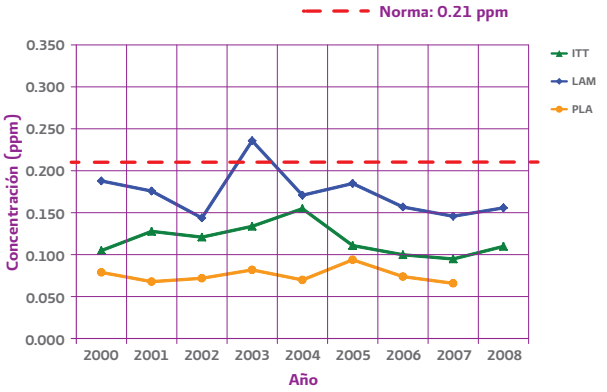
Este contaminante tiene un comportamiento espacial diferente al del resto de los contaminantes: sus concentraciones más altas se ubican en los alrededores de la estación Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), y disminuyen hacia La Mesa (LAM) en el oriente y hacia Playas (PLA) en el poniente. Comúnmente, las emisiones de este contaminante se asocian en su mayoría con la actividad de fuentes fijas. Sin embargo, dado que desde 2003 no se mide este contaminante en ITT y PLA este comportamiento espacial, podría variar actualmente.



Indicadores del NO_2

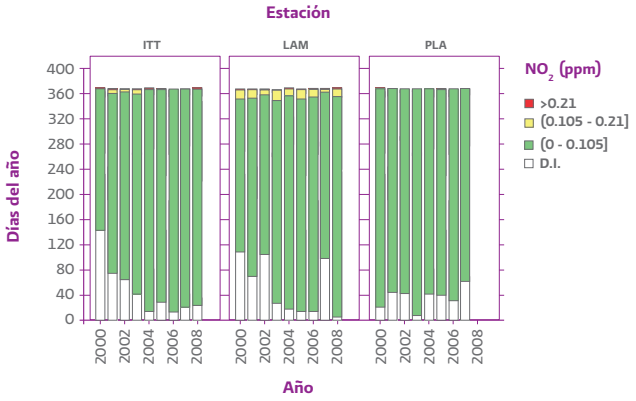
Límite horario (segundo máximo horario)

Se observa un comportamiento más o menos constante de este contaminante en todo el periodo. Sin embargo, en el año 2003 se presenta un valor muy alto en la estación La Mesa (LAM) y, por tanto, se incumple la norma en Tijuana en ese mismo año.



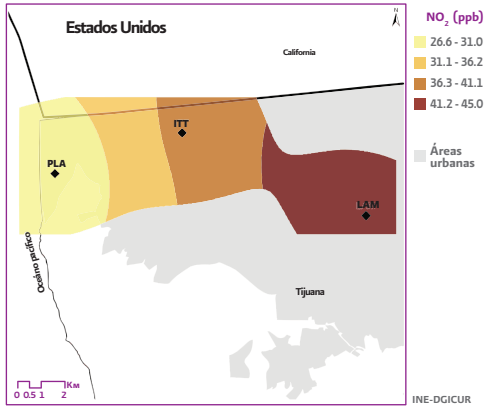
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En el año 2001 se presentó un día con valor superior al normado en la estación La Mesa (LAM); sin embargo, en el año 2003 se presentan en esta misma estación dos días con valor por arriba del normado y, por tanto, en ese año sí se incumple con la norma.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

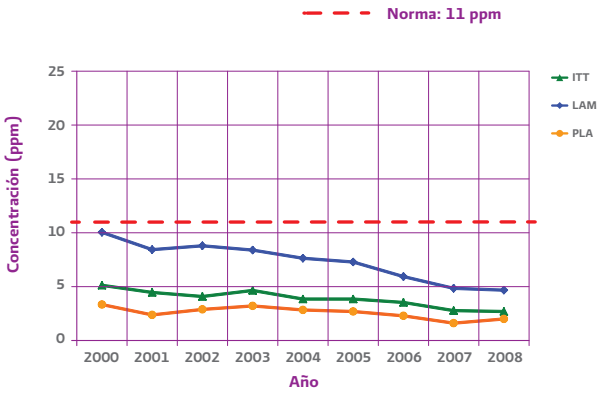
Las concentraciones más altas se dan en el oriente, en los alrededores de La Mesa (LAM), y van disminuyendo hacia el poniente hacia la estación Playas (PLA). De acuerdo con el inventario de emisiones, más del 80% de las emisiones de NO_2 se atribuyen a las fuentes móviles o vehículos automotores.



Indicadores del CO

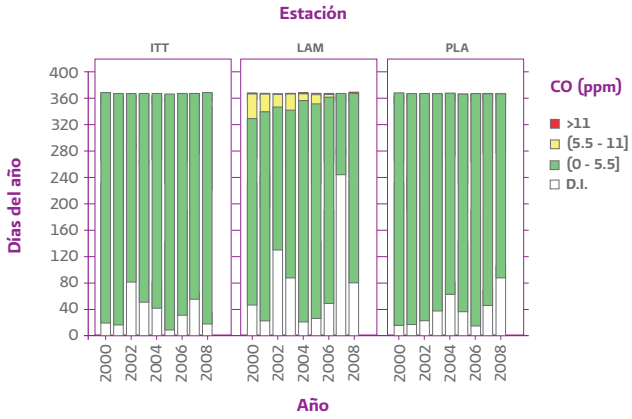
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Aun cuando desde el primer año de análisis (2000) todas las estaciones reportaban niveles por debajo del valor normado, se observa una ligera tendencia de reducción en el periodo analizado.



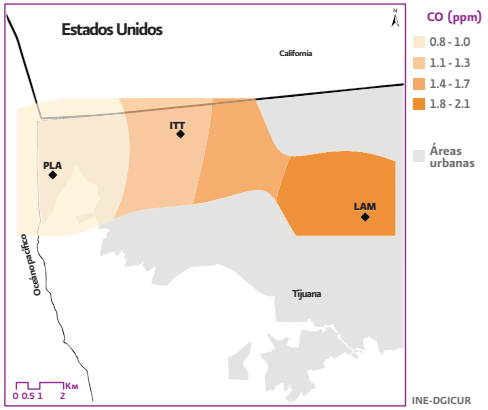
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aun cuando se ha cumplido la norma en la mayoría de las estaciones y para casi todo del periodo analizado, tanto en 2001 como en 2002 se presentó un día con valor superior al normado, ambos en la estación La Mesa (LAM). Esta última presenta también algunos días en color amarillo o con un valor cercano al normado.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas se han presentado en La Mesa (LAM), concentraciones un poco menores en Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), y las concentraciones más bajas en Playas (PLA). De acuerdo con el inventario de emisiones, más del 90% de las emisiones de CO se atribuyen a las fuentes móviles o vehículos automotores.



8.

León, Gto.

8.1 Información general

Superficie	1883 km^2 (GEG, 2008)	**Actividad económica dominante**	En las últimas décadas León ha cambiado su actividad económica dominante; se ha convertido en una prestadora de servicios (turismo de negocios, educación, servicios hospitalarios) y ha dejado atrás la tradicional definición económica de enclave manufacturero (industria cuero–calzado), pese a que aún el sector industrial tiene un peso importante en la economía local (GEG, 2008)
Altitud	1800 msnm (GEG, 2008)		
Población en 2010	1.4 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		
Flota vehicular en 2009	347 mil vehículos (INEGI, 2010a)		
Índice de motorización	242 vehículos por cada mil habitantes		

La ciudad de León cuenta con un inventario de emisiones del año 2006, en el que destaca que las emisiones más importantes de COT, NOx, CO y SO_2 provienen de las fuentes móviles, en tanto que el aporte más importante de PM_{10} proviene de las fuentes de área (figura 8.1) (GEG, 2008).

Figura 8.1 Inventario de emisiones de la ciudad de León (2006)

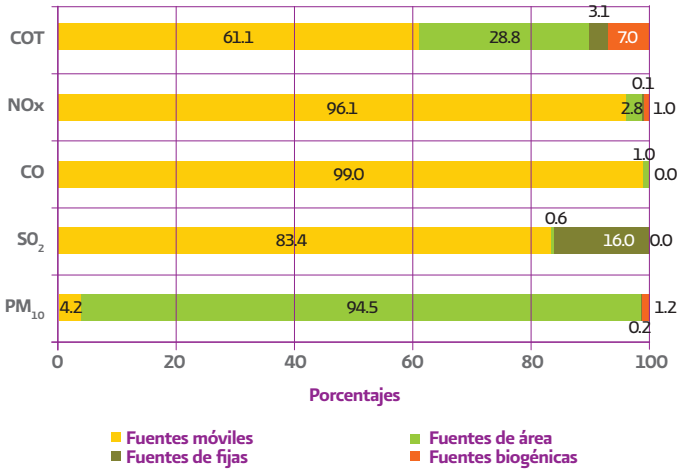
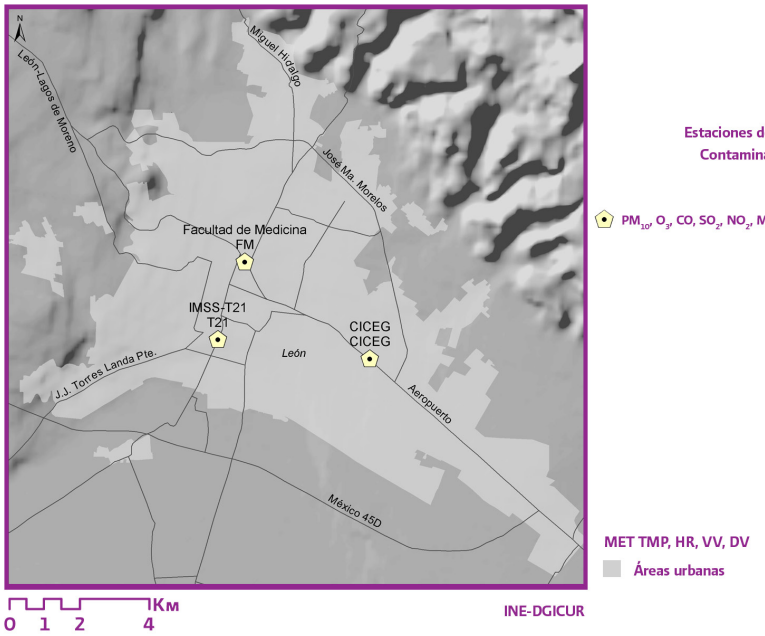


Figura 8.2 Estaciones de la RAMA-León analizadas en el periodo 2006-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en León inició operaciones en 2005 (GEG, 2008). La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de León (RAMA-León) se incorporó al SINAICA el mismo año en que inició operaciones, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-León tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire son tres, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 8.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

Estas tres estaciones iniciaron operaciones en diferentes años, a saber: Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato (CICEG) en 2005, Clínica IMSS-T21 (T21) en el segundo semestre de 2006, y Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato (FM) en 2007. Por lo tanto, para CICEG se reportan los indicadores en el periodo de 2006 a 2009, para T21 en 2007-2008, y para FM solo en 2008 y 2009, excepto para el CO, cuyos indicadores se incluyen desde 2007; en estos periodos se tiene mayor confianza en las mediciones, de acuerdo con los responsables de la red.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 8.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la RAMA-León. Es necesario mencionar que, en lo que respecta al número de equipos de medición que aprobaron la última auditoría y a la trazabi-

lidad de los equipos de calibración, la evaluación del desempeño se llevó a cabo con los resultados de la revisión técnica realizada en el año 2010 a la red de monitoreo del estado de Guanajuato. Esta revisión incluyó una sola estación de monitoreo de cada ciudad; por lo tanto, en la ciudad de León únicamente se evaluó la estación CICEG, de las tres estaciones que conforman la red de monitoreo.

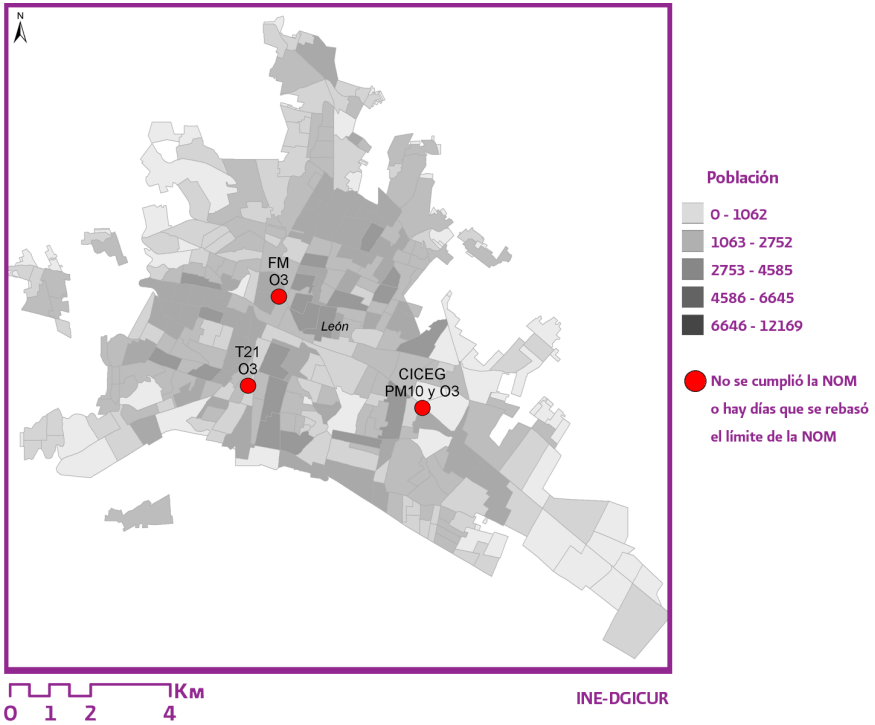
De acuerdo con el cuadro 8.1, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad, como la adecuación de los programas de control y aseguramiento de calidad, para orientarlos a una mayor exigencia e incrementar la frecuencia de las auditorías a equipos de medición de CO, NOx y SO_2. Lo anterior, con el propósito de mejorar el desempeño y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, resultará útil identificar y corregir las causas que provocan el bajo porcentaje de recuperación de datos validados de CO y NO_2. Por último, la oportunidad con que se hace la validación de los datos, los procedimientos usados para realizarla y la difusión de los datos se consideran muy buenos.

Cuadro 8.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de León (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}	■				
	O_3	■				
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}	■				
	O_3	■				
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2	■				
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 8.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Desde el inicio de operaciones de esta red, las autoridades ambientales de Guanajuato han trabajado para generar información sobre la calidad del aire a través de una red de monitoreo eficaz y de una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas. Las actividades realizadas para mejorar el desempeño incluyen la calibración y categorización de sus estaciones de monitoreo y la capacitación continua del personal técnico/operativo. Asimismo, a partir de 2010 las redes de monitoreo de Guanajuato participan en el programa de revisiones técnicas de desempeño que realiza el INE. Cabe destacar que la operación y la supervisión de las estaciones de monitoreo, así como la difusión de datos de esta red están certificadas bajo el sistema ISO-9001:2008 (INE-DGCENICA, 2011).

8.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de León

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo de 2006 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en León se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. Las tres estaciones de monitoreo se encuentran cerca (de 1 a 2 km) de zonas con alta densidad poblacional. La figura 8.3 muestra las tres estaciones de monitoreo e indica en cuáles se presentó algún problema con la calidad del aire durante el año 2009, así como el o los contaminantes involucrados.

Como complemento, el cuadro 8.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 8.2 Diagnóstico de la calidad del aire en León. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para León	
PM_{10}	24 horas	-	CICEG	No se cumplió	55
	Anual		CICEG	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	CICEG, FM y T21	No se cumplió	23
	Anual	-	FM y T21	No se cumplió	
CO	8 horas	CICEG	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
a La evaluación del cumplimiento de León se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.

Si bien destaca el hecho de que en 2009 las normas de la calidad del aire tanto para el SO_2 como para el NO_2 y el CO se cumplen en todas las estaciones de monitoreo, es claro que las PM_{10} y el O_3 requieren atención, pues exceden los valores de referencia incluidos en las normas de la calidad del aire tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de ciudad, en al menos uno de los años analizados.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

8.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de León

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados por cada contaminante. Para el cálculo de los indicadores se utilizó la información proveniente de las tres estaciones automáticas de la red: CICEG y T21 en el periodo 2007-2009 y FM en 2008 y 2009, excepto para el CO, que se reporta desde 2007. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

   Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

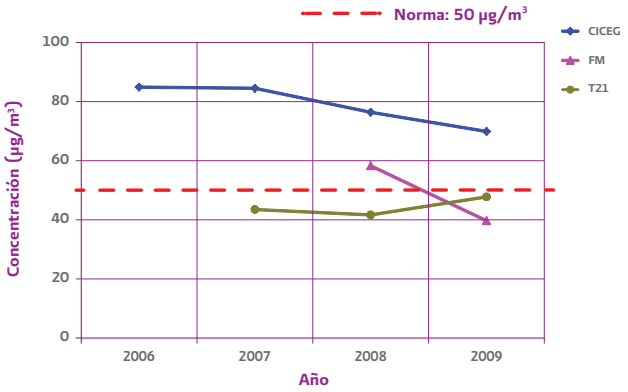
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2006-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

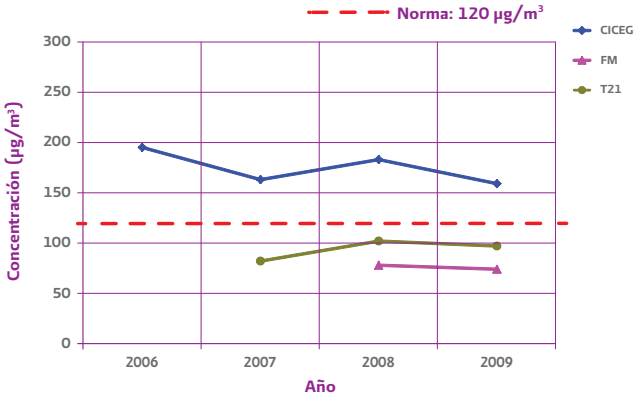
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

Esta norma solo se ha cumplido consistentemente en la estación IMSS-T21 (T21), mientras que en FM[1] solo se cumplió en 2009, y en CICEG[2] no se cumplió en ninguno de los años. En esta última estación se presentan las concentraciones promedio anuales de PM_{10} más elevadas.



Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

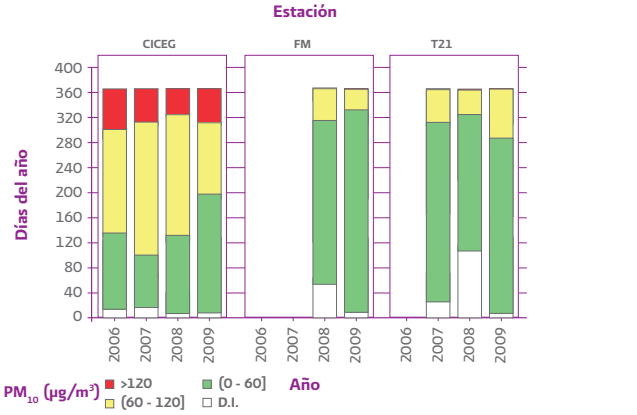
Esta norma se ha cumplido en FM[1] y IMSS-T21 (T21) en todos los años con información disponible. En cambio, en CICEG[2] no se ha logrado cumplir con la norma en ningún año del período analizado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

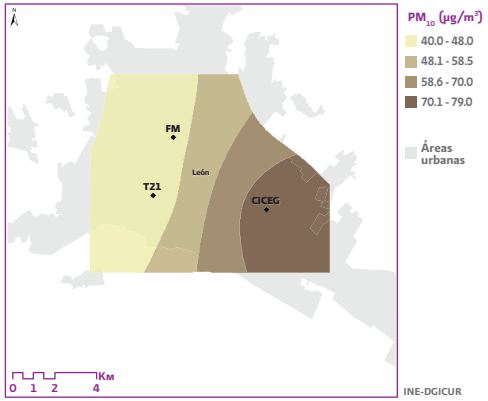
CICEG[2] es la estación de monitoreo con la mayor cantidad de días con concentraciones superiores al valor de la norma (en rojo) durante todo el periodo de análisis. Sin embargo, en el último año se observa una ligera disminución de la cantidad de días en amarillo, lo que sugiere una leve mejora.

Desde 2008 se cuenta con suficiente información como para saber que en FM[1] y T21 la mayor parte del año los días son de color verde, lo que significa una buena calidad del aire en estos sitios.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de 24 h)

En consistencia con las figuras anteriores, las concentraciones promedio más elevadas se ubican en las inmediaciones de la estación CICEG[2], al sureste de la ciudad de León, y muestran una marcada atenuación hacia el oeste. Probablemente este comportamiento sea resultado de la resuspensión de material particulado generado en las áreas de cultivo que se encuentran al sur y el sureste de la ciudad (INE-DGCENICA, 2008). Sin embargo, es necesario estudiar la composición de las partículas para determinar con mayor certeza su origen.

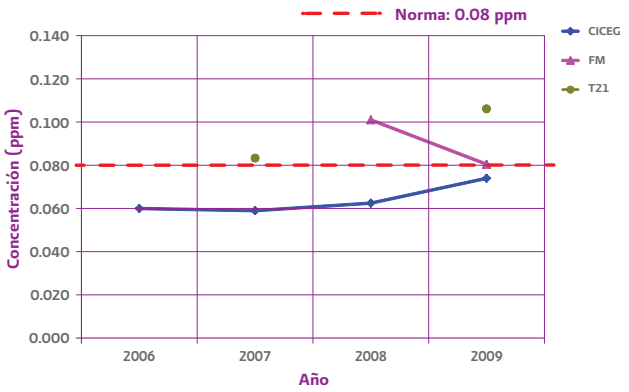


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

Indicadores del O_3

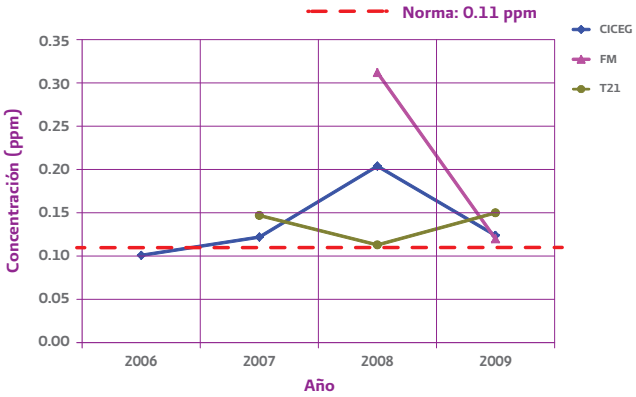
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Se observa que la norma se ha cumplido consistentemente en la estación CICEG[2], aunque se aprecia una ligera tendencia creciente de las concentraciones entre 2007 y 2009. Por otra parte, durante el periodo de estudio se aprecia que en las estaciones IMSS-T21 (T21) y FM[1], en los años en los que fue posible estimar el valor del indicador, éste estuvo por arriba del valor normado.



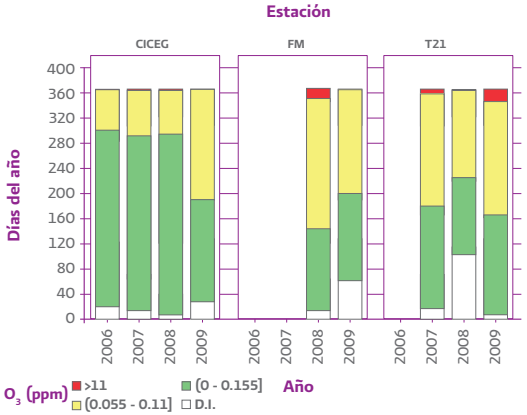
Límite horario (máximo horario)

Esta norma de la calidad del aire no se ha cumplido desde 2007. Durante 2008 se observan valores dos y tres veces mayores al del valor normado en CICEG[2] y FM[1].



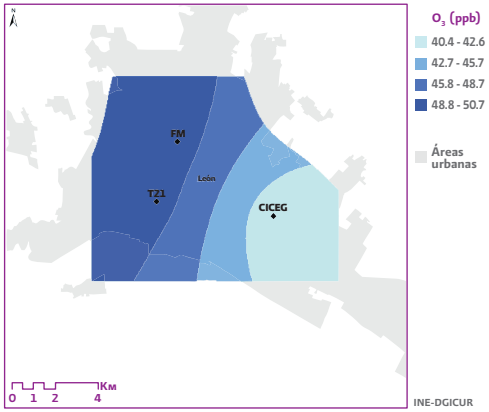
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Para este contaminante las estaciones FM [1] y T21 son las que muestran la mayor cantidad de días con concentraciones superiores al valor de la norma (en rojo).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

De manera inversa al caso de las partículas, las concentraciones promedio más altas se registran al oeste y al centro, en las cercanías de las estaciones T21 y FM[1], respectivamente, con una clara disminución hacia el sur y hacia el este, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en los alrededores de la estación CICEG[2].

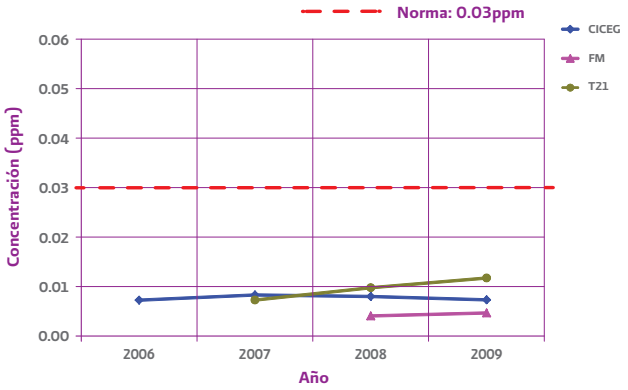


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

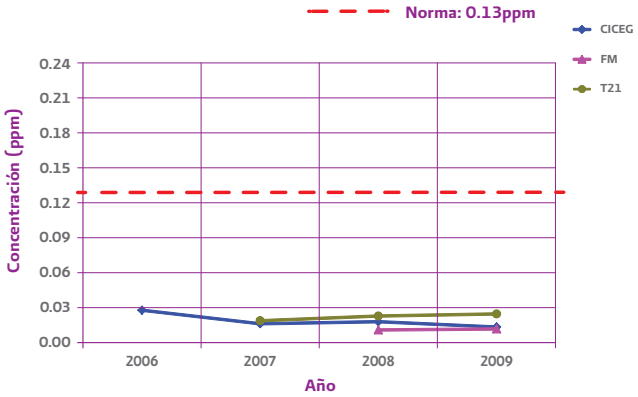
Indicadores del SO_2

Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

Las dos normas vigentes para el bióxido de azufre se cumplen en todas las estaciones de monitoreo, en todo el periodo analizado. En ambos casos las concentraciones registradas hasta ahora se ubican por debajo del 50% del valor de la norma.

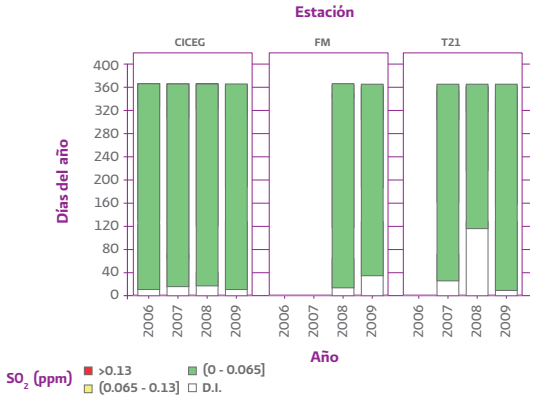


Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)



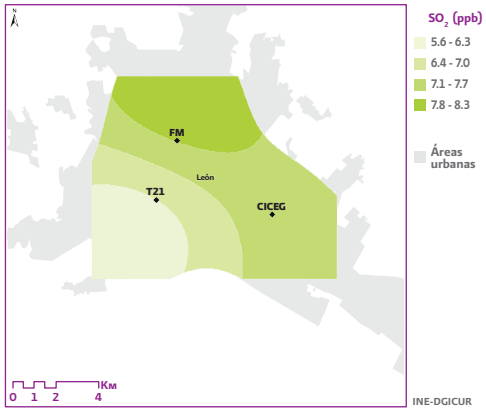
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

La mayor parte de los días de cada año, en todas las estaciones de monitoreo, muestran concentraciones que se ubican en color verde, lo que indica que este contaminante no representa, por el momento, un problema para la calidad del aire en la ciudad. Por otra parte, en la estación IMSS-T21 (T21) destaca la insuficiencia de datos para estimar el indicador en 2008.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

En este caso las concentraciones más elevadas se registran en la zona centro, en los alrededores de la estación Fac. Med.[1] (FM), y disminuyen a medida que se avanza hacia el sur y hacia el oeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación IMSS-T21 (T21).

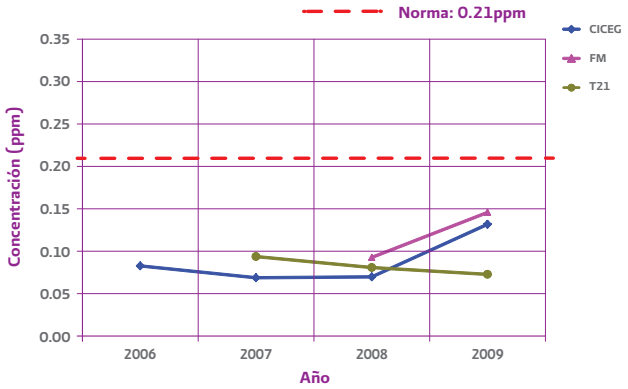


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

Indicadores del NO_2

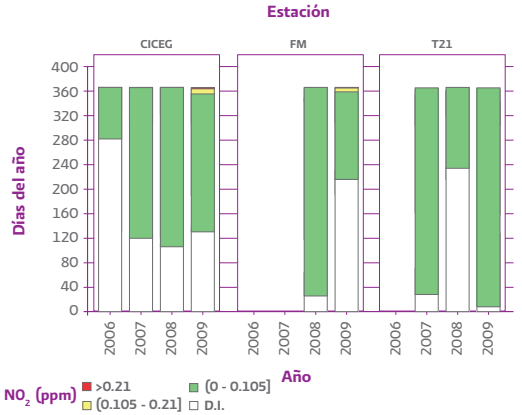
Límite horario (segundo máximo horario)

Esta norma se cumple en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado. Sin embargo, en las estaciones CICEG y FM se aprecia un incremento en las concentraciones, pero aún lejos de alcanzar el valor de la norma.



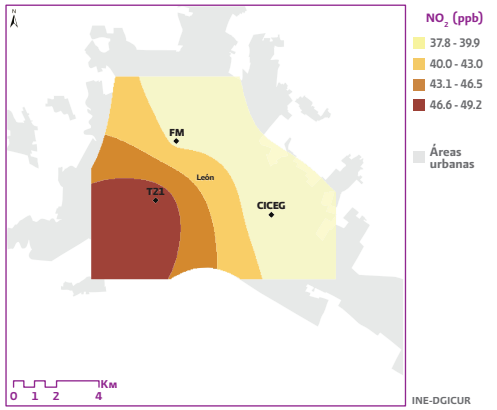
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Se observa una gran cantidad de días con información insuficiente, lo que impide hacer un análisis certero de la calidad del aire con respecto a este contaminante. La estación IMSS-T21 (T21) es la única que cuenta con información para casi todo el año 2009, y muestra concentraciones que se ubican en color verde, lo que indica que este contaminante no es, por el momento, un problema para la calidad del aire en esta estación.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

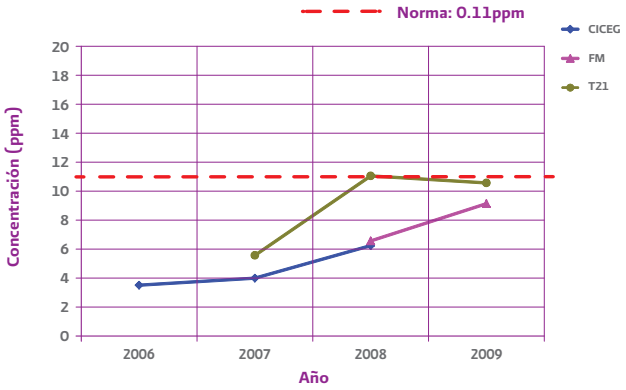
El contaminante presenta un patrón de distribución espacial en el cual las concentraciones promedio más elevadas suelen ocurrir al suroeste de la ciudad, en los alrededores de la estación IMSS-T21 (T21), con una marcada atenuación hacia el oeste y el norte. Probablemente este comportamiento sea resultado de la actividad vehicular, ya que el NO_2 muestra una gran asociación con esta fuente de emisión, y la estación T21 se localiza sobre la avenida Venustiano Carranza (INE-DGCENICA, 2008).



Indicadores del CO

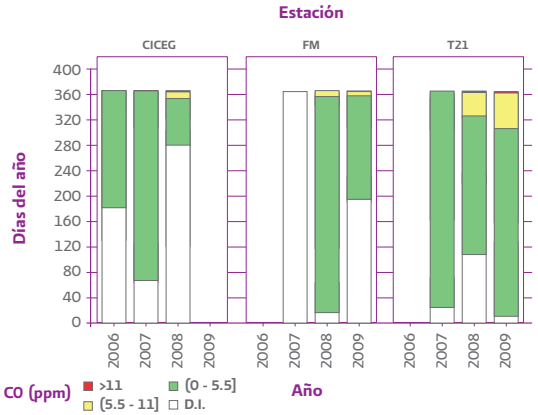
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Aunque existen irregularidades en los datos disponibles sobre este contaminante, es posible observar una tendencia creciente en las concentraciones de CO en todas las estaciones de monitoreo, lo que ocasionó el incumplimiento de la norma en la estación T21 en 2008. En 2009, aunque no se rebasa el valor de la norma, en esta misma estación el indicador calculado es un valor muy cercano al de la norma, lo que revela la necesidad de darle seguimiento a este contaminante.



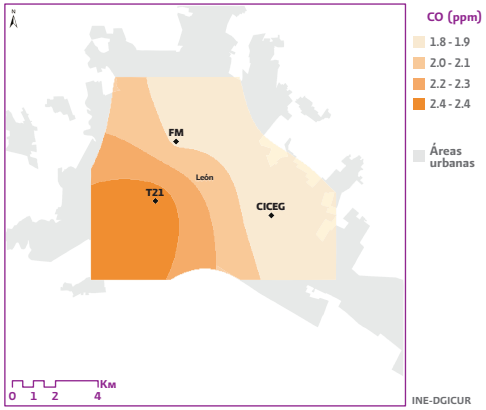
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En las tres estaciones de monitoreo se observa una gran cantidad de días con información insuficiente para generar el indicador e, inclusive, la falta de mediciones en 2009 en CICEG, por lo que es difícil determinar si hay un problema con la calidad del aire cercano a estas estaciones. Sin embargo, de los días en los que sí se pudo evaluar el cumplimiento de la norma, solo se han presentado concentraciones superiores al valor de la norma en un par de días durante 2008 en la estación T21. En esta misma estación se registra la mayor cantidad de días en color amarillo, especialmente creciente en 2008 y 2009.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones promedio más elevadas suelen ocurrir al suroeste de la ciudad, en los alrededores de la estación T21, con una marcada atenuación hacia el oeste y el norte. Probablemente este comportamiento sea resultado de la actividad vehicular, ya que el CO muestra una gran asociación con esta fuente de emisión, y la estación T21 se localiza muy cerca de la avenida Venustiano Carranza (INE-DGCENICA, 2008).



1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

9.

Zona Metropolitana de Juárez, Chih.

9.1 Información general

Superficie	3561 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Índice de motorización**	336 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1140 msnm (GECH,2006)		
Población en 2010	1.3 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	Manufactura (principalmente maquila), comercio y servicios (GECH, 2006)
Flota vehicular en 2009	447 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La Zona Metropolitana de Juárez (ZM-Juárez) cuenta con un inventario de emisiones del año 2002 (figura 9.1), en el que destaca que la fuente más importante de emisiones de COT, NOx y CO son los vehículos, en tanto que las fuentes biogénicas y erosivas son el origen más significativo de partículas, tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$. Por otra parte, destaca que las fuentes fijas, además de ser la fuente principal de SO_2, tienen una contribución importante a las emisiones de NOx, $PM_{2.5}$ y COT (GECH, 2006).

Figura 9.1 Inventario de emisiones de la ZM de Juárez (2002)

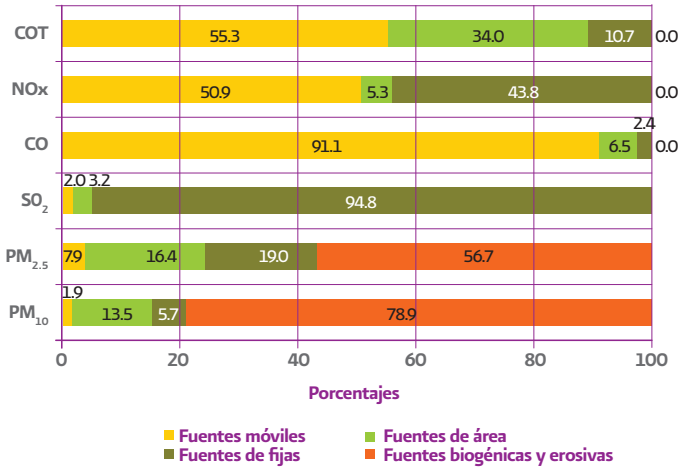
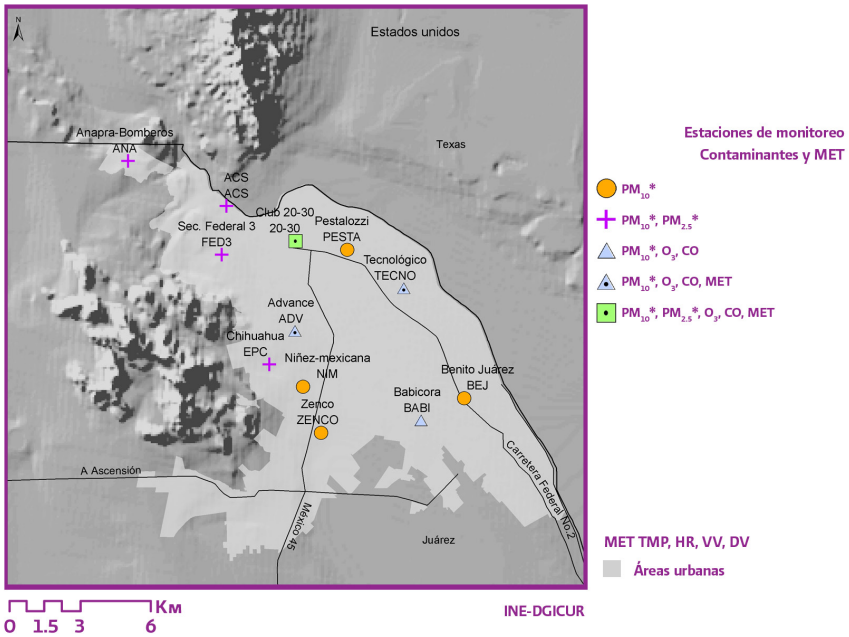


Figura 9.2 Estaciones de la RMA-Juárez analizadas en el periodo 2000-2009



*Equipo manual

El monitoreo de contaminantes atmosféricos de la ZM-Juárez comenzó en 1990. Sin embargo, los registros históricos de los muestreos manuales de PM_{10} comenzaron a partir de 1993 apoyados por el Programa Ambiental Fronterizo y la antes TNRCC (Texas Natural Resources Conservation Commission), actualmente denominada TCEQ (Texas Comission for Environmental Quality). En el año 1996 inició operaciones la red automática (INE, 2010). La página web disponible en http://www.tceq.state.tx.us/cgi-bin/compliance/monops/site_info.pl contiene información sobre la red de monitoreo automática actual. La red de monitoreo atmosférico de la ZM de Juárez (RMA-Juárez) se incorporó al sinaica en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RMA-Juárez tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis (2000 a 2009) son 12, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 9.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

En las estaciones de la RMA-Juárez, las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se miden únicamente con equipo manual, y el resto de los contaminantes (O_3 y CO) con equipo automático. Es oportuno mencionar que los indicadores de las $PM_{2.5}$ no se incluyeron en este documento porque al momento de elaborarlo los responsables de la red no habían reportado al INE la información validada de este contaminante.

Las estaciones de monitoreo Advance (ADV), Tecnológico (TECNO), Pestalozzi (PESTA), Club 20-30 (20-30) y ZENCO iniciaron operaciones en 1993; las estaciones de monitoreo Niñez-Mexicana (NIM), Sec. Federal 3 (FED3) y Anapra-Bomberos (ANA-B) empezaron a medir PM_{10} en 2007, Babicora (BABI) y ACS en 2008, y Estación de Policía Chihuahua (EPC) y Benito

Juárez (BEJ) en 2009. En NIM los muestreos manuales se realizan cada 3 días, a diferencia del resto de las estaciones, donde se realizan cada 6 días.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 9.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Ciudad Juárez.

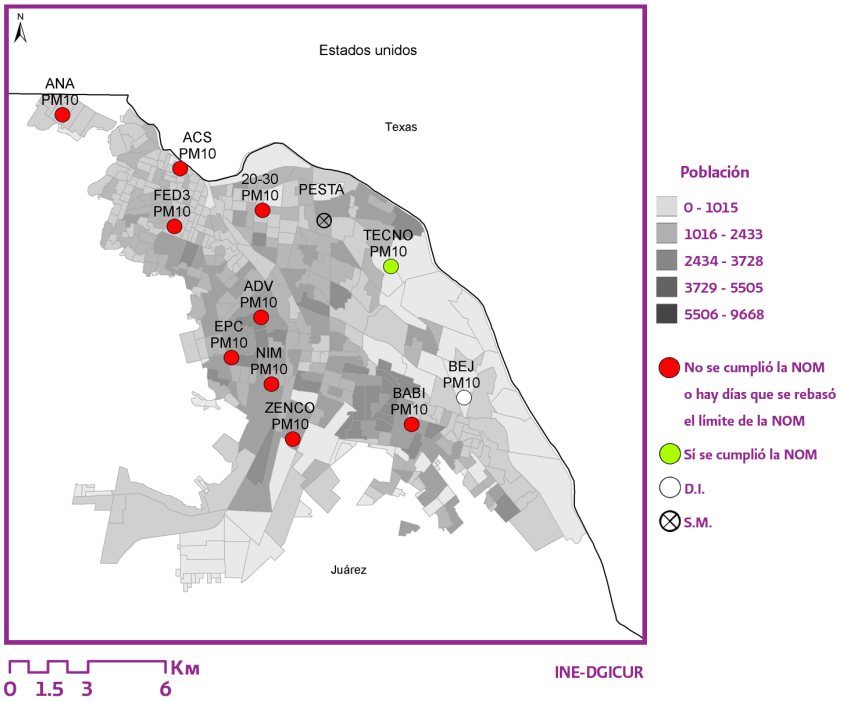
De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general muy bueno; sin embargo, es necesario identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperación de datos validados, principalmente para el O_3 y el CO. La atención de este problema es fundamental para incrementar la cantidad de información disponible, y con ello dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 9.1 Desempeño de la RMA-Juárez (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Muy bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]	■				
	O_3	■				
	CO	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10} [a]		■			
	O_3			■		
	CO			■		
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual.
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 9.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



9.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZM de Juárez

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la RMA-Juárez sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZM de Juárez se relacionan con altas concentraciones de PM_{10}. La figura 9.3 muestra los contaminantes que representan el principal problema en cada una de las estaciones para el año más reciente (2009) con información disponible. De la figura también se observa que en la región sur poniente hay una alta densidad de población, en donde también están ubicadas las estaciones Advance (ADV), Chihuahua (EPC) y Niñez-Mexicana (NIM), que tienen problemas con la calidad del aire a causa de las PM_{10}.

Como complemento, el cuadro 9.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con el criterio de información, no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma.

Es el caso de las PM_{10} se utilizó para el análisis la información disponible proveniente de equipos manuales, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Cuadro 9.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZM de Juárez. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZM-Juárez	
PM_{10}	24 horas	BEJ, EPC y Zenco	ACS, Advance, ANA, BABI, FED3 y NIM	No se cumplió	54[b]
	Anual		Advance, ANA, BABI y NIM	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	0
	Anual	Advance y 20-30	-	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento para la ZM de Juárez por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año; en total, 112 muestreos máximos en 2009.

En el año más reciente (2009), las PM_{10} representaron un problema para la calidad del aire en la ZM de Juárez. En el caso del O_3 llama la atención que tampoco fue posible evaluar el cumplimiento de la norma anual en Advance y Club 20-30, ni tampoco en la zona metropolitana, debido a la insuficiencia de datos para estimar el indicador. Por lo anterior es importante que se incremente el porcentaje de datos validados recuperados, pues si bien en el periodo estudiado este parámetro obtuvo un calificativo de bueno para PM_{10} y requiere atención para O_3, en 2009 estos porcentajes no fueron suficientes en algunas estaciones para realizar la evaluación de las normas respectivas; por lo tanto, es importante atender de inmediato esta situación. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

9.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZM de Juárez

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009.Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

Cabe recordar que en la estación Niñez-Mexicana (NIM) se realizan los muestreos de PM_{10} cada 3 días, a diferencia del resto de las estaciones, en donde se realizan cada 6 días; por ello, en NIM existe un mayor número de días con información que para las demás.

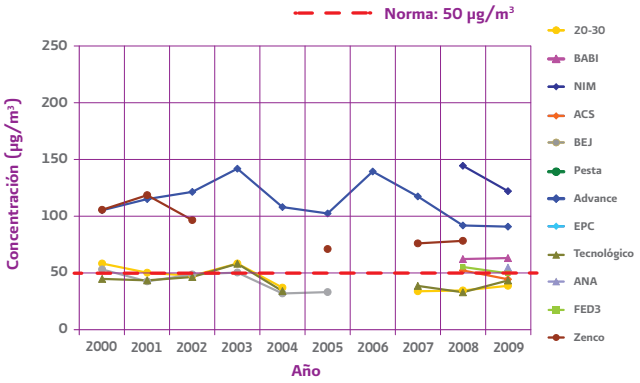
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

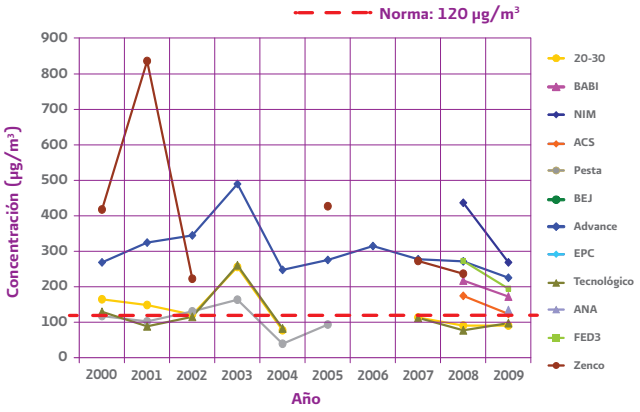
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

Se aprecia que Advance (ADV) es la estación que registra las concentraciones más altas, al grado de alcanzar registros equivalentes al doble, y en algunos casos al triple, del valor normado. En los años más recientes solo las estaciones Club 20-30 (20-30) y Tecnológico (TECNO) han registrado, de manera consecutiva en los últimos tres años, valores inferiores al normado.



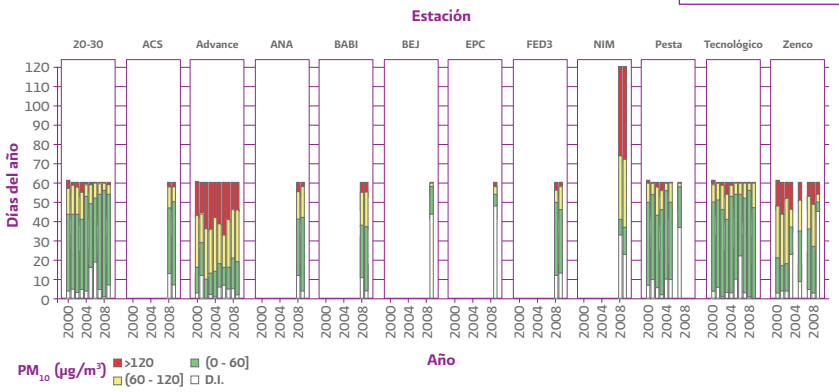
Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

Se puede observar que en la mayoría de las estaciones que cuentan con mediciones, la norma es rebasada de manera consistente. Esto es particularmente notorio en la estación Advance (ADV), donde el valor de la norma ha sido rebasado en todos los años, y en donde además se registran los valores más altos de toda la ciudad (equivalentes al menos a dos veces el valor de la norma). Así mismo en Zenco, es notable el pico de aproximadamente siete veces el valor de la norma en 2001. Las únicas estaciones de monitoreo donde se ha logrado cumplir esta norma, pero de manera esporádica, son Club 20-30 (20-30) y Tecnológico.



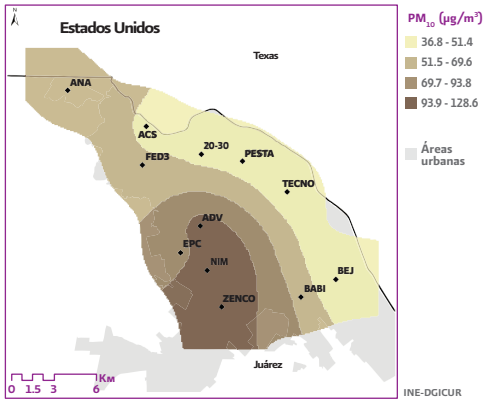
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Destaca que las estaciones que con más frecuencia registran concentraciones superiores al valor de la norma son Advance (ADV), Niñez-Mexicana (NIM) y ZENCO. En el resto de las estaciones se registra un gran número de muestreos con concentraciones en color amarillo, lo que sugiere la posibilidad de que en el futuro cercano también en estas estaciones de monitoreo se rebase el valor normado con una mayor frecuencia.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

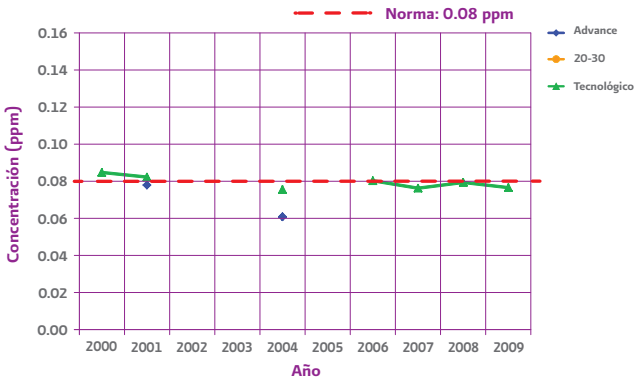
Las concentraciones más elevadas de PM_{10} se presentan al sur de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones ZENCO, Niñez-Mexicana (NIM) y Advance (ADV), que son cercanas a una zona industrial y una colonia ladrillera. Las concentraciones se atenúan hacia el norte y el este, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en la zona este de Juárez, incluyendo las estaciones Club 20-30 (20-30), Pestalozzi (PESTA), Tecnológico (TECNO) y Benito Juárez (BEJ).



Indicadores del O_3

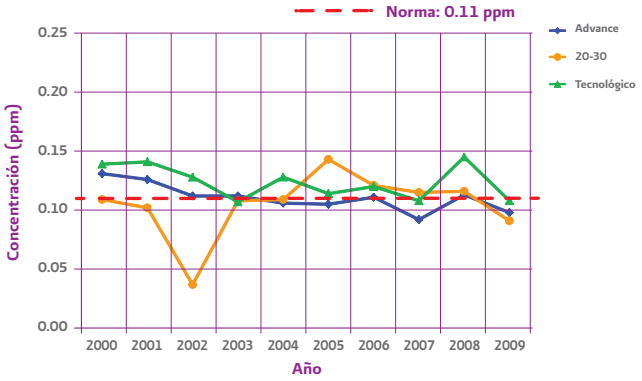
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Solo fue posible estimar este indicador en la estación Tecnológico (TECNO) en algunos años del periodo de análisis, y en un par de años en la estación Advance (ADV). Los valores obtenidos son muy cercanos al valor de la norma, y varían muy poco, por lo cual es difícil determinar una tendencia a partir de esta información.



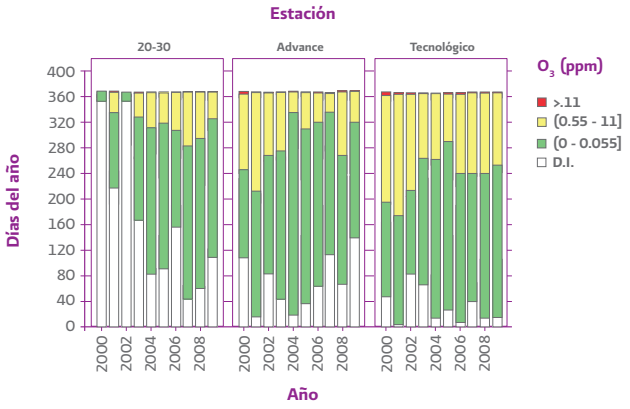
Límite horario (máximo horario)

Solo en 2009 se ha logrado, de manera simultánea, dar cumplimiento a la norma horaria del ozono en cada una de las estaciones de monitoreo. Tecnológico (TECNO) es la estación en donde con mayor frecuencia se rebasa el valor de la norma y se registran las concentraciones más altas, mientras que en Advance (ADV) las concentraciones tienden a ser cada vez más cercanas al valor de la norma, y en algunos años incluso se han ubicado por debajo de ella. A partir de estos valores no se observa una tendencia definida.



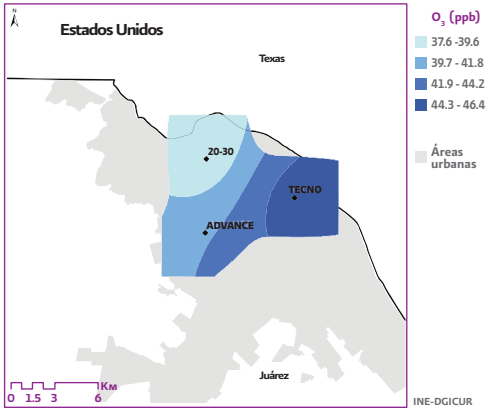
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximo diarios)

Es notoria la mejoría de la información disponible en todas las estaciones, aunque Advance y 20-30 todavía registraron en 2009 entre el 25% y el 30% de los días con información insuficiente. En el año 2000 se registró el mayor número de días con concentraciones de ozono superiores a la norma (6 en Advance y 7 en Tecnológico). Por el contrario, en 2009 no se rebasó la norma un solo día. En todas las estaciones de monitoreo y en todos los años se presenta una fracción importante de días con concentraciones que indican precaución (amarillo), pues es probable que el número de días con concentraciones superiores al valor normado se incremente en el futuro.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos de los promedios móviles de 8h)

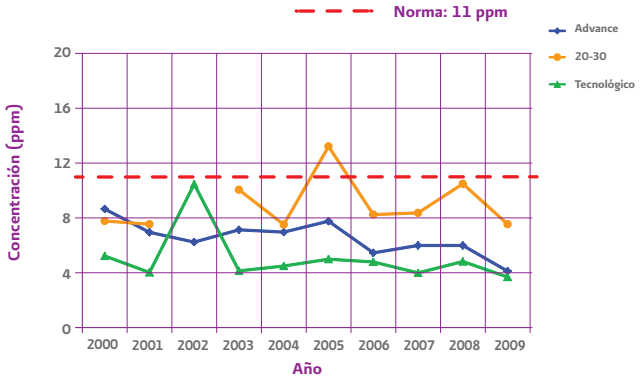
Se observa que las concentraciones más altas se registran al este de la ciudad, en torno a la estación Tecnológico (TECNO), y disminuyen hacia el oeste y el norte, hasta alcanzar los niveles más bajos en las inmediaciones de las estación Club 20-30 (20-30).



Indicadores del CO

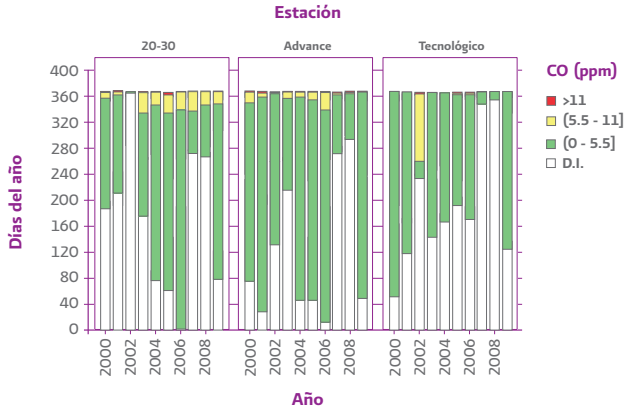
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire solo ha sido rebasada en el año 2005. La estación de monitoreo que presentó este registro superior a la norma fue Club 20-30 (20-30). De 2006 a 2009 el segundo máximo del promedio móvil de 8 horas se ha mantenido por debajo del valor de la norma, y alcanzó los registros más bajos, en todas las estaciones de monitoreo, en 2009. No se observa una tendencia clara en las concentraciones de este contaminante.



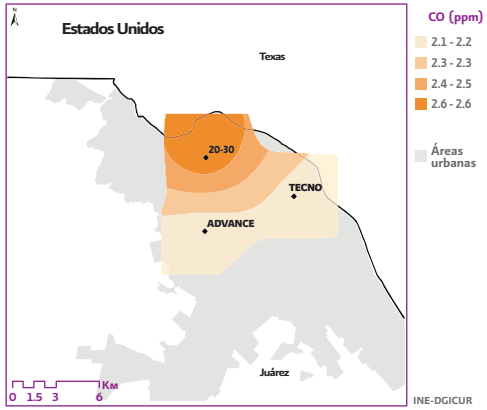
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Existe una gran cantidad de días en los que no se cuenta con información suficiente, sobre todo en los últimos años. Si bien en Advance (ADV) y Tecnológico (TECNO) no se ha registrado un solo día con concentraciones superiores a la norma, la escasez de datos impide realizar un diagnóstico adecuado de la situación actual y de la tendencia en el comportamiento de este contaminante.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos de los promedios móviles de 8h)

Las concentraciones de CO más elevadas se registran al norte, alrededor de la estación Club 20-30 (20-30), y disminuyen gradualmente hacia el sur. Quizá esto sea resultado de que la estación 20-30 se ubica cerca de una de las intersecciones viales de mayor actividad en la ciudad, la conformada por la Avenida Américas y 16 de Septiembre.



10.

San Luis Potosí, SLP.

10.1 Información general

Superficie	1471 km^2 (INEGI, 2010b)	**Índice de motorización**	491 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1860 msnm (INEGI, 2002)		
Población en 2010	773 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria manufacturera (metal básica), los servicios comunales, sociales y personales, y el comercio (INEGI, 2002)
Flota vehicular en 2009	379 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La ciudad de San Luis Potosí cuenta con un inventario de emisiones del año 2005. Como ocurre en otras ciudades, destaca que las emisiones más significativas de COV, NOx y CO provienen de las fuentes móviles, en tanto que las emisiones más importantes de SOx y PM_{10} son generadas por las fuentes de área (SEMARNAT, 2010).

Figura 10.1 Inventario de emisiones de la ciudad de San Luis Potosí (2005)

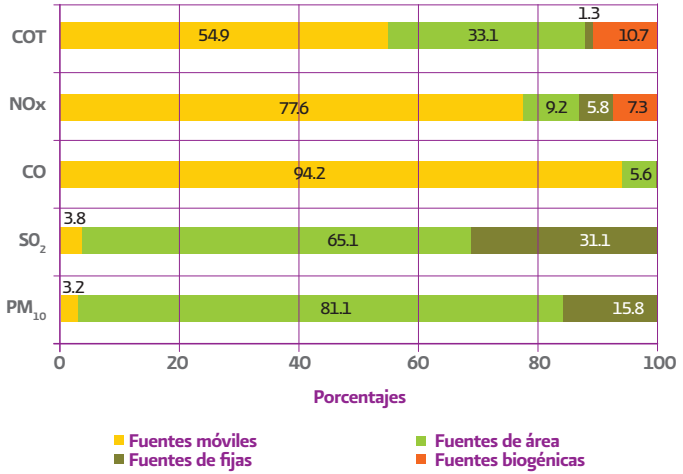
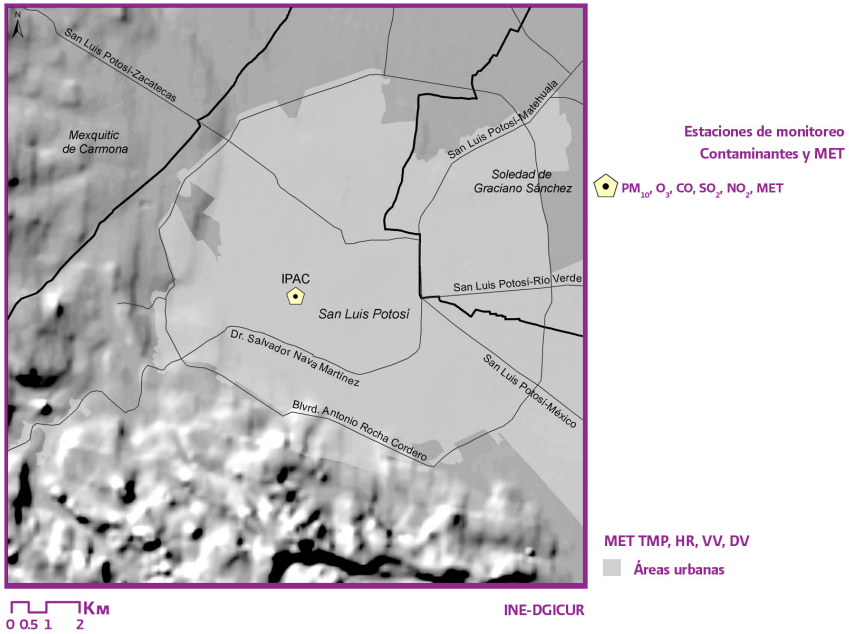


Figura 10.2 Estación de monitoreo atmosférico de SLP analizada en el periodo 2006-2009



* La medición de las PM_{10} se inició a partir de 2009, por lo que no se reporta este contaminante.

En cuanto al monitoreo, es importante decir que la red de monitoreo atmosférico de San Luis Potosí, SLP, cuenta con tres estaciones (IPAC, DIF y UMO). Sin embargo, en este documento solo se analiza la información registrada por la estación automática IPAC, debido a que es la única que cuenta con al menos tres años consecutivos de mediciones. Dicha estación inició operaciones en 2006, cuando se incorporó al SINAICA, y transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real. La página electrónica http://sinaica.ine.gob.mx/rama_slp.html contiene información detallada sobre cada una de las estaciones de monitoreo.

En la figura 10.2 se muestra el mapa con la ubicación de la estación de monitoreo IPAC de San Luis Potosí, con la que se realizó el diagnóstico de la calidad del aire de 2006 a 2009. En el mapa también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en dicha estación, así como los límites municipales y las principales carreteras. Es oportuno mencionar que el análisis de las PM_{10} no se presenta en este apartado, dado que las mediciones de este contaminante se iniciaron en 2009.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 10.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la estación de monitoreo atmosférico IPAC de la ciudad de San Luis Potosí.

De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo de San Luis Potosí nunca ha sido sometida a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en

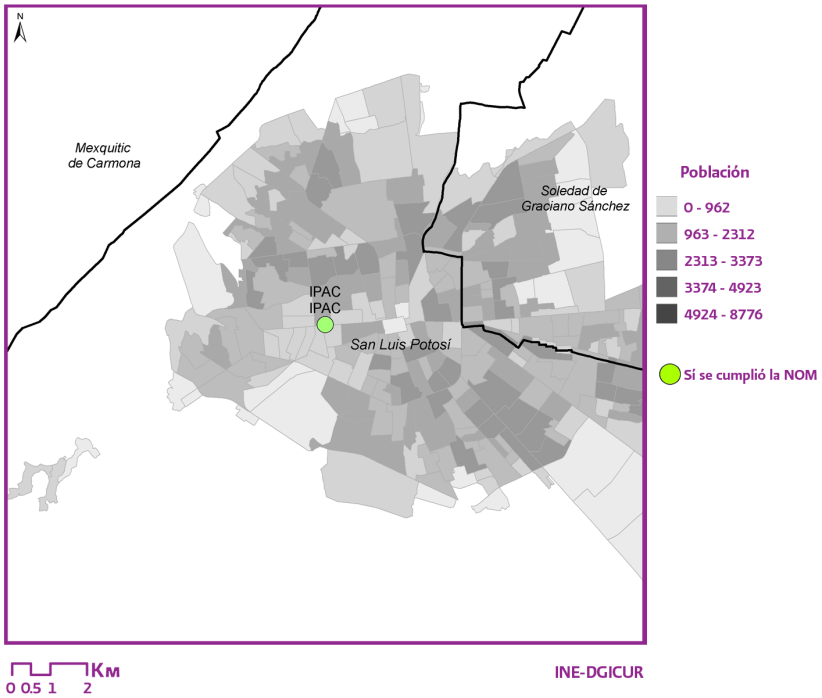
este almanaque para su evaluación, pues se ignora si los equipos de medición que componen la red y en particular la estación de monitoreo IPAC están operando de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente", que se incluye en el cuadro 10.1, no podría ser considerada en la evaluación del desempeño de la red al no existir una auditoría; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar y llevar a cabo auditorías a la red de monitoreo, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de esta red. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que aún se puede mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, así como la oportunidad y los procedimientos empleados para hacer la validación de los datos, lo mismo que su difusión.

Cuadro 10.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de SLP (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					■	Requiere atención
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente	O_3				■	
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración					■	
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	O_3		■			
	CO		■			
	NO_2		■			
	SO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos			■			
Difusión de la información				■		

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 10.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



10.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la estación automática de monitoreo IPAC en el periodo 2006-2009, se cumple con las normas correspondientes a los cuatro contaminantes analizados (O_3, CO, NO_2 y SO_2). La figura 10.3 muestra la ubicación de la estación de monitoreo y la situación de la calidad del aire durante el año 2009.

El detalle de esta información se muestra en el cuadro 10.2, que contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire del año más reciente con información disponible (2009), así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma de una hora para el O_3 y el NO_2, 24 horas para el SO_2, y 8 horas para el CO. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Sin duda destaca el hecho de que todas las normas de la calidad del aire para todos los contaminantes medidos se cumplen durante 2009. Incluso, no se registraron días con concentraciones superiores a las especificadas en las diferentes normas.

Cuadro 10.2 Diagnóstico de la calidad del aire en SLP. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Cumplimiento de la NOM	Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
O_3	1 hora	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	
CO	8 horas	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí a lo largo del periodo de análisis.

10.3 Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2009, de la estación IPAC. Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año, por estación de monitoreo y de manera agregada para la zona metropolitana.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

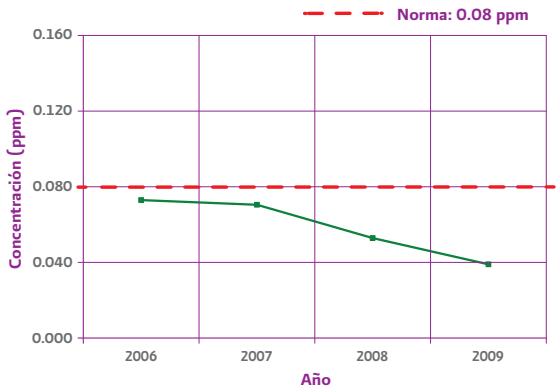
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar/obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Nota importante: no se presentan los mapas correspondientes de distribución espacial porque se requiere de al menos tres estaciones para la interpolación, y solamente se contó con información de la estación automática de monitoreo IPAC.

Indicadores del O_3

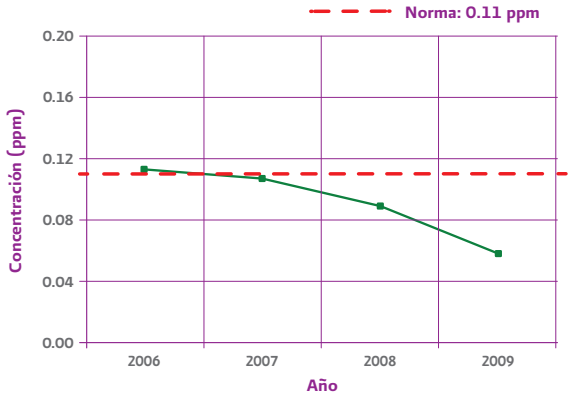
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

En la figura se aprecia con claridad que la norma anual del ozono se ha cumplido en todo el periodo de análisis, y que a partir de 2007 se ha experimentado una notable tendencia decreciente en las concentraciones, hasta alcanzar en 2009 una concentración máxima equivalente a la mitad del valor normado.



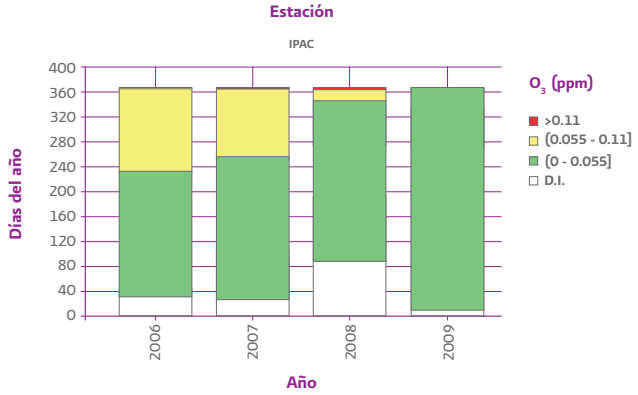
Límite horario (máximo horario)

Se observa que a partir de 2006, año en el que se registró una concentración horaria de ozono superior a la norma, hay una notable tendencia decreciente que ha llevado al cumplimiento de la norma en los últimos tres años. Incluso en 2009 esto se logró con una concentración máxima equivalente a casi la mitad del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

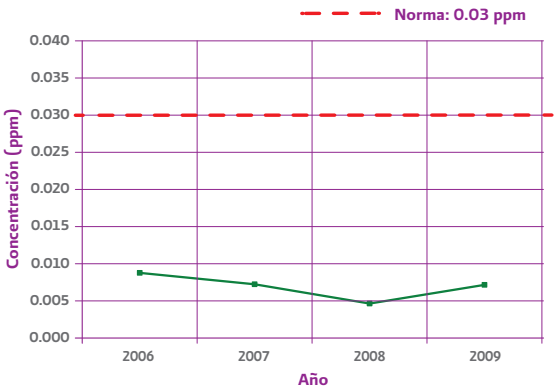
Esta figura muestra de manera contundente que en los alrededores de la estación de monitoreo IPAC predominan los días con una buena calidad del aire (en verde) en lo que respecta al ozono.



Indicadores del SO_2

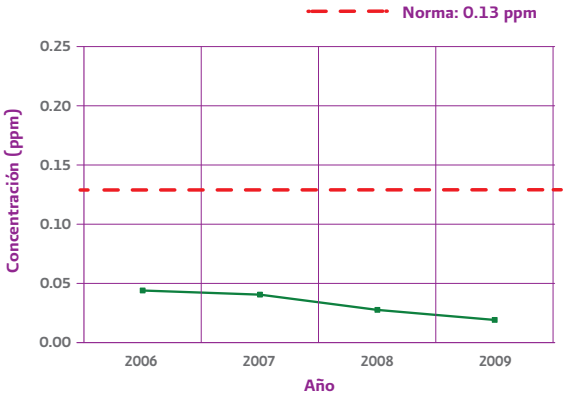
Límite anual (promedio anual)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican muy por debajo del límite normado.



Límite de 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todo el periodo analizado, incluso con concentraciones inferiores a la mitad del valor normado.



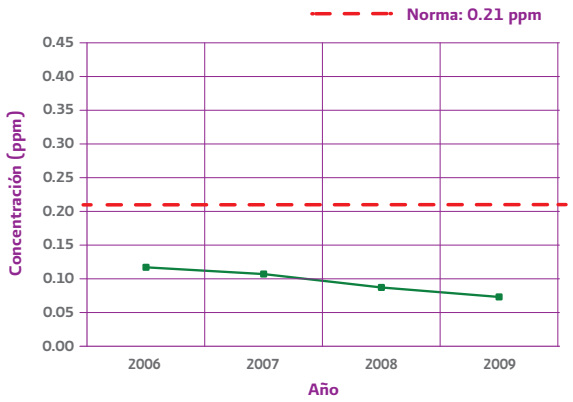
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Esta figura revela que dominan de manera clara los días con buena calidad del aire con respecto al SO_2, pues no hay color amarillo en las barras. Sin embargo, destaca cómo se ha incrementado a lo largo del tiempo la cantidad de días con datos insuficientes para estimar el indicador, hasta llegar a prácticamente el 90% en 2009.

Indicadores del NO_2

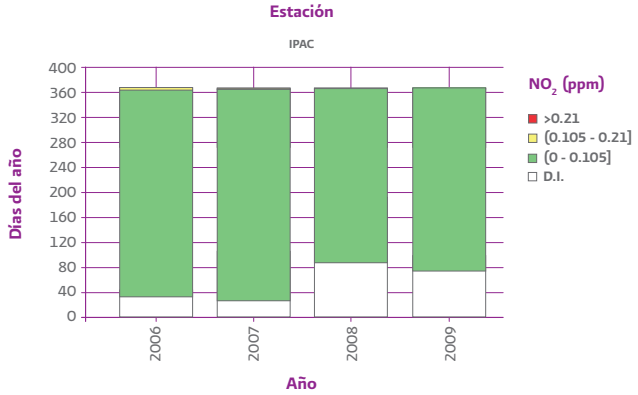
Límite horario (segundo máximo horario)

Al igual que con los contaminantes antes descritos, la norma horaria del NO_2 también se ha cumplido en todo el periodo analizado, y lo ha hecho con concentraciones notablemente inferiores al valor normado. Asimismo, destaca que a pesar de ello se presenta una tendencia decreciente en el tiempo.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

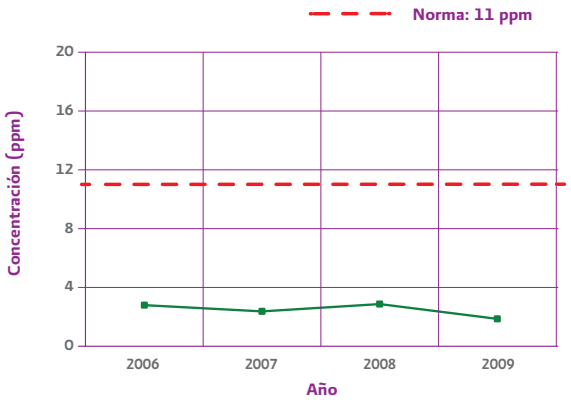
En congruencia con la figura anterior, en esta figura se puede apreciar que en San Luis Potosí se ha tenido una muy buena calidad del aire con respecto al NO_2 durante todo el periodo analizado (en verde). Destaca también, sin embargo, que en los últimos dos años se ha incrementado el número de días con información insuficiente para generar el indicador.



Indicadores del CO

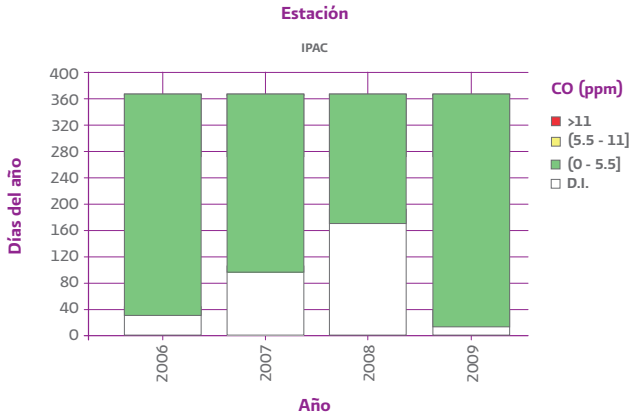
Límite de 8 horas (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire para el CO se cumplió durante todo el periodo analizado, y se hizo con concentraciones notablemente bajas. En todos los años se han registrado concentraciones inferiores a las 3 ppm, que equivalen a poco menos de un tercio del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En congruencia con la figura anterior, en esta figura se puede apreciar que en San Luis Potosí se ha tenido una muy buena calidad del aire con respecto al CO durante todo el periodo analizado (en verde). Sin embargo, durante la mitad de los días de 2008 no fue posible determinar la calidad del aire en la estación.



2.

Zona Metropolitana del Valle de México

2.1 Información general

Municipios y delegaciones	Hasta diciembre de 2005 estuvo conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal (DF) y 18 municipios del estado de México. Actualmente está conformada por 60 municipios (59 del estado de México y 1 de Hidalgo) y las 16 delegaciones del DF (ver anexo V) (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2008**	4.5 millones de vehículos (SMA-DF, 2010b)
		Índice de motorización	157 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	7854 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	La ZMVM se caracteriza por su desaceleración industrial y la consolidación de un sector para la prestación de servicios regionales y nacionales; es el centro financiero del país y sede de las principales empresas nacionales y extranjeras que operan en México (Mansilla, 2009)
Altitud	2240 msnm (SMA-DF, 2010b)		
Población en 2010	29 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2008, destaca que los vehículos automotores son la fuente más significativa de CO, NOx y $PM_{2.5}$, en tanto que las emisiones más importantes de COV, COT, PM_{10} y NH_3 provienen de las fuentes de área. Por otra parte, las fuentes fijas son la principal fuente generadora de SO_2 (figura 2.1) (SMA-DF, 2010b).

Figura 2.1 Inventario de emisiones de la ZMVM (2008)

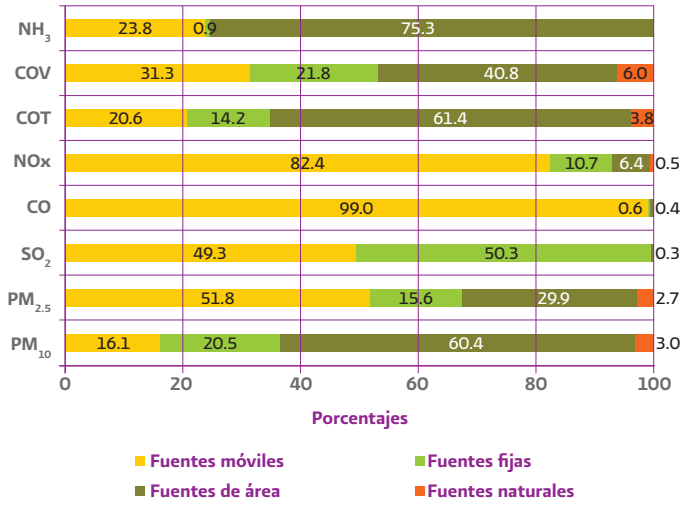


Figura 2.2a Estaciones de la RAMA de la ZMVM analizadas en el periodo 2000-2009

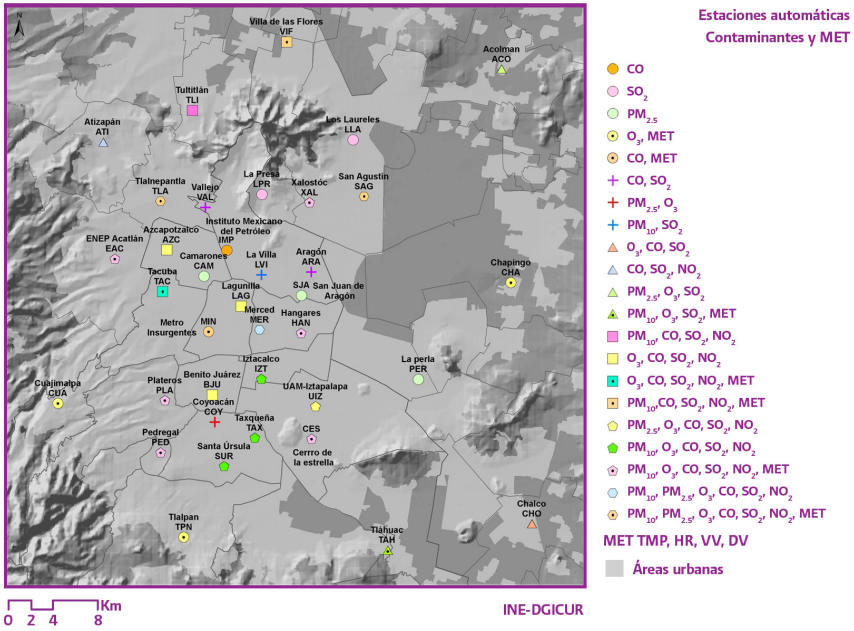
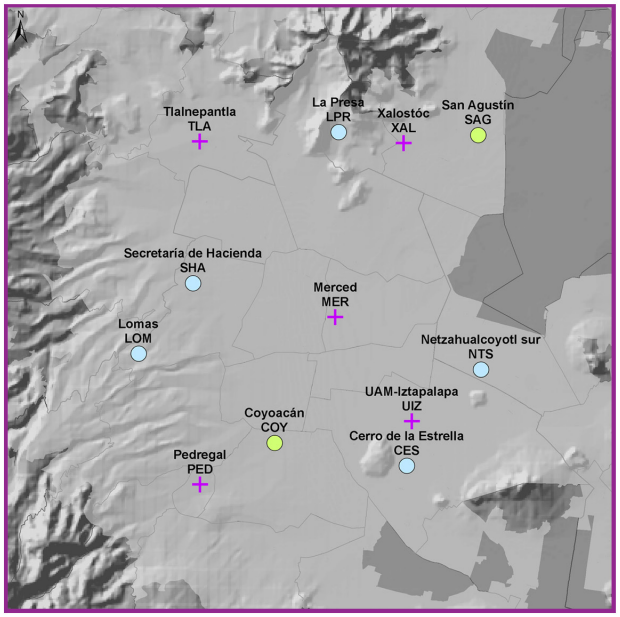


Figura 2.2b Estaciones de la REDMA de la ZMVM analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVM data de 1966, cuando la entonces Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia integró la primera red de monitoreo con equipos para medir SO_2 y partículas suspendidas en cuatro estaciones (SMA-GDF, 2011). La página http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php contiene información sobre la red de monitoreo actual. El sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México (SIMAT) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones del SIMAT tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son 37 estaciones de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) y 12 de la red manual de monitoreo atmosférico (REDMA). Estas estaciones se ubican de acuerdo con los mapas de las figuras 2.2a y 2.2b, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada una. Las estaciones que miden variables meteorológicas se distinguen con un punto en el símbolo correspondiente a la estación.

Las estaciones Benito Juárez (BJU), Hangares (HAN), Insurgentes (MIN) y Museo de la Ciudad de México (MCM) dejaron de medir en algún momento del periodo analizado; sin embargo, la información disponible antes de su salida de operación sí se incluye en el análisis de datos de este almanaque. Cabe mencionar que las $PM_{2.5}$ se empezaron a medir a partir de agosto de 2003.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 2.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) de la ZMVM. De acuerdo con la información disponible en 2009, se observa que la RAMA tiene un desempeño general muy bueno; las áreas de mejora son la frecuencia de las auditorías y el porcentaje de datos validados para contaminantes tales como PM_{10}, CO y SO_2. Sobre este último contaminante es importante decir que es indispensable mejorar el número de equipos de medición de SO_2 que aprueban la auditoría, a fin de hacer más confiable la información generada.

Cuadro 2.1 Desempeño de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) de la ZMVM

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Muy bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}	■				
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3	■				
	CO	■				
	NOx	■				
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}		■			
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3	■				
	CO		■			
	NO_2	■				
	SO_2		■			
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

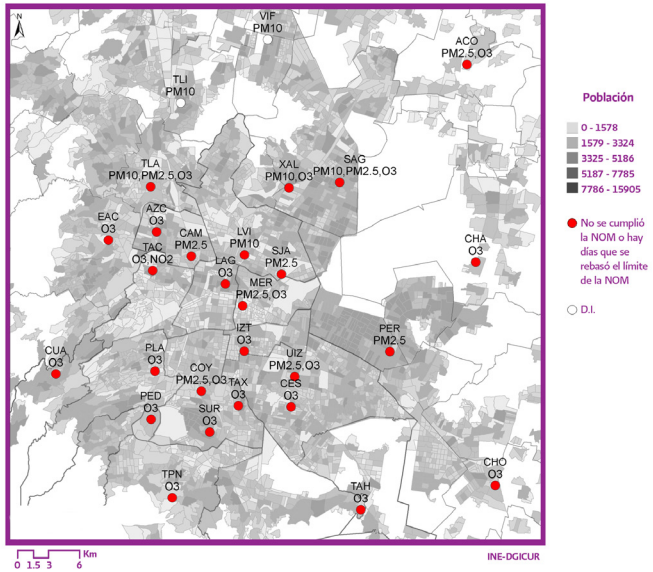
Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

2.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMVM

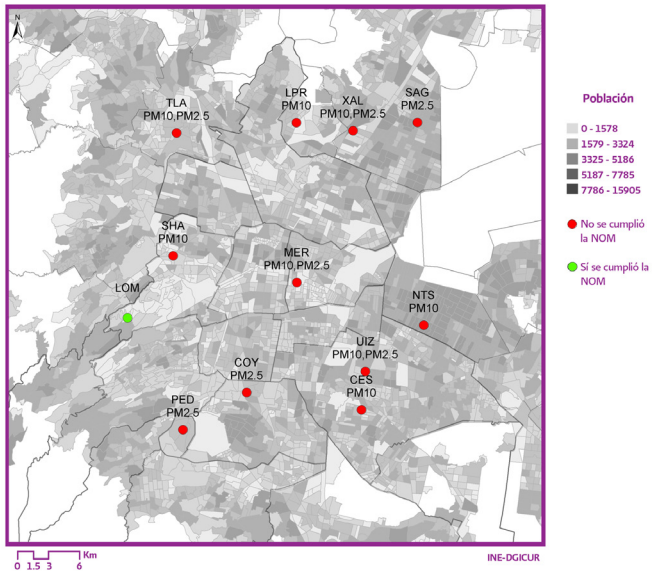
De acuerdo con el análisis de la información reportada por el SIMAT sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMVM se relacionan con altas concentraciones de O_3, PM_{10} y $PM_{2.5}$. Las figuras 2.3.a y 2.3.b muestran las estaciones de monitoreo de la RAMA y de la REDMA, respectivamente, que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. Considerando las estaciones de monitoreo que miden los contaminantes criterio en la ZMVM, el área de cobertura de éstas abarca entre el 42% y el 78% de la población, dependiendo del contaminante, véase el anexo VII.

Figura 2.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población en la ZMVM.

a) Estaciones automáticas



b) Estaciones manuales



Cuadro 2.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMVM. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMVM	
PM_{10}[b]	24 horas	-	LPR, XAL	No se cumplió	48
	Anual		SHA, TLA, LPR, NTS, XAL, MER, CES, UIZ	No se cumplió	
$PM_{2.5}$[b]	24 horas	-	-	Se cumplió	6[c]
	Anual		Todas	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	Todas	No se cumplió	179
	Anual	ACO, CHA, CUA, TPN, TAC y TAX	Todas las demás	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	1[d]
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:

a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.

b La evaluación del cumplimiento de la norma para las partículas se realizó con la información del monitoreo manual.

c A pesar de que en seis días se rebasó el límite de 65 µg/m³, la norma de 24 horas de las $PM_{2.5}$ se cumplió debido a que éstos caen en la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM, del 2% de mediciones en un año.

d A pesar de que se rebasó el límite de 0.21 ppm de 1 hora en un día, la norma del NO_2 se cumplió debido a que la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM es precisamente de un día.

Como complemento, el cuadro 2.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Es importante decir que en el caso de las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), el análisis relacionado con el cumplimiento de la norma se hizo con los datos recopilados a través de la REDMA, y para el resto de los contaminantes, con los datos de la RAMA, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

Si bien destaca que tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de la zona metropolitana se ha logrado cumplir con las normas de la calidad del aire para el CO, el SO_2 y el NO_2 desde los años 2001, 2002 y 2006, respectivamente, también es evidente que las partículas (tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$) y el O_3 siguen siendo los problemas más serios con la calidad del aire en la región. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

1 En México no existen especificaciones sobre cuáles datos utilizar para evaluar el cumplimiento de la normatividad vigente para las PM_{10} y $PM_{2.5}$. En la ZMVM se miden las PM con ambos equipos; en este caso la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM se realizó con los datos provenientes de la red de monitoreo manual, debido a que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) generalmente utiliza los datos provenientes de dicha red, sobre la base de que la calidad de dichos datos es mejor en relación con la precisión y el sesgo, debido a que estas mediciones están mejor controladas en el laboratorio, en términos de temperatura y humedad.

2.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMVM

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados por estación de monitoreo, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. En el caso particular de la ZMVM, debido al gran número de estaciones con que cuenta el SIMAT, éstas se agruparon en cinco regiones para facilitar la visualización de las gráficas. La agrupación corresponde a la utilizada por el SIMAT en su página de Internet http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo. Cabe recordar que en la evaluación del cumplimiento de las normas de la calidad del aire con respecto a las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se usaron solo los datos recopilados a través de la REDMA.

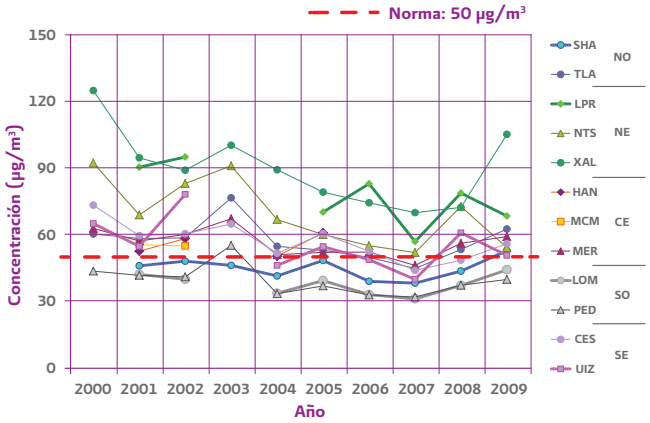
2) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

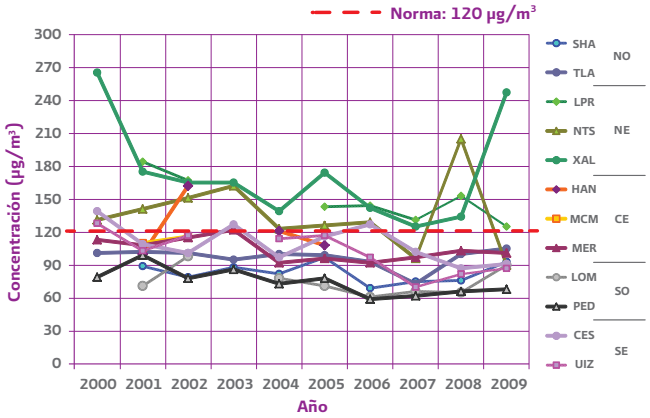
3) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

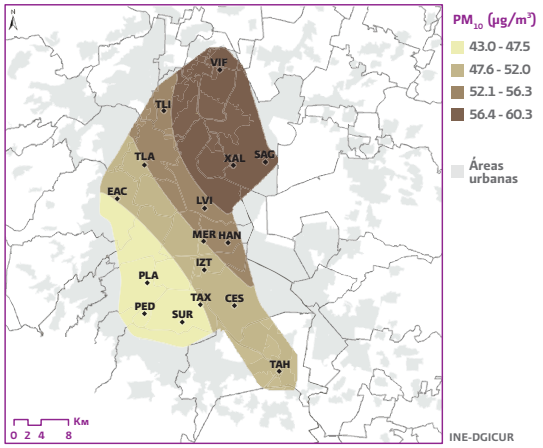
Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

El número de estaciones tomadas en cuenta para el cálculo puede variar dependiendo del contaminante y del método de cálculo, por lo que en cada caso se señala el número de estaciones utilizado.







Nota: en la elaboración de las gráficas relacionadas con el cumplimiento de las normas para este contaminante se utilizaron los datos de 12 estaciones de la REDMA. En la estimación del número de días con calidad del aire buena, regular y mala, se usaron los datos provenientes de 17 estaciones de la RAMA. Estas mismas se utilizaron para la elaboración del mapa.

Indicadores de las PM_{10}

Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

A pesar de que en la mayoría de las estaciones de monitoreo se había experimentado una reducción en este indicador entre 2003 y 2007, en los dos años más recientes se ha registrado un nuevo incremento y, por lo tanto, en 2009 el número de estaciones donde no se cumplió con la norma fue mayor que en los años previos, y parecido al de los años 2001 y 2002 aunque con valores menos alejados de la norma. Por otra parte, se observa que los promedios anuales más altos suelen ocurrir en las estaciones La Presa (LPR) y Xalostoc (XAL). En esta última destaca el notable incremento registrado en la concentración promedio anual de 2009, de alrededor del doble del valor normado.

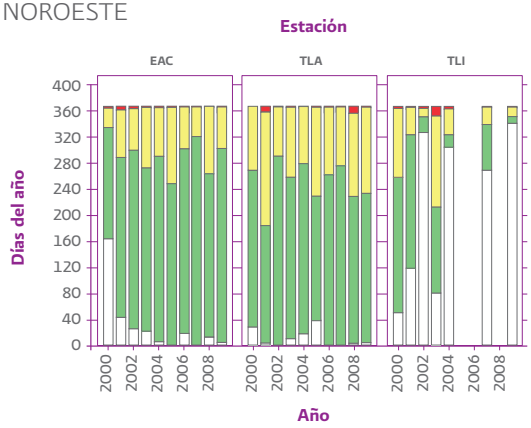
Límite de 24 h (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

A nivel de cada estación de monitoreo, este indicador muestra un comportamiento relativamente estable en la mayoría de las estaciones, lo que permite identificar con claridad que la norma suele rebasarse con mucho mayor frecuencia en las estaciones de la zona noreste (NE), tales como La Presa (LPR), Netzahualcóyotl Sur (NTS) y Xalostoc (XAL). Destacan en los años 2008 y 2009 las altas concentraciones que se registraron en las estaciones Netzahualcóyotl Sur (NTS) y Xalostoc (XAL) respectivamente.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

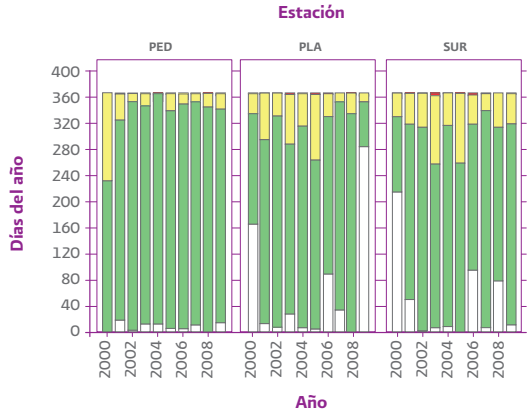
Se observa que, en promedio, los niveles más altos de PM_{10} se registran en el norte del área metropolitana, especialmente en los alrededores de las estaciones Xalostoc (XAL), San Agustín (SAG) y Villa de la Flores (VIF), con una disminución gradual hacia el suroeste. Una causa probable de este comportamiento es que en esta zona existen suelos desprovistos de cubierta vegetal que generan emisiones de PM_{10}, ya sea por la acción del viento o por el tráfico vehicular.

NOROESTE

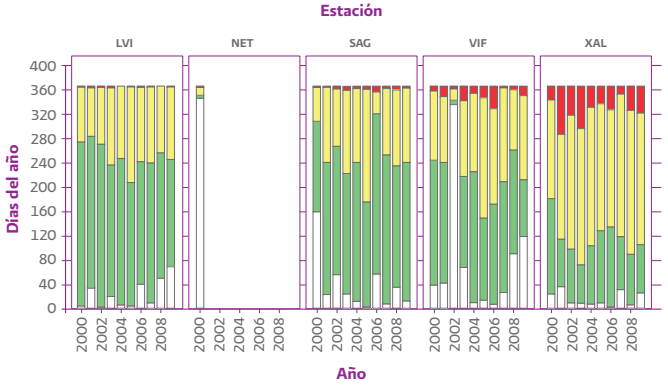


CENTRO

SUROESTE



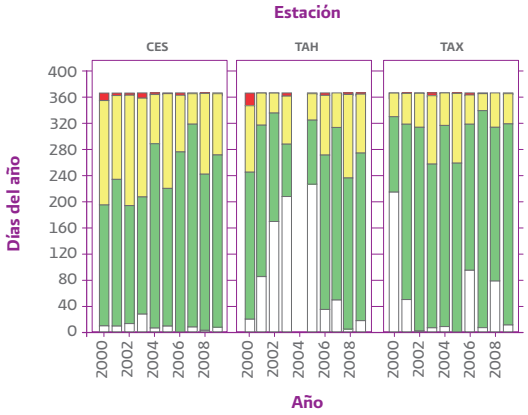
NORESTE



PM_{10} ($\mu g/m^3$)

- >120
- (60 - 120]
- (0 - 60]
- D.I.

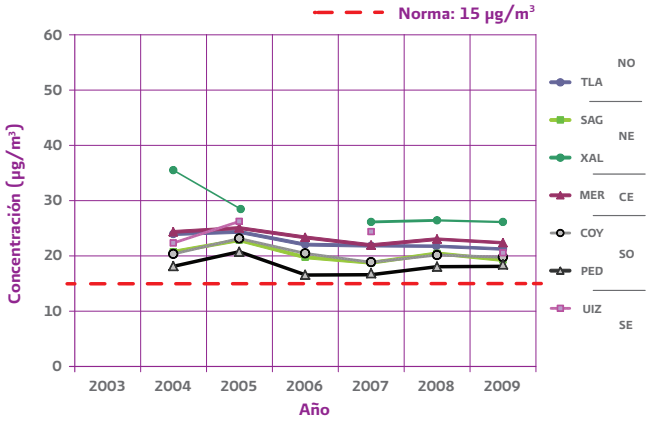
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

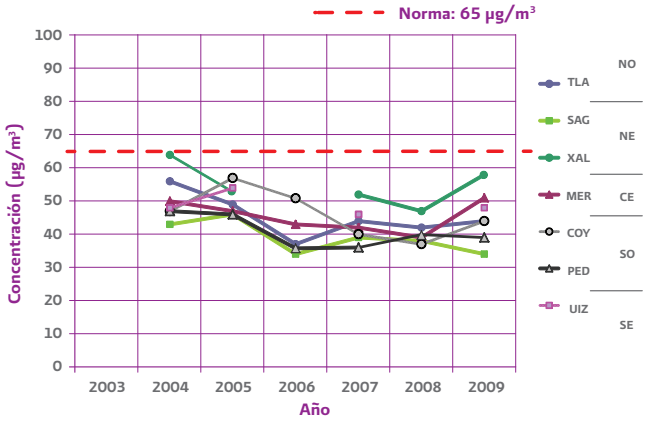
Las estaciones que se ubican al noreste de la zona metropolitana, especialmente Xalostoc (XAL) y Villa de la Flores (VIF), son las que registran la mayor cantidad de días en color rojo, en tanto que las ubicadas en la zona suroeste, y en menor medida la sureste, son las menos problemáticas con respecto a este contaminante. Por otra parte, en Xalostoc se registra la mayor cantidad de días en color amarillo, lo que indica el potencial de que se exceda la norma. Destaca también la irregularidad de las mediciones en los últimos cinco años en la estación Tultitlán (TLI), la cantidad de días sin datos suficientes en la estación Tláhuac (TAH) de 2000 a 2005, así como la insuficiencia de datos en PLA en 2009. En TLI y PLA la insuficiencia de datos en 2009 se debe a las obras de construcción en la zona (SMA-DF, 2010a). Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a la salida de operación de las estaciones Hangares (HAN) y Netzahualcóyotl (NET), o a la entrada en funciones de Iztacalco (IZT).

Indicadores de las $PM_{2.5}$



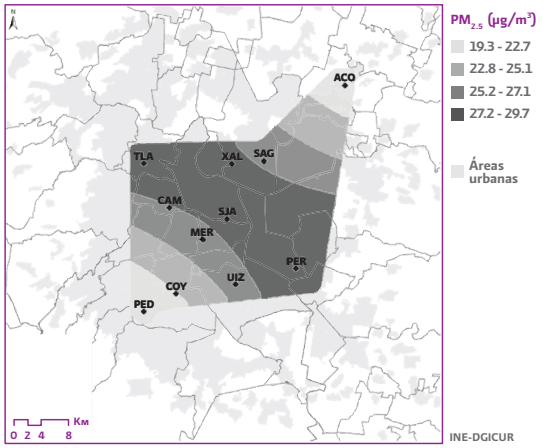
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

La norma anual no se ha cumplido en ninguno de los años analizados. Se observa que las concentraciones promedio anuales de la estación Xalostoc (XAL) son las más altas y en general en los últimos tres años los valores han tendido a mantenerse constantes.



Límite de 24 h (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

Caso contrario a lo observado en la norma anual: esta norma se ha cumplido en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado.

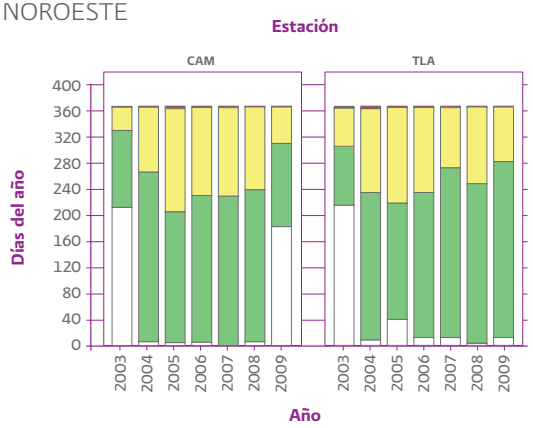


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los muestreos y promedios diarios de 24 h)

Las concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ se presentaron, en promedio, al norte del valle de México, en las inmediaciones de las estaciones Tlalnepantla (TLA), San Juan de Aragón (SJA), Xalostoc (XAL) y La Perla (PER). Las concentraciones más bajas, por el contrario, se registraron en los alrededores de la estación Pedregal (PED) al suroeste y Acolman (ACO) al noreste.

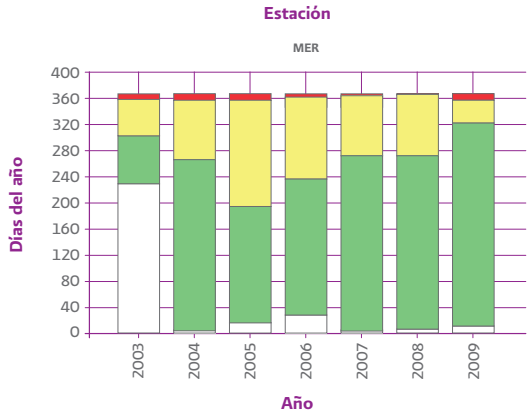
Nota: se utilizaron los datos de siete estaciones de la REDMA para la elaboración de las gráficas relacionadas con el cumplimiento de las normas para este contaminante. En la estimación del número de días con calidad del aire buena, regular y mala, se usaron los datos provenientes de nueve estaciones de la RAMA; en la elaboración del mapa, se utilizó la información de 11 estaciones, nueve de la RAMA y dos de la REDMA (Xalostoc y Pedregal), con el fin de ampliar la cobertura espacial de este contaminante, de acuerdo con la metodología descrita en la sección 3.3 del capítulo 22.

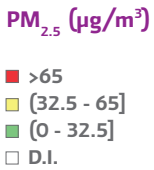
NOROESTE



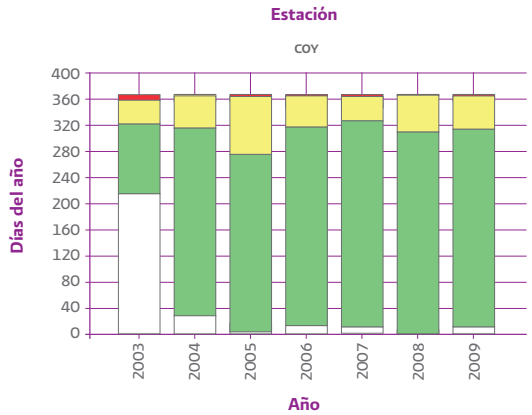
NORESTE

CENTRO

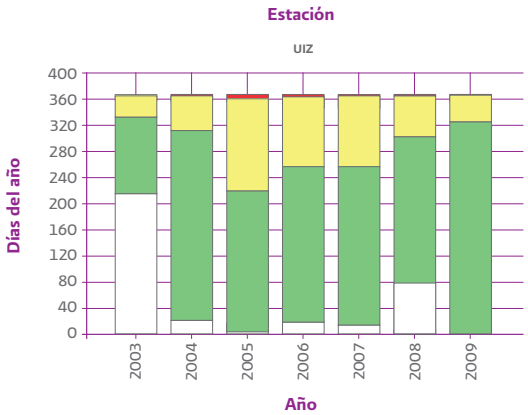




SUROESTE



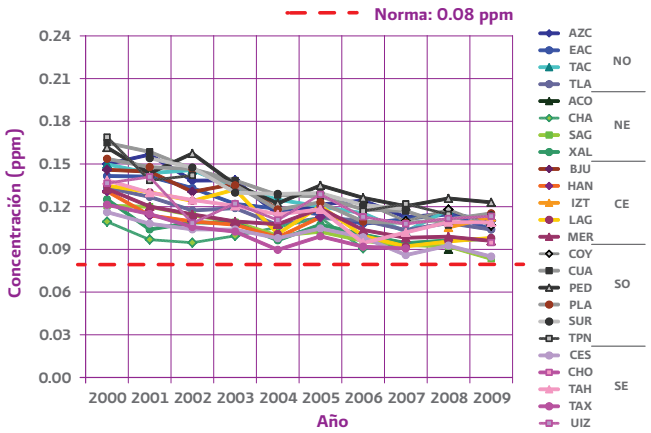
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

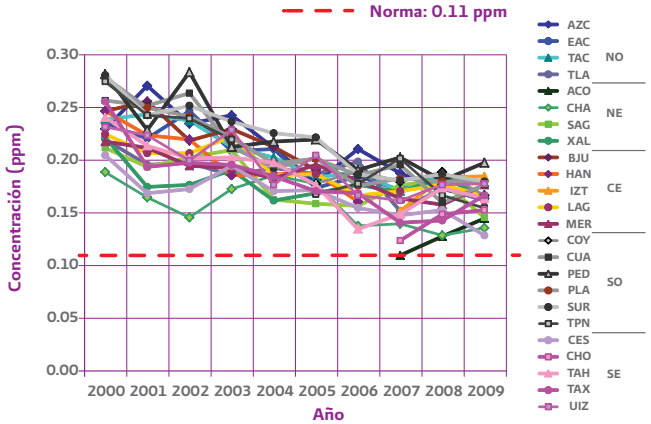
En congruencia con la distribución espacial de las PM_{10}, este contaminante también registró la mayor cantidad de días en color rojo en la zona noreste, particularmente en la estación La Perla (PER), que es la estación que reporta los mayores problemas con respecto a las $PM_{2.5}$, pues registra un número importante de días en color amarillo. Merced (MER) e Iztapalapa (UIZ) son las únicas estaciones que muestran una tendencia a la baja en cuanto al número de días en color amarillo, mientras que en el resto de las estaciones el comportamiento es más irregular. Por otra parte, el vacío de información que se observa en la estación Acolman (ACO) obedece a que entró en operación en 2007.

Indicadores del O_3



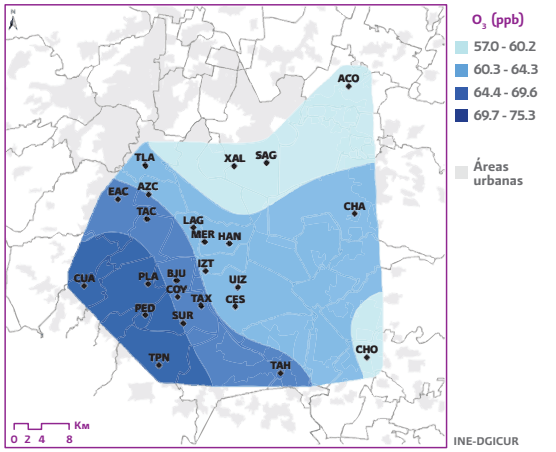
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Este indicador muestra una disminución constante en todo el periodo analizado en todas las estaciones de monitoreo. A pesar de ello, esta norma no se cumple en ninguna estación y en ninguno de los años incluidos en el análisis. La zona suroeste suele registrar las concentraciones promedio de 8 horas más elevadas, particularmente en la estación Pedregal (PED).



Límite horario (máximo horario)

Se observa que en la mayoría de las estaciones de monitoreo se registra una notable tendencia a la baja en las concentraciones máximas horarias de ozono, especialmente de 2003 a la fecha. A pesar de esta tendencia, todavía en 2009 más de la mitad de las estaciones muestran concentraciones superiores a 0.165 ppm, valor un 50% superior al de la norma. Las concentraciones de ozono más elevadas suelen registrarse en la zona suroeste (SO) de la ciudad, especialmente en las estaciones Pedregal (PED) y Santa Ursula (SUR).

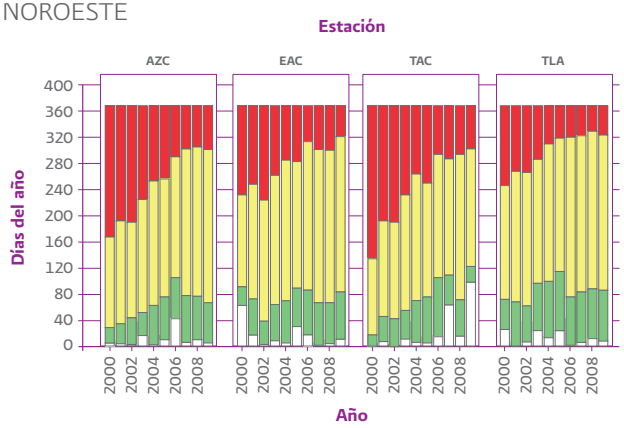


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

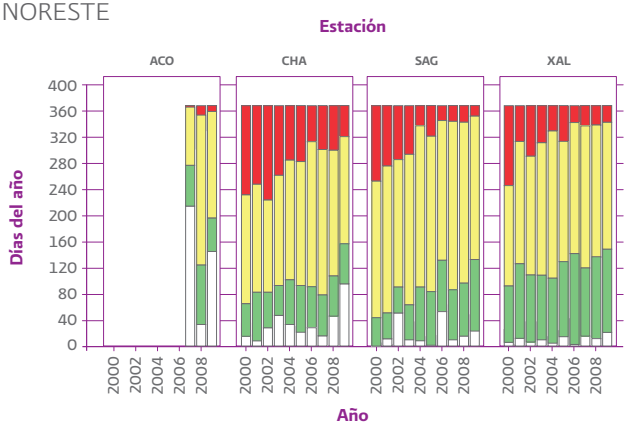
Las concentraciones más altas de este contaminante se localizaron, en promedio, al suroeste de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Pedregal (PED), Tlalpan (TPN) y Cuajimalpa (CUA), con una notable atenuación hacia el este y el norte. Este comportamiento, en general, se relaciona con el viento predominante, que va del noreste al suroeste.

Nota: en el cálculo de todos los indicadores se utilizaron los datos de las 24 estaciones de la RAMA, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3 de capítulo 22.

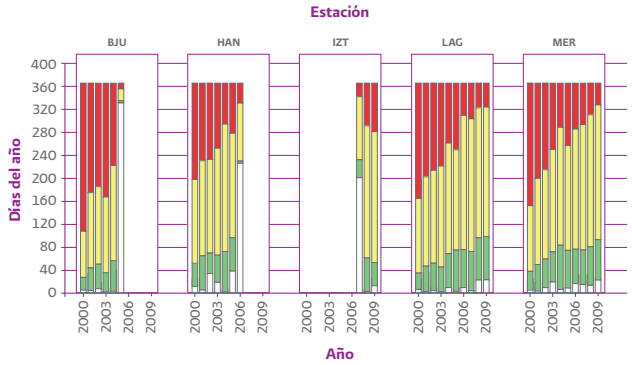
NOROESTE

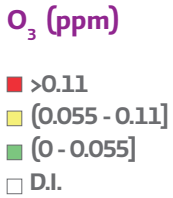


NORESTE

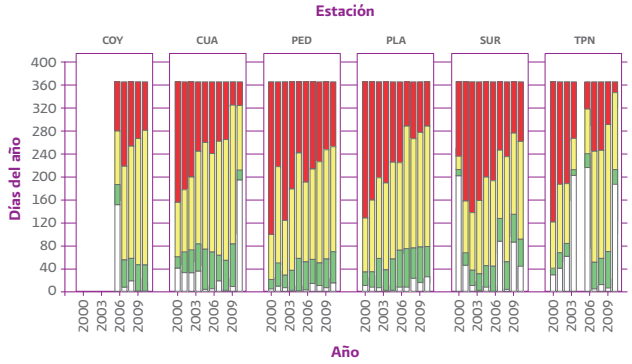


CENTRO

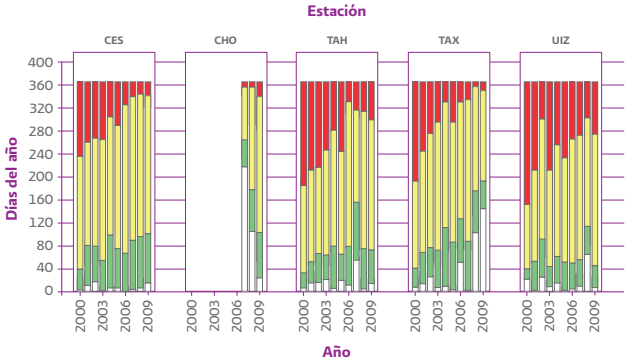




SUROESTE



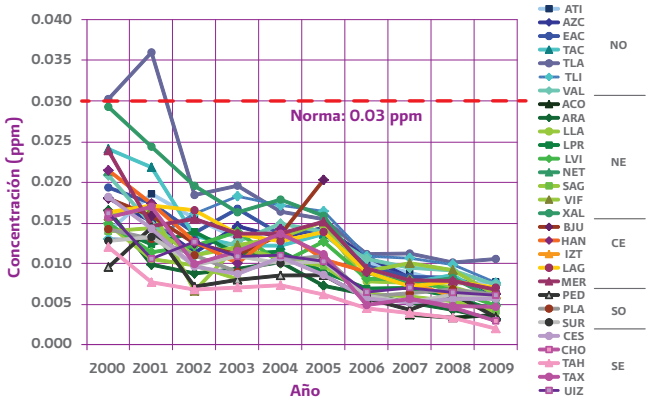
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

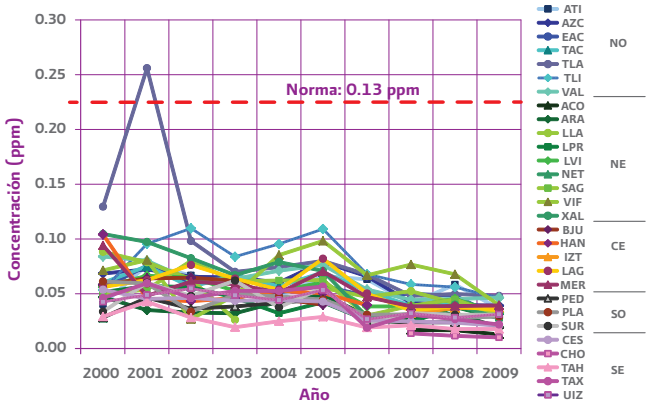
Este indicador revela que si bien el ozono sigue siendo un problema generalizado en la ZMVM, la situación ha ido mejorando, pues en la gran mayoría de las estaciones de monitoreo se nota una tendencia decreciente en el número de días en los que se rebasa el valor de la norma (en color rojo). Solo en las estaciones Iztacalco (IZT), Tláhuac (TAH), y de manera menos evidente en Chalco (CHO), se observa un incremento de días en rojo entre 2006 y 2009. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación las estaciones Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), o a la entrada en funciones de Acolman (ACO), Iztacalco (IZT), Coyoacán (COY) y CHO.

Indicadores del SO_2



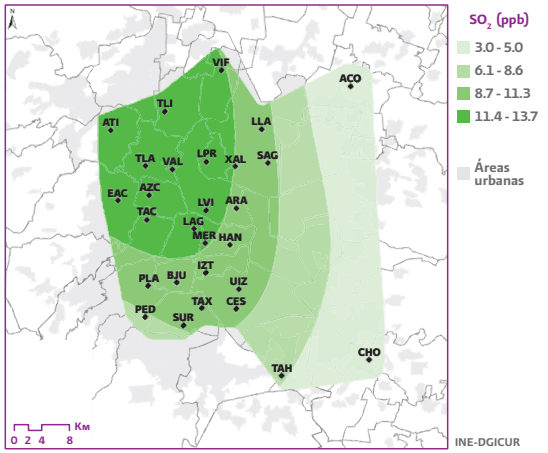
Límite anual (promedio anual de las concentraciones horarias)

Esta norma se ha cumplido en toda la ZMVM de 2002 a la fecha, y además se registra una notable reducción en las concentraciones promedio anuales de SO_2 entre 2006 y 2009.



Límite de 24 h (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Desde 2002 y hasta la fecha esta norma de la calidad del aire ha sido cumplida en todas las estaciones de monitoreo; destaca además una ligera reducción en los segundos máximos registrados entre 2006 y 2009 en casi todas estaciones.

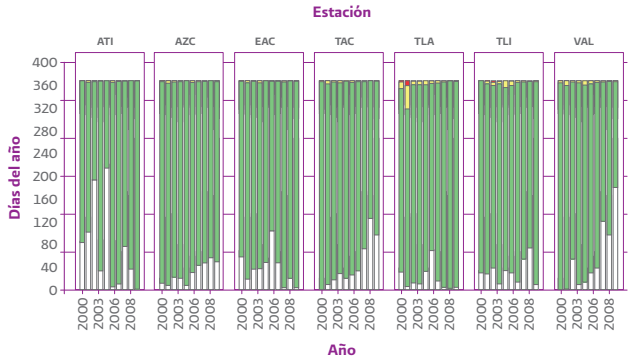


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

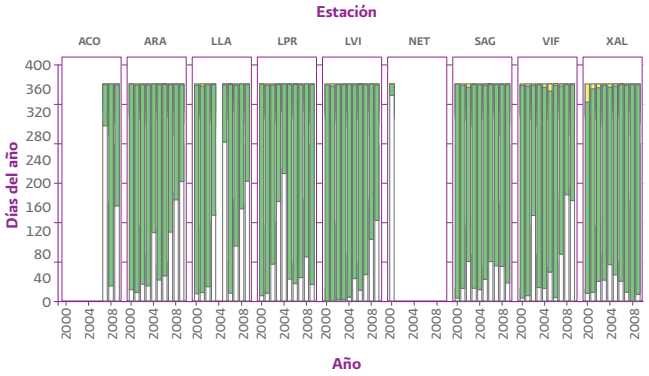
Las concentraciones más elevadas de bióxido de azufre se registran en la zona noroeste, en las cercanías de estaciones como Tultitlán (TLI), Atizapán (ATI), Tlalnepantla (TLA), Vallejo (VAL), ENEP Acatlán (EAC) y Tacuba (TAC), con una marcada atenuación hacia el sur y el este. Esta distribución puede ser producto de las emisiones generadas por la industria asentada en la zona norte que hace uso ilegal de combustibles con elevado contenido de azufre (SMA-DF, 2006). Otra posible causa pueden ser las emisiones de SO_2 generadas por la industria que se ubica fuera de los límites de la ZMVM, y que bajo ciertas condiciones meteorológicas pueden ser arrastradas al interior del valle (García-Reynoso, 2009).

Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 28 estaciones de la RAMA.

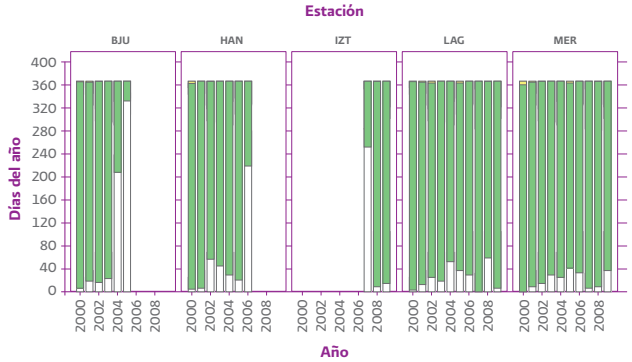
NOROESTE

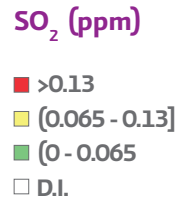


NORESTE

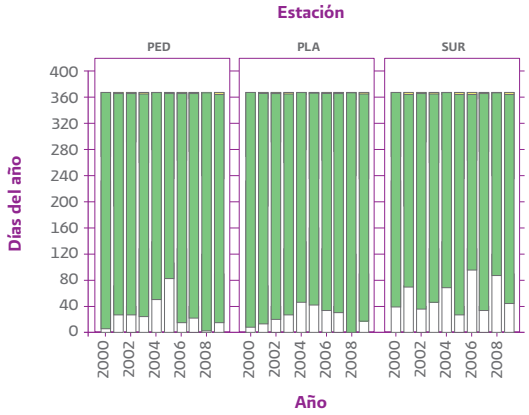


CENTRO





SUROESTE

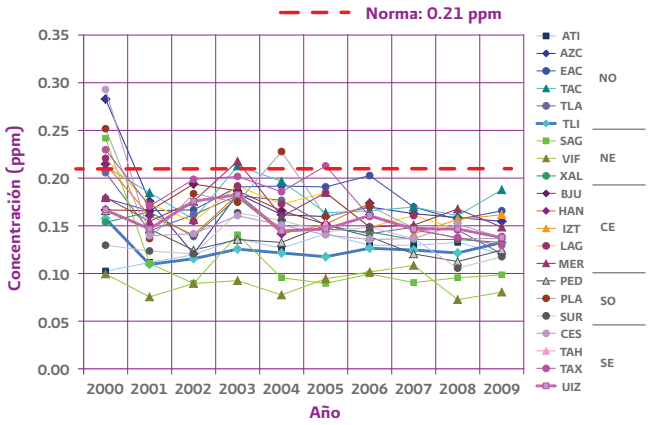


SURESTE

Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

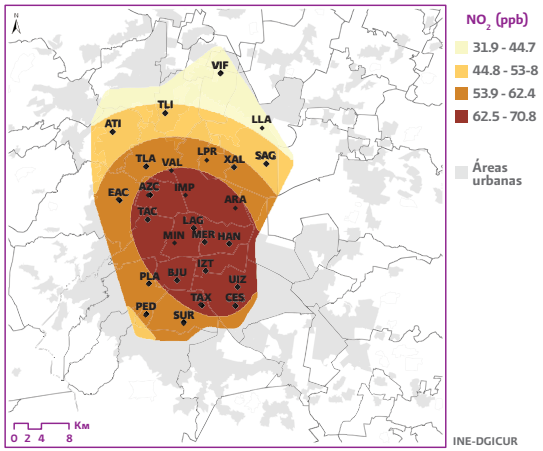
De 2003 a la fecha solo se ha registrado un día con una concentración de SO_2 superior al valor de la norma, y éste ocurrió en 2008 en la estación Tultitlán (TLI). En todas las demás estaciones, incluso en TLI, no se han registrado más días en color rojo. De hecho, este contaminante ya no representa un problema serio para la calidad del aire en la zona metropolitana si consideramos que la mayor cantidad de los días de cada año caen en el color verde, con concentraciones inferiores a la mitad del valor de la norma. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación Netzahualcóyotl (NET), Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), y entraron en funciones Acolman (ACO), Iztacalco (IZT) y Chalco (CHO).

Indicadores del NO_2



Límite horario (segundo máximo horario)

Los indicadores por estación de monitoreo indican que la norma de este contaminante se ha cumplido en toda la ZMVM desde 2006, año a partir del cual se observa una ligera disminución de este indicador en más de la mitad de las estaciones de monitoreo. De 2000 a 2006 solo Tacuba (TAC), Plateros (PLA) y Taxqueña (TAX) no cumplieron la norma en dos años.

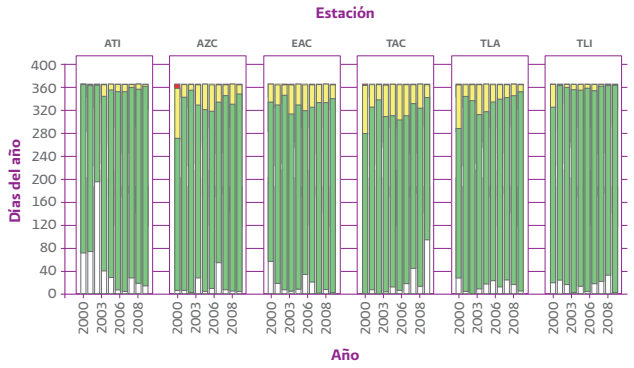


Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

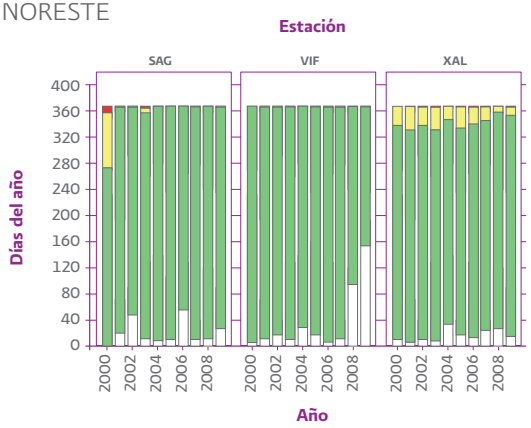
Al igual que el monóxido de carbono, el NO_2 es emitido principalmente por las fuentes vehiculares, y ello explica que ambos contaminantes muestren una distribución espacial similar y marcada de altas concentraciones en el centro urbano de la ciudad.

Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 21 estaciones de la RAMA, a excepción del mapa, en cuya elaboración se utilizaron 20, ya que no se consideró Tláhuac (TAH) por su escasa cantidad de datos en el periodo de análisis, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3.3 del capítulo 22.

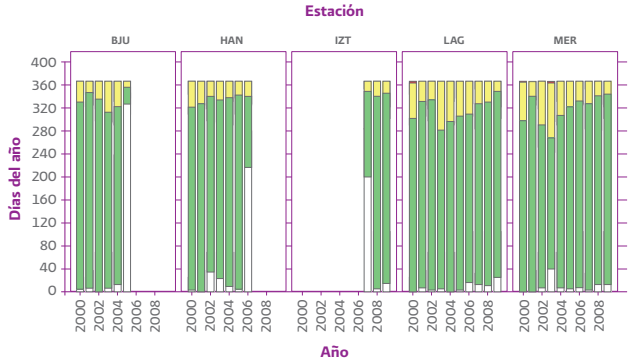
NOROESTE



NORESTE



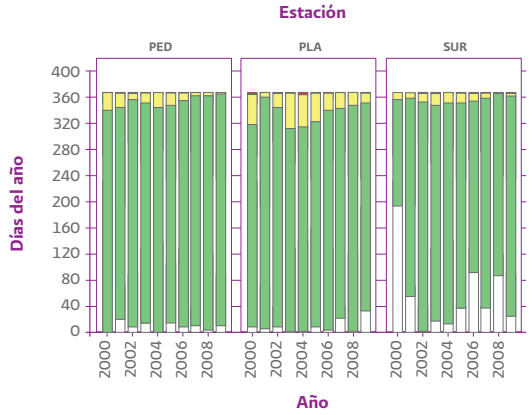
CENTRO



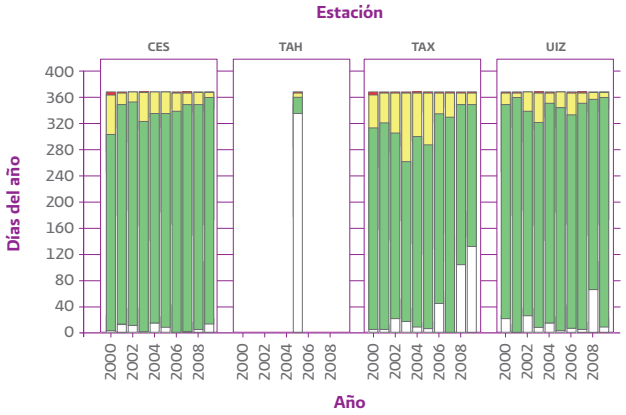
NO_2 (ppm)

- >0.21
- (0.105 - 0.21]
- (0 - 0.105]
- D.I.

SUROESTE



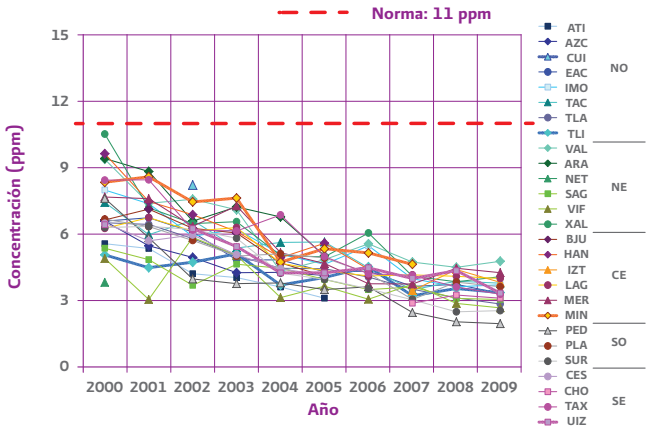
SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

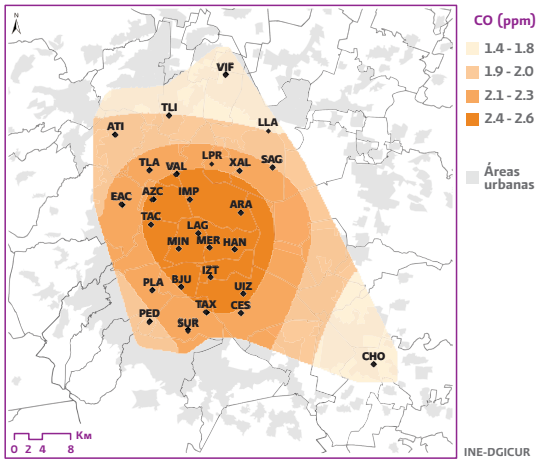
A pesar de que en muy pocas ocasiones se rebasa el valor de la norma, se puede apreciar que esto suele ocurrir con mayor frecuencia en el noroeste del área metropolitana, especialmente en la estación Tacuba (TAC). En general, en prácticamente todas las estaciones de monitoreo se aprecia una mejora que se ve reflejada no solo en la ausencia de días en color rojo, sino también en la reducción de días en color amarillo. Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación Benito Juárez (BJU) y Hangares (HAN), ya no mide este contaminante Tláhuac (TAH), pero continúa en operación o entró en funciones Iztacalco (IZT).

Indicadores del CO



Límite horario (segundo máximo de los promedios móviles de 8 h)

Como puede observarse en la gráfica, se ha cumplido la norma en todas las estaciones de monitoreo durante todo el periodo. Además, continúan reduciéndose las concentraciones, y en casi la totalidad de las estaciones las concentraciones más bajas se han presentado en alguno de los tres años más recientes, especialmente en 2009.



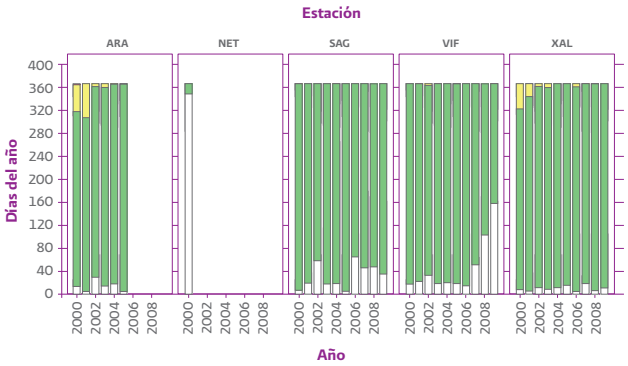
Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Se puede observar que las concentraciones más elevadas de este contaminante se presentan en estaciones de la zona norte: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Azcapotzalco (AZC), Tacuba (TAC) y Aragón (ARA); del centro: Lagunilla (LAG), Metro Insurgentes (MIN), Merced (MER), Hangares (HAN) y Benito Juárez (BJU); y del sur: UAM Iztapalapa (UIZ) y Taxqueña (TAX), lo que sin duda es reflejo de la intensa actividad vehicular que se registra a lo largo y ancho del valle de México.

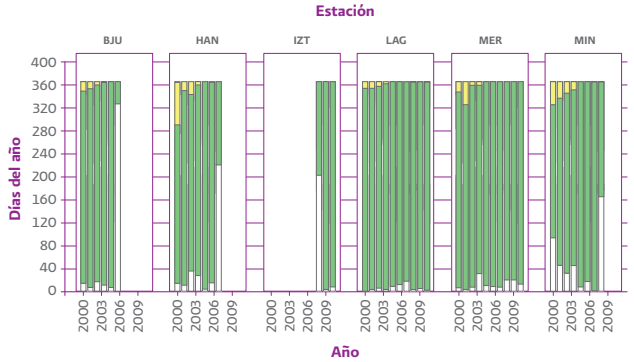
Nota: en el cálculo de los indicadores se utilizaron los datos de 26 estaciones de la RAMA, a excepción del mapa, para cuya elaboración se utilizaron 25, ya que no se consideró la información de Cuitláhuac (CUI) por su escasa cantidad de datos en el periodo de análisis, de acuerdo con los criterios descritos en la sección 3.3 del capítulo 22.

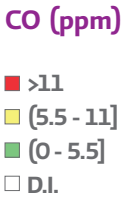
NOROESTE

NORESTE

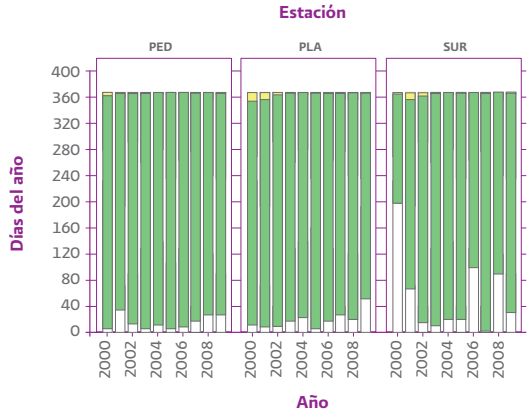


CENTRO

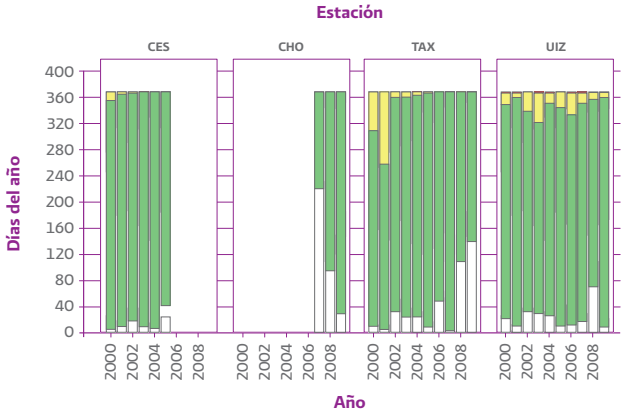




SUROESTE



SURESTE



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Desde el año 2003 en todas las estaciones de monitoreo que cuentan con mediciones se han registrado concentraciones de CO inferiores al valor de la norma, lo que aunado a que casi no se han presentado días en color amarillo, revela que este contaminante ha dejado de ser un problema importante para la calidad del aire a nivel urbano en la ZMVM desde hace varios años Por otra parte, los vacíos de información que se observan en algunas gráficas obedecen a que salieron de operación las estaciones Cuitláhuac (CUI), Netzahualcóyotl (NET), Benito Juárez (BJU), Hangares (HAN) y Metro Insurgentes (MIN); ya no miden este contaminante pero continúan en operación Atizapán (ATI), Azcapotzalco (AZC), Aragón (ARA) y Cerro de la Estrella (CES); y entraron recientemente en funciones Acolman (ACO), Iztacalco (IZT) y Chalco (CHO).

3.

Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.

3.1 Información general

Municipios	Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	1.7 millones de vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	381 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	2734 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	Ganadería (principalmente de especies bovinas, porcinas, ovicaprinas, caprinas, equinas y avícola); industrias textil y metalmecánica; turismo y comercio (GEJ, 2007)
Altitud	1540 msnm (GEJ, 2007)		
Población en 2010	4.4 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2005, destaca que los vehículos automotores aportan porcentajes importantes de COV, NOx y CO, de manera similar a lo que ocurre en otras grandes zonas metropolitanas. Sin embargo, también destacan las aportaciones significativas de las fuentes de área al SO_2, y las emisiones de PM_{10} por erosión de suelos (SEMARNAT, 2010).

Figura 3.1 Inventario de emisiones de la ZMG (2005)

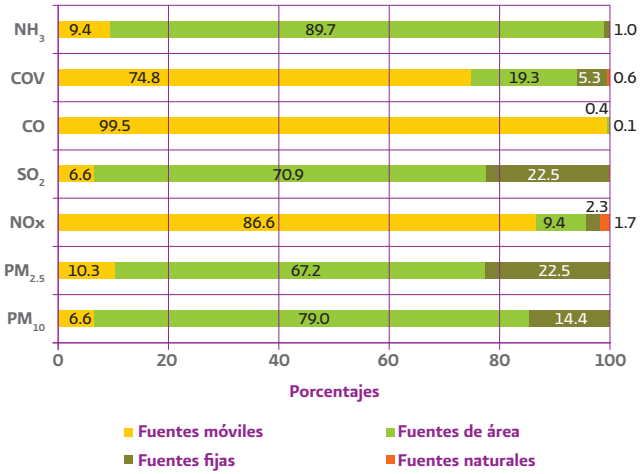
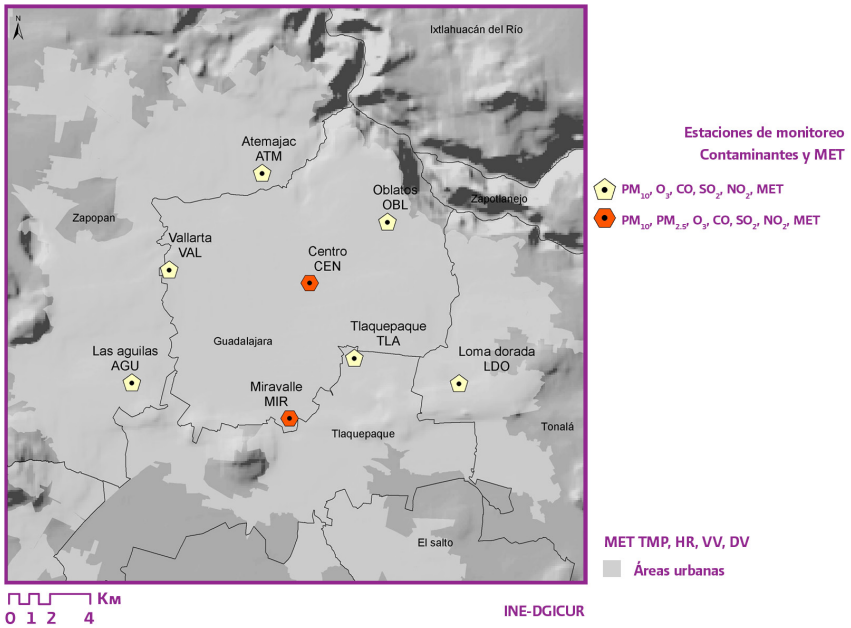


Figura 3.2 Estaciones de la RAMAG analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMG se inició en 1993. La página http://siga.jalisco.gob.mx/ramasp/ramag.htm contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico RAMAG se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMAG tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son ocho, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 3.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación. Cabe aclarar que aunque las $PM_{2.5}$ se empezaron a medir a partir de 2007, se considera que los equipos de medición empezaron a funcionar de manera adecuada en julio de 2011, por lo que no se incluye su análisis (SEMADES-GEJ, 2011). Si bien en 2010 fue instalada la nueva estación de monitoreo "Las pintas" situada en el municipio de El Salto, no se incluye su ubicación en el mapa, ni su análisis, porque el año está fuera del periodo contemplado en este almanaque.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 3.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMG. De acuerdo con la información disponible en 2009, se observa que la RAMAG requiere atención para mejorar su desempeño, pues a pesar de que son adecuados los mecanismos de difusión de la información y la oportunidad con que se realiza la validación de datos, así como el porcentaje de datos validados obtenidos para las mediciones de PM_{10}, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes en lo que

respecta a la frecuencia de las auditorías, al número de equipos de medición que cumplen los criterios de las auditorías, al porcentaje de datos validados para las $PM_{2.5}$ y a la trazabilidad de los equipos de calibración.

Es oportuno mencionar que se solicitó oficialmente a la Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana y Regional la anulación de todos los datos sobre las $PM_{2.5}$ debido a que recientemente se les informó a los encargados de la RAMAG que los equipos de medición de este contaminante nunca se configuraron ni se adecuaron apropiadamente para su operación; por tal motivo, no se tiene certeza de la veracidad de estos datos, y por tanto no se presenta el análisis de las $PM_{2.5}$ en este almanaque.

Cuadro 3.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMG (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Requiere atención
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	$PM_{2.5}$					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	$PM_{2.5}$[b]					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos[c]						
Difusión de la información						

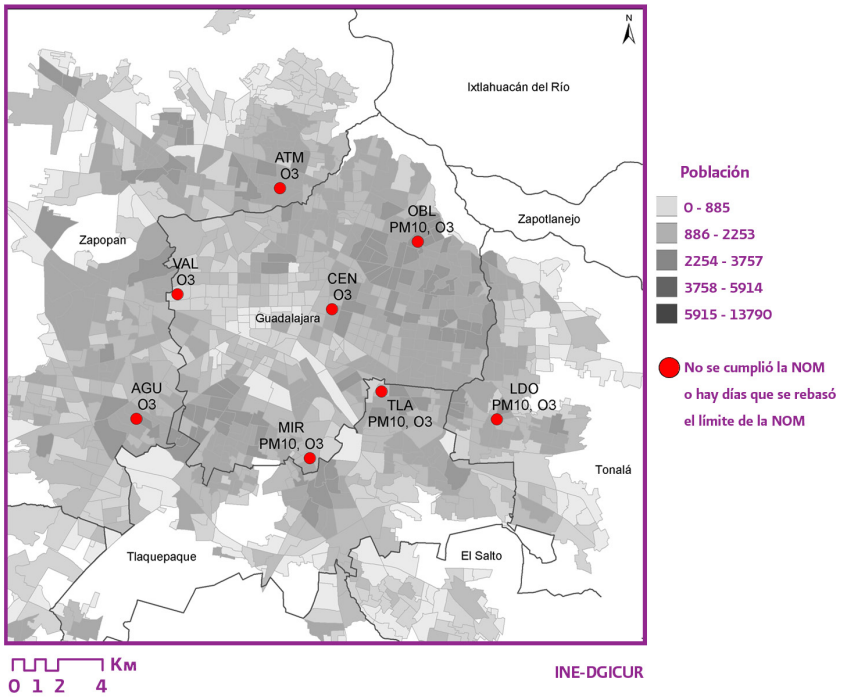
Notas:

a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

b El porcentaje de datos validados corresponde al periodo 2007-2009.

c Oportunidad de validación de los datos. Este parámetro se definió considerando el tiempo que tardan los responsables de las redes de monitoreo en realizar el proceso completo de validación de sus datos. Su importancia radica en la oportunidad para realizar sin mucho retraso el diagnóstico de la calidad del aire que respira la población, la evaluación casi inmediata al ocurrir episodios de contaminación, y la disponibilidad a tiempo de información confiable para los tomadores de decisiones.

Figura 3.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Fuente de la población: INEGI, II Conteo de Población y Vivienda 2005

3.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMG

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMG se relacionan con altas concentraciones de O_3 y PM_{10}. La figura 3.3 muestra las estaciones que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. Asimismo, se observa que estas ocho estaciones históricas se encuentran ubicadas en áreas densamente pobladas que cubren aproximadamente el 60% de la población de la zona metropolitana (ver anexo VII).

Cuadro 3.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMG. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMG	
PM_{10}	24 horas	VAL	LDO	No se cumplió	13
	Anual		LDO, MIR, OBL y TLA	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	Todas	No se cumplió	75
	Anual	LDO, TLA y VAL	AGU, ATM, CEN, MIR y OBL	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2[b]	1 hora	TLA, ATM	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b Los equipos de medición de NO_2 que no cumplen con los criterios de suficiencia de información presentaron problemas con diferentes componentes (válvulas de flujo de aire, las tarjetas de flujo, etc.). No fue posible realizar la reparación inmediata de los mismos por falta de recursos para la compra de las refacciones necesarias.

Como complemento, el cuadro 3.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Las dos normas correspondientes al O_3 y las PM_{10} no se cumplieron en 2009. Por otra parte, las normas correspondientes al CO, el NO_2 y el SO_2 se cumplieron, aunque no hubo suficiente información en un par de estaciones para calcular el indicador de 1 hora del NO_2. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

3.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMG

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

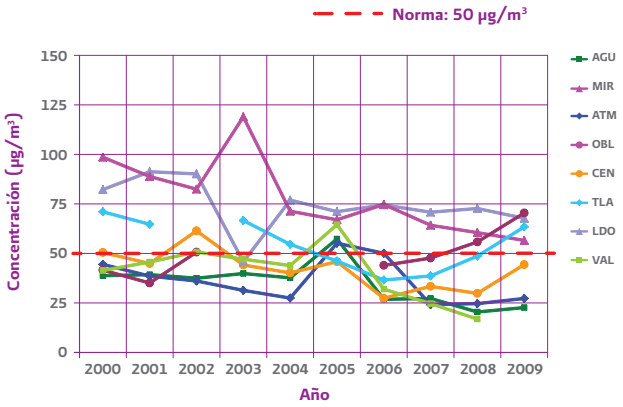
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados para la realización de los cálculos pueden consultarse en el disco compacto anexo, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

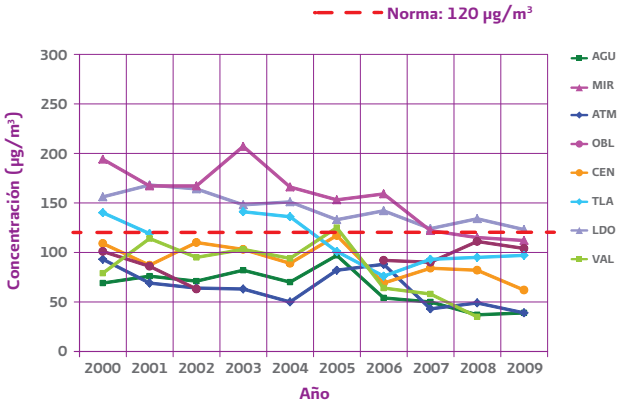
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

El comportamiento de cada una de las estaciones de monitoreo a través del tiempo no es claro, pues en algunos casos las concentraciones promedio anuales son muy similares en los últimos años, y en otros aumentan. Solo en la estación Miravalle (MIR) se observa una ligera tendencia decreciente.



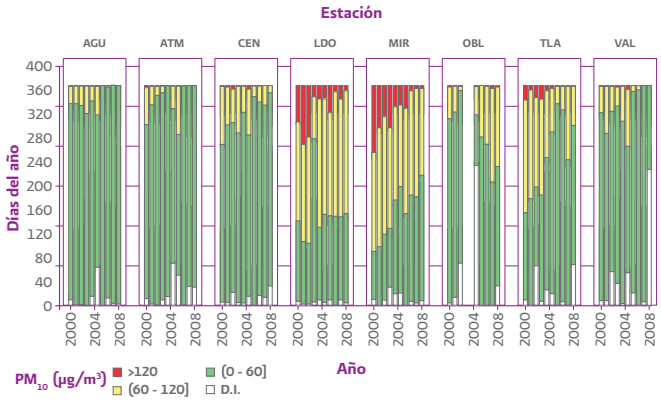
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En los últimos tres años la estación Loma Dorada (LDO) todavía presenta incumplimiento; los indicadores de las estaciones Miravalle (MIR), Oblatos (OBL) y Tlaquepaque (TLA) de los últimos dos años se encuentran muy cercanos al valor de la norma, y no es claro si la tendencia en estos casos es creciente o decreciente.



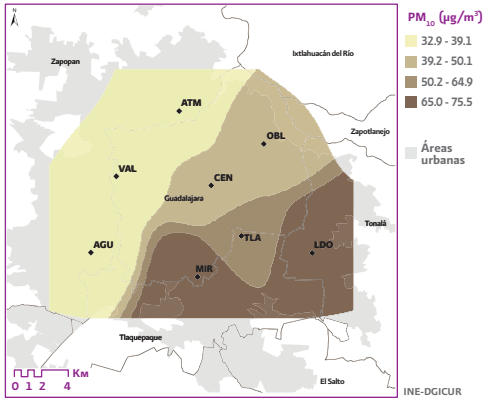
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Las estaciones Loma Dorada (LDO) y Miravalle (MIR) presentan más días en rojo que el resto de las estaciones, pero se observa que aquellos han disminuido en los últimos años. Sin embargo, no se ha reducido el número de días en amarillo en estas estaciones, lo que puede explicar por qué los indicadores del cumplimiento de las normas para este contaminante no muestran una tendencia clara hacia la baja.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

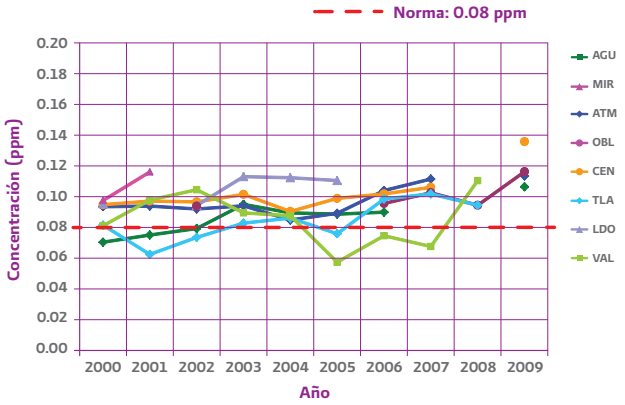
Las concentraciones más elevadas de PM_{10} suelen registrarse al sur y al sureste del área metropolitana, en las inmediaciones de las estaciones Miravalle (MIR) y Loma Dorada (LDO). Se observa una marcada atenuación hacia el norte y el oeste; las concentraciones más bajas se registran en las inmediaciones de las estaciones Atemajac (ATM), Vallarta (VAL) y Águilas (AGU).



Indicadores del O_3

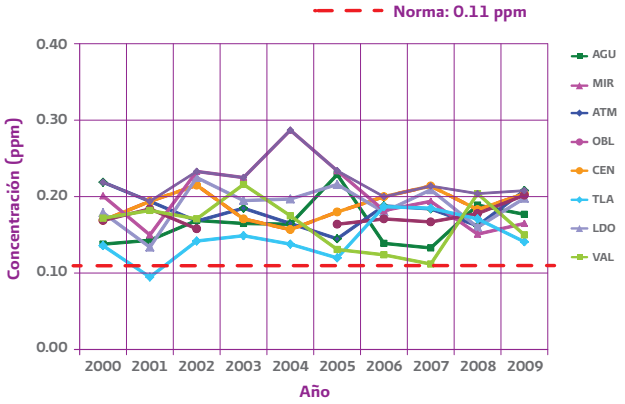
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

En la mayoría de las estaciones se observa un ligero aumento en el valor de este indicador en los años más recientes. En este caso destaca que en los años 2008 y 2009 no se contó con suficientes datos para calcular el indicador anual para varias estaciones de la ZMG.



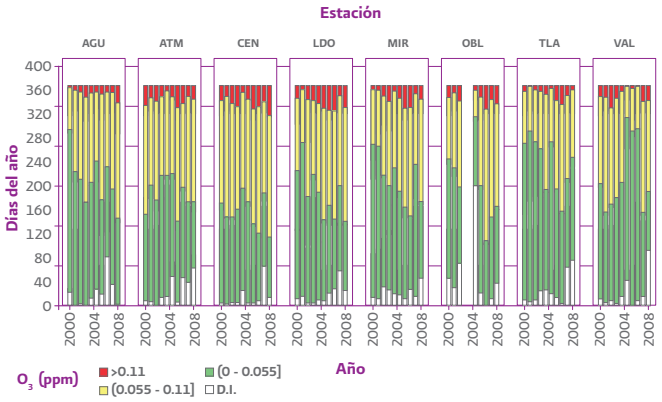
Límite horario (máximo horario)

Se observa claramente en todo el periodo que ninguna de las estaciones cumple la norma, excepto Tlaquepaque (TLA) en 2001. Se observa que el indicador de Miravalle (MIR) se ha mantenido prácticamente sin cambio en todo el periodo, excepto en 2004, cuando el indicador se elevó considerablemente, casi dos veces por arriba del valor de la norma. En lo que respecta a las demás estaciones de monitoreo, no se observa una tendencia clara en ninguna de ellas.



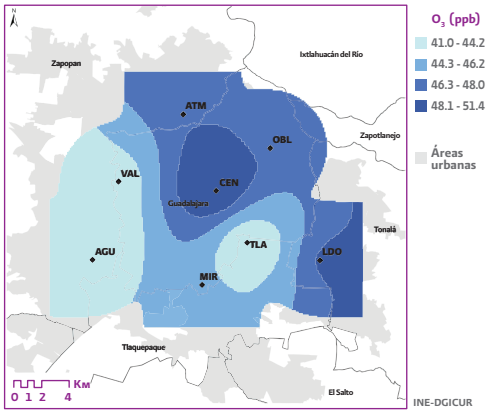
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Además de que se confirma el problema con este contaminante en todas las estaciones –por la cantidad de días en rojo–, destaca que en casi todas las estaciones el número de días en amarillo aumenta, lo que puede indicar que las concentraciones van aumentando, y es posible que en el futuro estos valores superen los valores normados.



Representación espacial (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

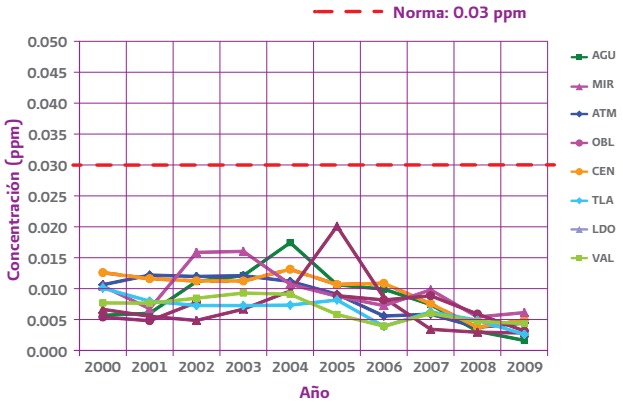
Las concentraciones más elevadas de O_3 se presentan al centro y al sureste de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Centro (CEN) y Loma Dorada (LDO), respectivamente.



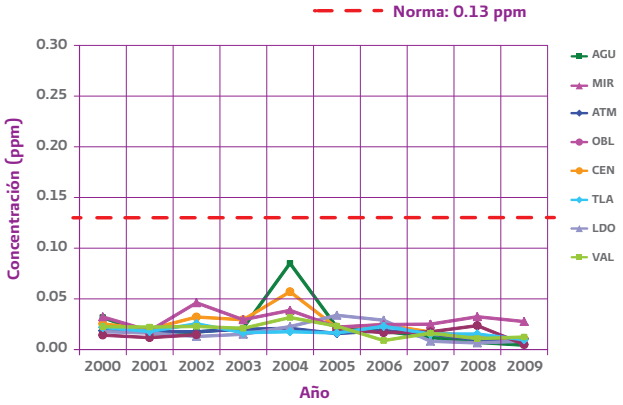
Indicadores del SO_2

Límite anual (promedio anual)

Salvo por algunos valores que se desvían de la tendencia (en 2002 y 2004), en general se observa que ésta es decreciente, y los niveles registrados no representan un problema para el cumplimiento de las normas respectivas.

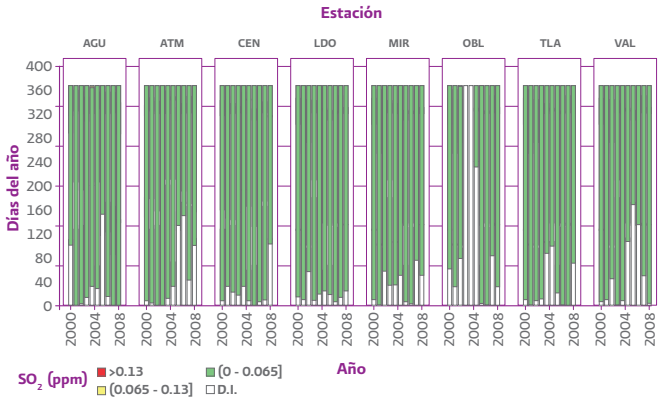


Límite de 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)



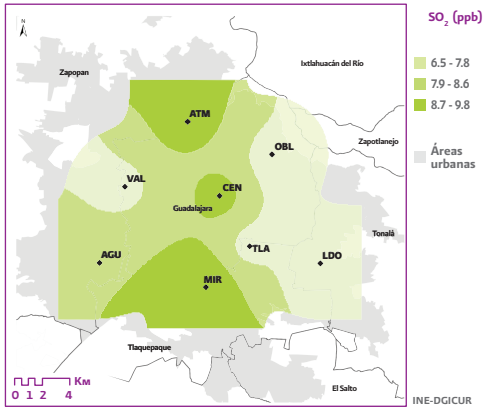
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En general no se observan problemas con respecto a este contaminante, pues una cantidad significativa de días, en cada año, caen en el color verde. Por otro lado, destaca también que hay una cantidad considerable de días con información insuficiente, especialmente en la estaciones Atemajac (ATM) y Vallarta (VAL).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

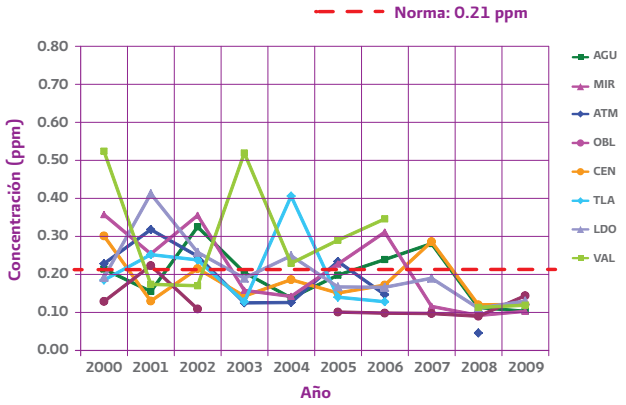
Se observa que las concentraciones elevadas de SO_2 se registran en Atemajac (ATM), Centro (CEN) y Miravalle (MIR), y se atenúan hacia el poniente de la ciudad en Águilas (AGU) y Vallarta (VAL); lo mismo ocurre hacia el oriente en Oblatos (OBL), Tlaquepaque (TLA) y Loma Dorada (LDO).



Indicadores del NO_2

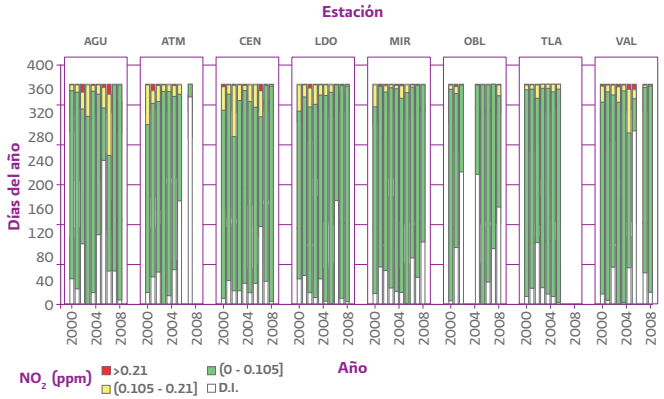
Límite horario (segundo máximo horario)

Se observa sobre el periodo de análisis que no hay una tendencia clara de este indicador; sin embargo, en 2008 y 2009 se cumplió con la norma en todas las estaciones de monitoreo. Llaman la atención los valores extremos de las estaciones Vallarta (VAL) y Tlaquepaque (TLA) en 2003 y 2004, respectivamente.



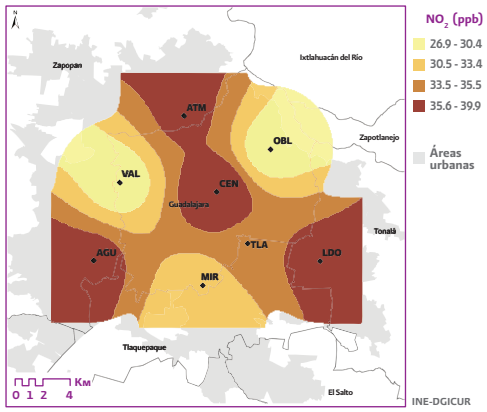
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Destaca la falta de medición y la insuficiencia de datos para generar el indicador en las estaciones Atemajac (ATM) y Tlaquepaque (TLA) en los últimos 2 y 3 años. Asimismo, en las estaciones Oblatos (OBL) y Miravalle (MIR) existe insuficiencia de datos para prácticamente la mitad de los días del último año. En las demás estaciones, Águilas (AGU), Centro (CEN), Loma Dorada (LDO) y Vallarta (VAL), también se observan días en blanco, pero predominan los días con un diagnóstico favorable.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

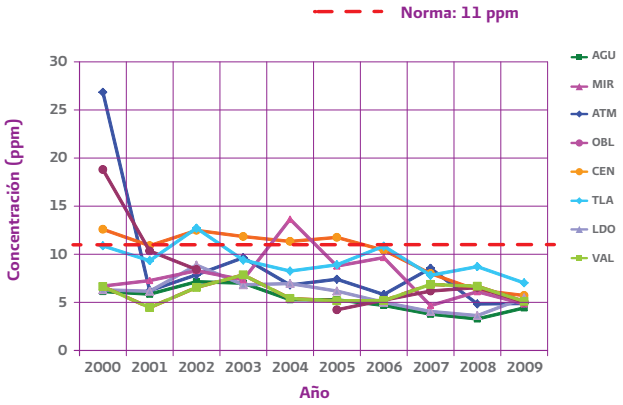
La distribución espacial del NO_2 muestra que las concentraciones más altas de este contaminante suelen registrarse en las inmediaciones de sitios con intensa actividad vehicular, como la registrada alrededor de zonas habitacionales cercanas a las estaciones Atemajac (ATM), Águilas (AGU) y Loma Dorada (LDO), o de áreas comerciales, como la estación Centro (CEN).



Indicadores del CO

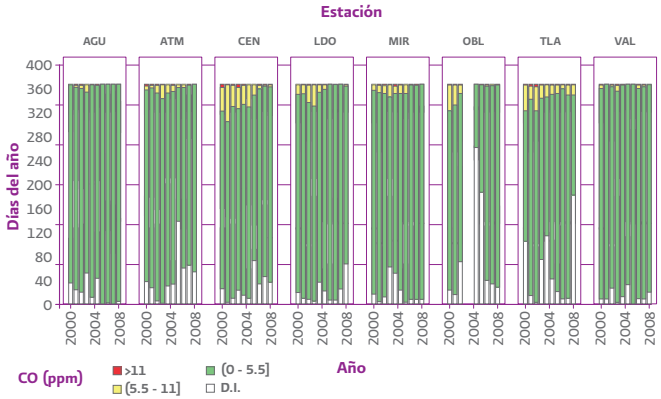
Límite horario (segundo máximo de los promedios móviles de 8 h)

Este contaminante representó un problema en la ZMG hasta antes de 2006; en este periodo destacan por sus valores cercanos al valor normado las estaciones Centro (CEN) y Tlaquepaque (TLA), pero posteriormente se ha cumplido la norma en todas las estaciones. Sin embargo, en los últimos tres años registrados los niveles se conservan prácticamente constantes.



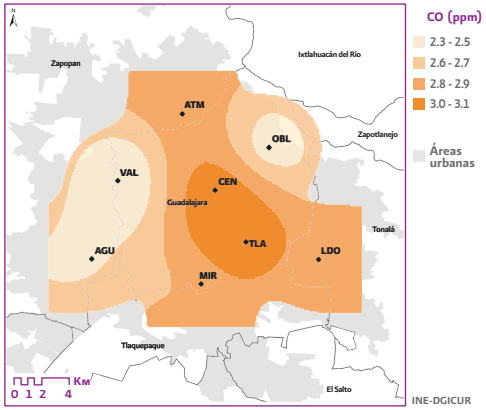
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En general, prácticamente todos los días de los últimos tres años se ha cumplido con la norma en todas las estaciones de monitoreo. Sin embargo, en 2009 la estación TLA no contó con información suficiente para dar un diagnóstico de la calidad del aire en aproximadamente la mitad de los días del año.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de las concentraciones diarias)

Las mayores concentraciones de este contaminante se observan en la zona centro de la zona metropolitana, Centro (CEN) y Tlaquepaque (TLA), la cual se caracteriza por ser un área comercial con intenso tráfico vehicular. Las concentraciones más bajas, por su parte, suelen ocurrir en las zonas habitacionales, como las localizadas en el entorno de las estaciones Águilas (AGU) y Vallarta (VAL) al oeste y Oblatos (OBL) al noreste.



4.

Área Metropolitana de Monterrey, N.L.

4.1 Información general

Municipios	Apodaca, Cadereyta Jiménez, Gral. Escobedo, García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, Santiago, Santa Catarina, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Salinas Victoria (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	1.7 millones de vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	415 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	6680 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	El AMM cuenta con una creciente infraestructura productiva en los sectores primario, secundario y terciario. El turismo se promueve como una novedosa y creciente fuente de ingresos (GENL, 2008a)
Altitud	500 msnm (GENL, 2008a)		
Población en 2010	4.09 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) cuenta con inventarios de emisiones de los años 1995 y 2005. Actualmente se está integrando el de 2008 y se planea seguir actualizando el inventario en los años subsecuentes con una periodicidad de tres años. En el del año 2005, destaca que cerca del 50% de las emisiones totales de NOx y COV en la región son generadas por las fuentes móviles, en tanto que las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) son generadas predominantemente por las fuentes de área. Casi todas las emisiones de SO_2 (98%) son producidas por el sector industrial, y las emisiones de CO (96%) por los vehículos (figura 4.1) (GENL, 2008a).

Figura 4.1 Inventario de emisiones del AMM (2005)

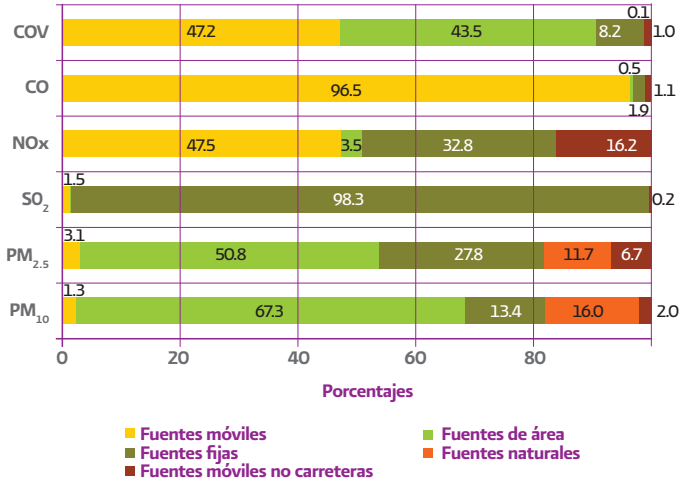
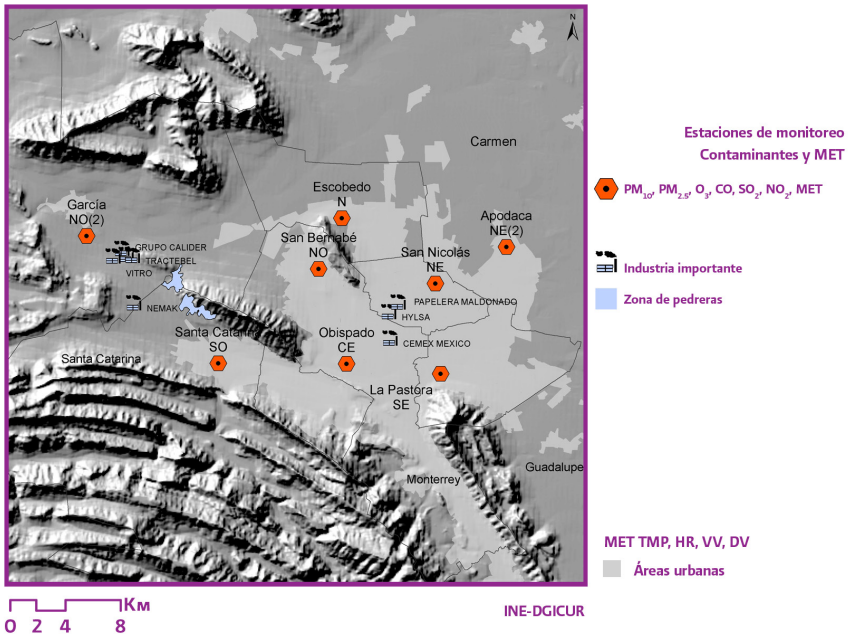


Figura 4.2 Estaciones del SIMA analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en el AMM se inició en 1992. La página http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones automáticas del sistema integral de monitoreo ambiental del AMM (SIMA) tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis de 2000 a 2009 fueron las cinco históricas, que se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 4.2. En cada estación se miden PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2, así como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y la dirección del viento, como se indica en la figura. También se indica la ubicación de las fuentes más importantes de emisiones de PM_{10} y SO_2, entre las que se encuentran industrias extractivas y algunas otras de los sectores metalúrgico, químico, automotriz, de cemento y cal, vidrio, de celulosa y papel, y de generación de energía eléctrica.

Cabe aclarar que las estaciones de monitoreo NO(2) (García) y N (Escobedo) se incorporaron al SIMA respectivamente en julio y diciembre de 2009, y la estación NE(2) se añadió en Apodaca en junio de 2011. Por tal motivo, si bien estas estaciones se ubican en el mapa, no se incluyen en el análisis de este apartado.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 4.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico del AMM. En él se puede apreciar que el desempeño global de la red fue bueno; sin embargo, aún hay áreas de oportunidad

que deben ser atendidas para lograr un mejor desempeño de la red e incrementar la confiabilidad de los datos en general, tales como la frecuencia de las auditorías y el porcentaje de analizadores de PM_{10} y NO_2 que cumplen con los criterios de las auditorías.

Cabe aclarar que solo se auditaron tres de las cinco estaciones de monitoreo consideradas para preparar este informe. De las tres estaciones que se auditaron, solamente el equipo de medición de NOx de Santa Catarina tuvo un error superior al 10%, por lo que se considera que requiere atención; las otros dos aprobaron la auditoría. En el caso de los equipos de medición de PM_{10}, durante la auditoría se encontró que dos equipos (correspondientes a las estaciones Santa Catarina y La Pastora) de los tres evaluados tenían variaciones de flujo mayores a las permisibles. Esto se debe a que los analizadores son de tecnología anterior y tienen un control de flujo manual. Si bien es conveniente que los equipos cuenten con un control electrónico automático de flujo, como el de los equipos nuevos, hacer este cambio es casi tan costoso como cambiar los equipos, que sería lo recomendable. A partir de este diagnóstico, se reemplazó el sistema de enfriamiento del fotodetector del equipo de medición de NOx de la estación Santa Catarina para corregir las fallas que presentó durante la auditoría. Asimismo, se cambiaron los rodamientos del control manual de flujo, se lubricó el sistema de toma de muestra de los equipos de medición de partículas de las estaciones Santa Catarina y La Pastora, y se modificaron los procedimientos de operación para que el personal del SIMA verifique al menos una vez a la semana el funcionamiento de los controladores de flujo, para asegurar que el flujo sea el correcto y se encuentre entre los límites aceptables. Estas acciones contribuirán a mejorar la operación de las estaciones y, por ende, la calificación del desempeño de los analizadores en el futuro.

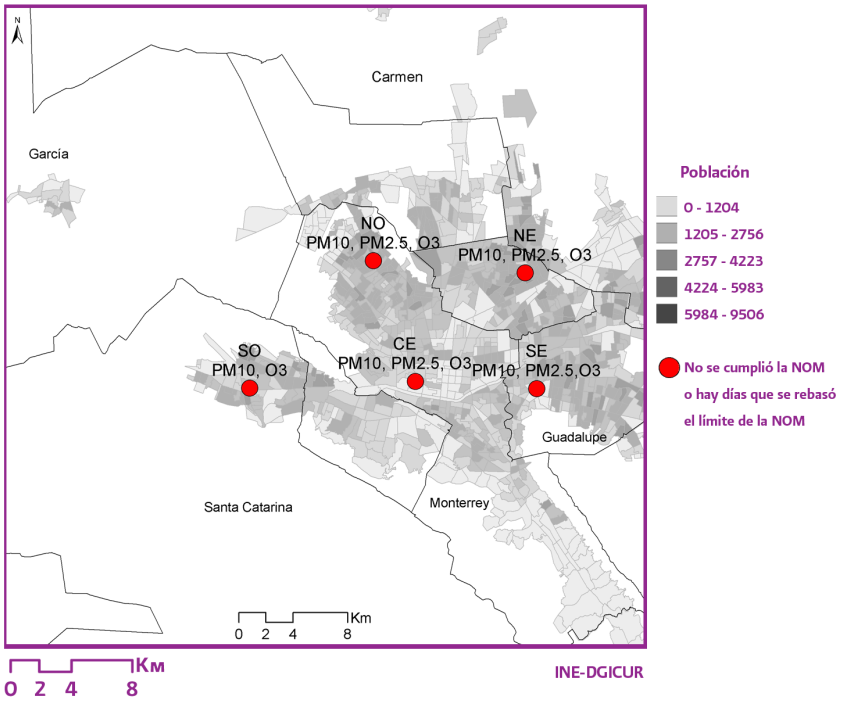
El SIMA además reporta que actualmente se tienen en operación ocho estaciones de monitoreo fijas y se ha dado mantenimiento a los equipos buscando mejorar la confiabilidad de los

Cuadro 4.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico del AMM (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2010)	PM_{10}				■	
	$PM_{2.5}$	■				
	O_3 [a]					
	CO	■				
	NOx			■		
	SO_2	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[c]	PM_{10}	■				
	$PM_{2.5}$			■		
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2		■			
	SO_2		■			
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a No fue posible llevar a cabo las auditoras a los analizadores de ozono.
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
c El porcentaje de datos validados se calculó sin considerar las estaciones de monitoreo que empezaron a medir en 2009.

Figura 4.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



datos validados, en los cuales la calificación es muy buena en PM_{10}, O_3 y CO, y buena en NO_2 y SO_2. En el caso de las $PM_{2.5}$ se instalaron recientemente trazas de calentamiento para eliminar la condensación de la humedad, evitar interferencia y mejorar la calidad de los datos. Con estas acciones mejorará la calificación del desempeño del porcentaje de datos validados para estos contaminantes.

4.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en el AMM

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en el AMM se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 4.3 muestra las estaciones de monitoreo históricas y los contaminantes que representaron el principal problema para la calidad del aire en cada una de ellas durante 2009. En la figura también se aprecia que las estaciones situadas al norte del AMM, como NO y NE, tienen a su alrededor zonas de mayor densidad poblacional que las estaciones CE (Obispado), SE (La Pastora) y SO (Santa Catarina). Las cinco estaciones consideradas en este análisis cubren alrededor del 38% de la población metropolitana (ver anexo VII).

Como complemento, el cuadro 4.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda el área metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor normado. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 4.2 Diagnóstico de la calidad del aire en el AMM[a]. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[b] para el AMM	
PM_{10}	24 horas	-	CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	85
	Anual		CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	
$PM_{2.5}$	24 horas	CE, NE, NO y SO	-	D.I.	8[c]
	Anual		SE	D.I.	
O_3	1 hora	-	CE, NE, NO, SE y SO	No se cumplió	12
	Anual	-	NO, SE y SO	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM del indicador para el AMM por falta de datos.
a No se consideraron para la evaluación del cumplimiento de las normas las estaciones que empezaron a medir en 2009 [NO(2) y N].
b La evaluación del cumplimiento del área metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
c A pesar de que no es posible evaluar la NOM, se registraron días con suficiente información para hacer el cálculo del dato base diario, y en 8 de ellos se rebasó el límite de 24 horas.

Es claro que las PM_{10} y el O_3 requieren de atención inmediata, pues en la mayoría de las estaciones de monitoreo no se ha logrado dar cumplimiento a sus respectivas normas al menos en los últimos 6 años en el caso de las PM_{10}, y en los últimos 10 años en el caso del O_3. En cuanto a las $PM_{2.5}$, destaca que prácticamente en ninguna de las estaciones de monitoreo se cuenta con información suficiente, de acuerdo con los criterios definidos en la misma norma de la calidad del aire para evaluar el cumplimiento de este contaminante, desde el año 2003; sin embargo, sí se presentan días por arriba del límite de 24 horas, como se verá en la siguiente sección. Como se mencionó antes, se espera que al instalar las trazas de calentamiento se cumpla con el criterio de suficiencia de información de las $PM_{2.5}$ para las estaciones CE, NE, NO y SO.

Por otra parte, las normas de la calidad del aire para el CO, el NO_2 y el SO_2 (de 24 horas y anual) se cumplen en todas las estaciones de monitoreo. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

4.3 Indicadores de la calidad del aire del AMM

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Para el cálculo se utilizó la información de las cinco estaciones históricas de la red. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero son superiores a la mitad de este límite (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

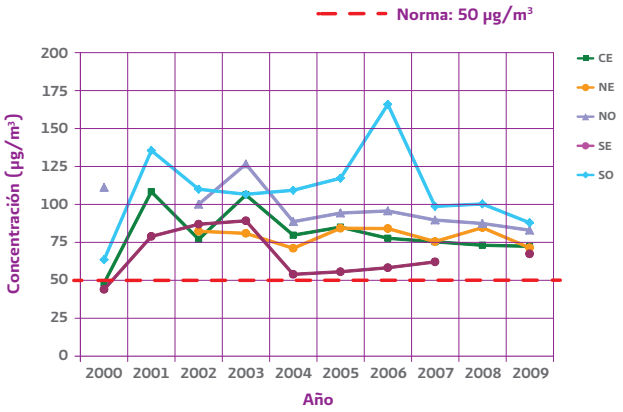
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, SO_2 y CO.

Desde 1993 el SIMA utiliza un código de colores con el objeto de comunicar a la población de manera inmediata la calidad del aire en un momento determinado. En la página del SIMA (http://www.nl.gob.mx/?P=sima_metropolitano) se encuentra la información detallada sobre dicho código y su uso.

Indicadores de las PM_{10}

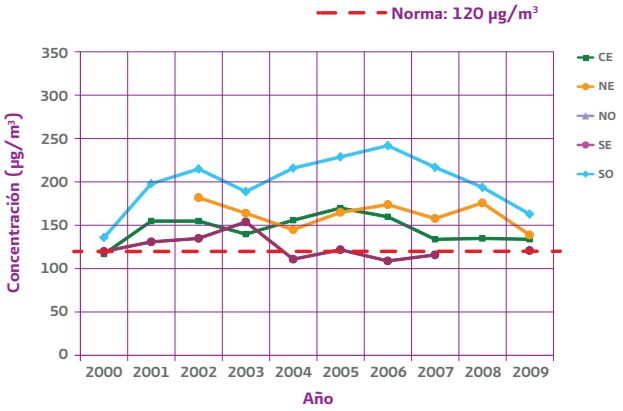
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

En la mayoría de los años y estaciones de monitoreo el promedio anual de PM_{10} ha sido notablemente superior al valor de la norma, llegando a alcanzar valores equivalentes al doble de éste. En el periodo de estudio la norma solo se cumplió en el año 2000 en la estaciones CE (Obispado) y SE (La Pastora).



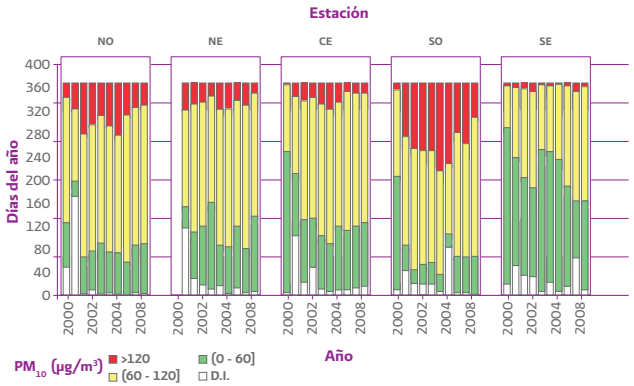
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En la mayoría de las estaciones que cuentan con mediciones, como CE (Obispado), NE (San Nicolás), NO (San Bernabé) y SO (Santa Catarina), la norma diaria de las PM_{10} es rebasada de manera consistente. Esto es particularmente notorio en la estación SO, donde además se registran los valores de concentración más altos de toda el AMM. La única estación de monitoreo donde se ha logrado cumplir, de manera esporádica, la norma diaria de las PM_{10} es la SE (La Pastora).



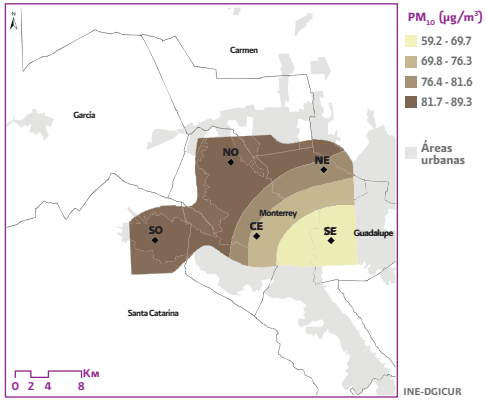
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En todas las estaciones se registraron días con concentraciones diarias superiores al valor de la norma (en rojo), particularmente en las estaciones NO (San Bernabé) y SO (Santa Catarina). A pesar de ello, a partir de 2006 se observa una ligera reducción del número de días con estas concentraciones en la mayoría de las estaciones de monitoreo. Sin embargo, hay un número significativo de días en color amarillo, lo que sugiere la posibilidad de que en el futuro se presente una mayor cantidad de días con concentraciones superiores a la establecida en la norma si no se instrumentan las medidas necesarias para su control.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

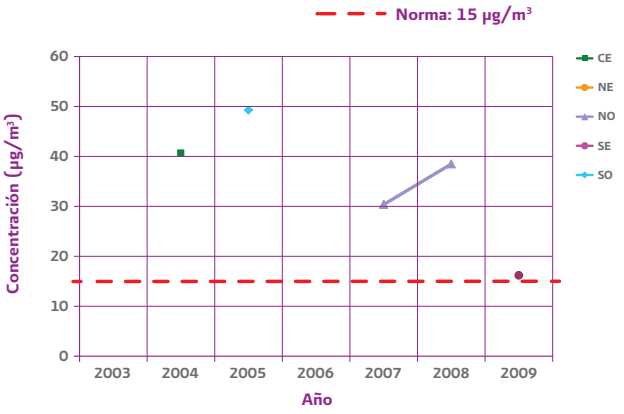
Se observa que las concentraciones más altas se registran al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. La estación SO (Santa Catarina) está dentro de una zona con alta actividad industrial y de desarrollo urbano (GENL, 2008b).



Indicadores de las $PM_{2.5}$

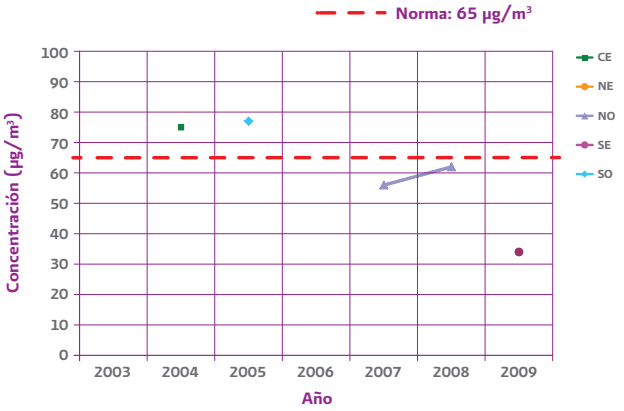
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

La información disponible es escasa y dispersa, por lo que no fue posible distinguir una tendencia en las concentraciones de este contaminante. Sin embargo, los pocos datos útiles existentes revelan que éstos siempre han sido superiores al valor de la norma. Cabe mencionar que la única estación que cumple con información suficiente en 2009 es la SE ya que cuenta con una traza de calentamiento para evitar condensación. El SIMA reporta que recientemente se instalaron trazas de calentamiento en el resto de las estaciones, por lo que se espera que se estabilice la medición de concentraciones de $PM_{2.5}$ y se cumpla con la suficiencia de datos en cada estación en los siguientes años.



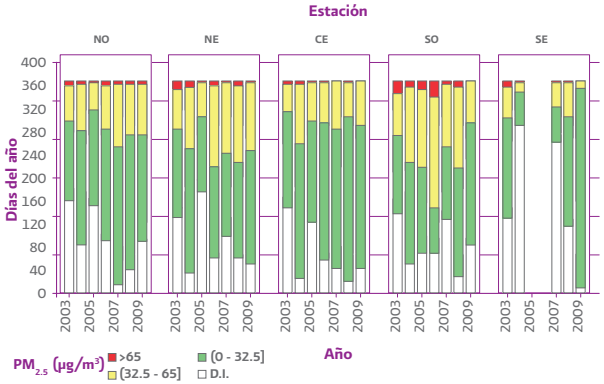
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En este caso tampoco fue posible distinguir una tendencia en las concentraciones de este contaminante. No obstante, los pocos valores existentes entre 2004 y 2005 muestran que se ha rebasado la norma en CE y SO, respectivamente, a diferencia de los valores más recientes de 2007 a 2009, que se han mantenido por debajo del valor de la norma en las estaciones NO y SE.



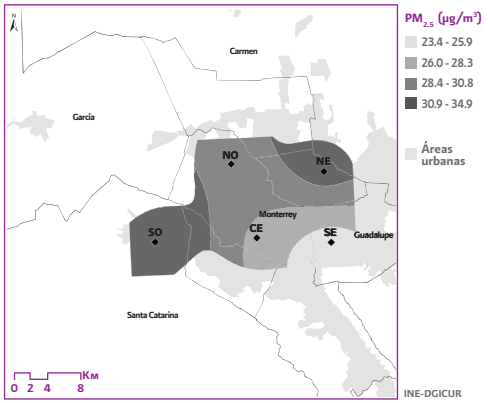
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En todas las estaciones hay datos faltantes, pero los registros con los que se cuenta muestran que la estación SO es la que históricamente ha presentado la mayor cantidad de días en rojo.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

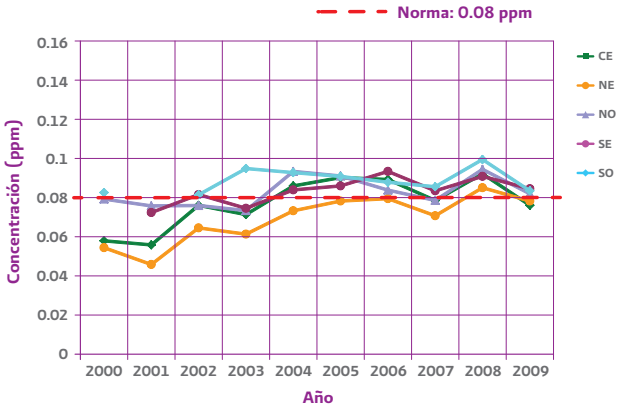
Las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. Sin embargo, llaman la atención los valores altos registrados en los alrededores de NE. Como en el caso de las PM_{10}, los valores altos en los alrededores de SO (Santa Catarina) probablemente estén relacionados con la actividad industrial intensa en la zona.



Indicadores del O_3

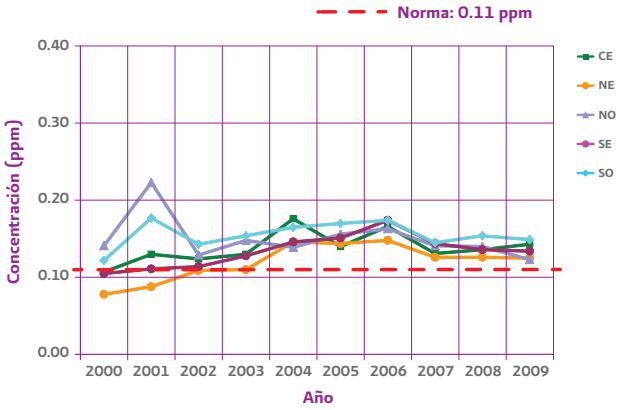
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Se puede apreciar un comportamiento diferenciado en el que las estaciones SE (La Pastora), SO (Santa Catarina) y NO (San Bernabé) presentan los mayores problemas de incumplimiento. La estación NE (San Nicolás) es donde se registran las concentraciones más bajas en todo el periodo, y solo en el año 2008 se rebasó la norma anual del ozono. Se observa una ligera tendencia ascendente en el indicador, sobre todo en la estación NE.



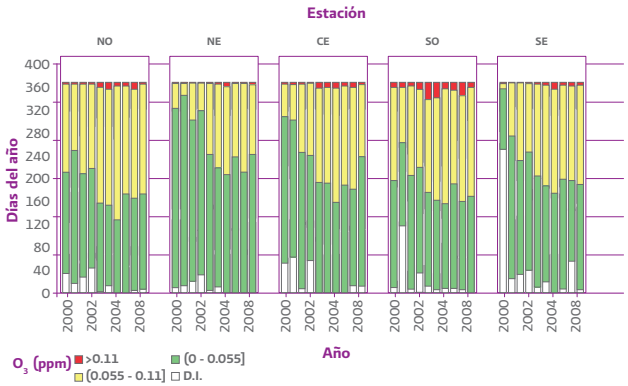
Límite horario (máximo horario)

La norma horaria del ozono tampoco se ha logrado cumplir desde el año 2004. Destaca, sin embargo, una ligera disminución en los máximos horarios registrados, en todas las estaciones de monitoreo, desde 2007.



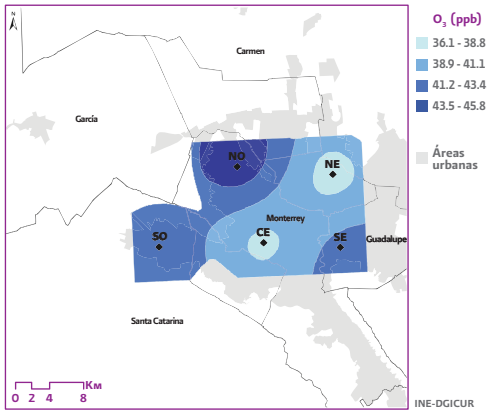
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

En todas las estaciones en los últimos 6 años se han presentado registros con concentraciones superiores a la norma (en rojo), aunque el problema es más severo en la estación SO (Santa Catarina), seguido de las estaciones NO (San Bernabé) y CE (Obispado). Desde 2003 se observa un aumento en el número de días en color amarillo en la mayoría de las estaciones de monitoreo, lo que advierte sobre la posibilidad de que los problemas con la calidad del aire debidos al ozono se intensifiquen en el futuro si no se instrumentan las medidas necesarias para su control.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

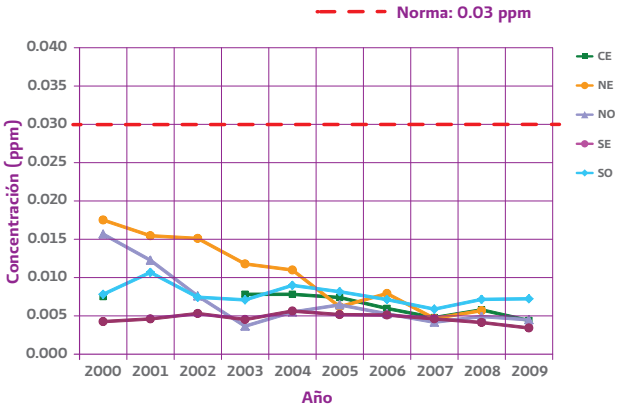
Las concentraciones más altas se registran en la zona noroeste, que se encuentra viento abajo con respecto a la mayoría de las fuentes industriales y del tráfico vehicular de la zona metropolitana (GENL, 2008). Otro factor a considerar es la topografía, pues al poniente de la ciudad se ubica la Sierra Madre Oriental, que puede estar actuando como una barrera física que promueve la acumulación de los contaminantes en esa zona.



Indicadores del SO_2

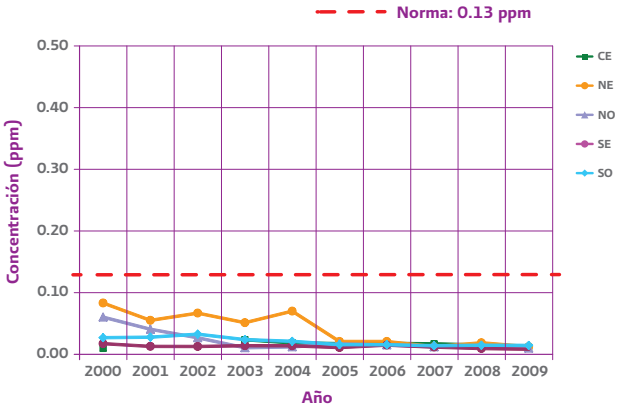
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

El promedio anual de SO_2 también se ha mantenido notoriamente por debajo del valor de la norma en todos los años analizados y en todas las estaciones de monitoreo.



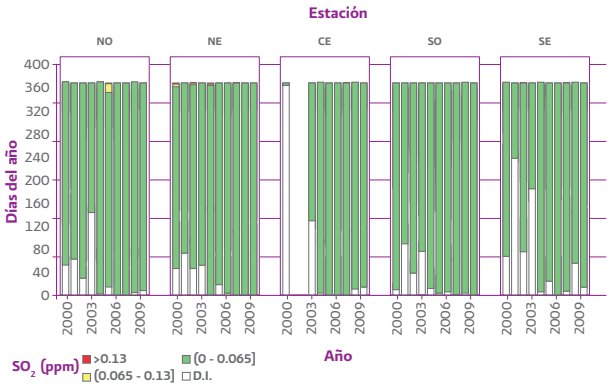
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Este contaminante está lejos de representar un problema para la calidad del aire en el AMM, pues sus registros promedio de 24 horas se han mantenido, en todas las estaciones de monitoreo, por debajo del valor de la norma, especialmente desde el año 2005. Sin embargo, al reaccionar en la atmósfera, el SO_2 puede formar sulfato de amonio, el cual es un componente importante de las $PM_{2.5}$. Por lo tanto, el control de las emisiones de azufre puede ser una buena estrategia para reducir la concentración de $PM_{2.5}$ en el AMM.



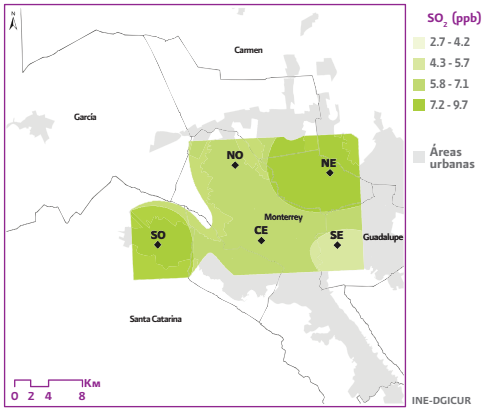
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

El SO_2 parece no ser un problema para la calidad del aire en el AMM, pues el valor de la norma nunca ha sido rebasado, y en la mayoría de los días se han registrado concentraciones muy bajas (inferiores a la mitad del valor de la norma).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

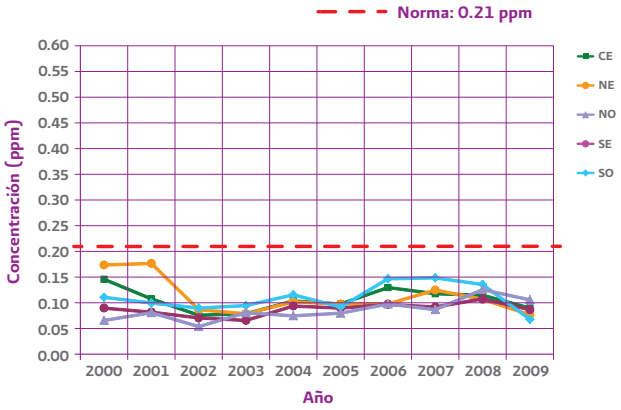
El bióxido de azufre, por su parte, registra las mayores concentraciones en la zona noreste, y ello probablemente se deba a las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles con alto contenido de azufre de las instalaciones industriales ubicadas en la zona (GENL, 2008a).



Indicadores del NO_2

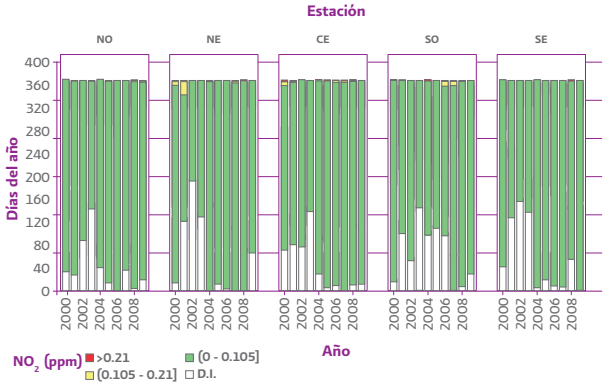
Límite horario (segundo máximo horario)

Lo que se aprecia con claridad en la figura que ilustra el comportamiento del segundo máximo del NO_2 en el AMM es que este contaminante no representa, por el momento, ningún problema para la calidad del aire en la región. En todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo de análisis los registros se han mantenido por debajo del valor de la norma, y los valores más bajos se presentaron en el año 2009. Sin embargo, el NO_2 es un precursor del nitrato de amonio, que es un componente de las $PM_{2.5}$ y del O_3, por lo que es importante controlar las emisiones de NOx en la región.



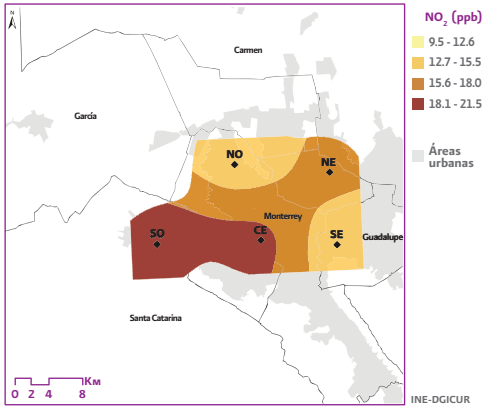
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Se puede observar que el valor de la norma de la calidad del aire para este contaminante nunca ha sido rebasado en ninguna de las estaciones de monitoreo del AMM, y que por el momento este contaminante no representa un problema para la calidad del aire, pues un porcentaje significativo de los días de cada año presentan concentraciones iguales o inferiores a la mitad del valor normado (en verde).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de los máximos diarios)

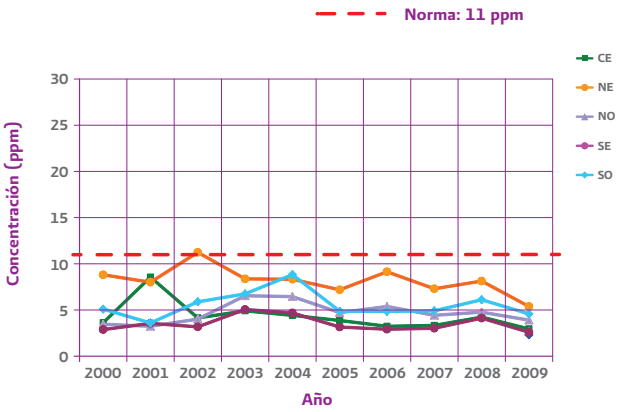
Al igual que para el resto de los contaminantes, se observa que las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe. Este comportamiento podría estar asociado con una alta actividad vehicular en esta zona.



Indicadores del CO

Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire del CO solo ha sido rebasada en el año 2002. La estación de monitoreo que presentó este registro superior a la norma fue NE. De 2003 a 2009 el indicador se ha mantenido por debajo del valor de la norma, y alcanzó los registros más bajos, en todas las estaciones de monitoreo, en 2009.



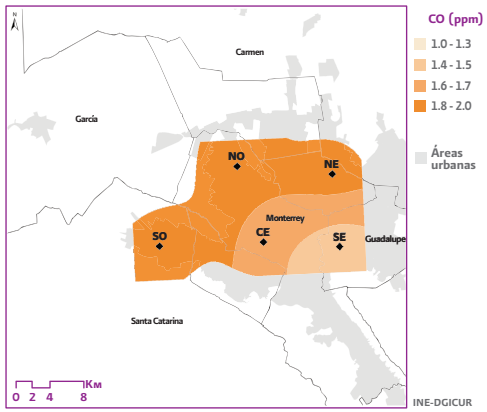
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aunque la mayor parte de los valores de este indicador, en todas las estaciones de monitoreo, son inferiores a 5.5 ppm (en verde), es posible que se repitan los episodios de altas concentraciones de este contaminante en las estaciones NE y SO, tal como ocurrió en la primera de estas estaciones en los años 2002 y 2006, cuando se registraron concentraciones superiores a lo establecido en la norma correspondiente.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas suelen registrarse al suroeste del área metropolitana, en Santa Catarina, y las concentraciones más bajas en el sureste, municipio de Guadalupe.

Otro factor a considerar es la topografía, pues al poniente de la ciudad se ubica la Sierra Madre Oriental, que puede estar actuando como una barrera física que promueve la acumulación de los contaminantes en esa zona.



5.

Zona Metropolitana del Valle de Toluca, edo. de Méx.

5.1 Información general

Municipios	Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Flota vehicular en 2009**	430 mil vehículos (INEGI, 2010a)
		Índice de motorización	233 vehículos por cada mil habitantes
Superficie	2038 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Actividad económica dominante**	La ZMVT ha presentado una transformación en sus actividades económicas: pasó de ser una economía rural a una industrial y de servicios, y cuenta con importantes parques industriales (GEM, 2007a)
Altitud	2660 msnm (GEM, 2007a)		
Población en 2010	1.85 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2004, resalta que los vehículos automotores aportan un gran porcentaje de las emisiones de COV, NOx y CO, y que contribuyen significativamente a las emisiones de SO_2 y $PM_{2.5}$, de manera similar a otras grandes zonas metropolitanas. Por otra parte, los suelos desprovistos de vegetación son la principal fuente de emisión de PM_{10}, y las fuentes de área son las que aportan más a las emisiones de NH_3 (GEM, 2007b).

Figura 5.1 Inventario de emisiones de la ZMVT (2004)

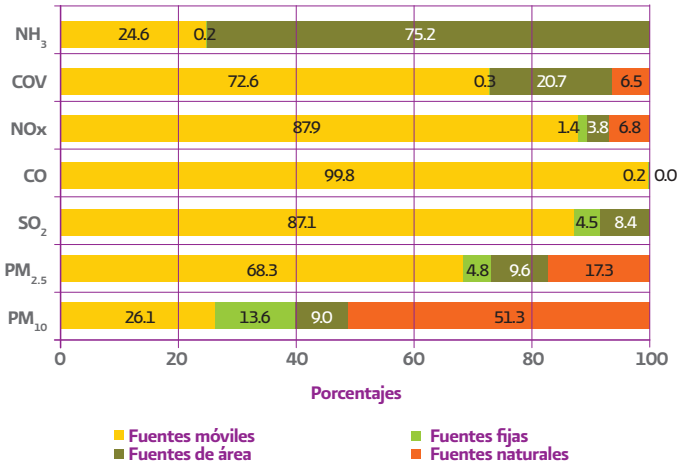
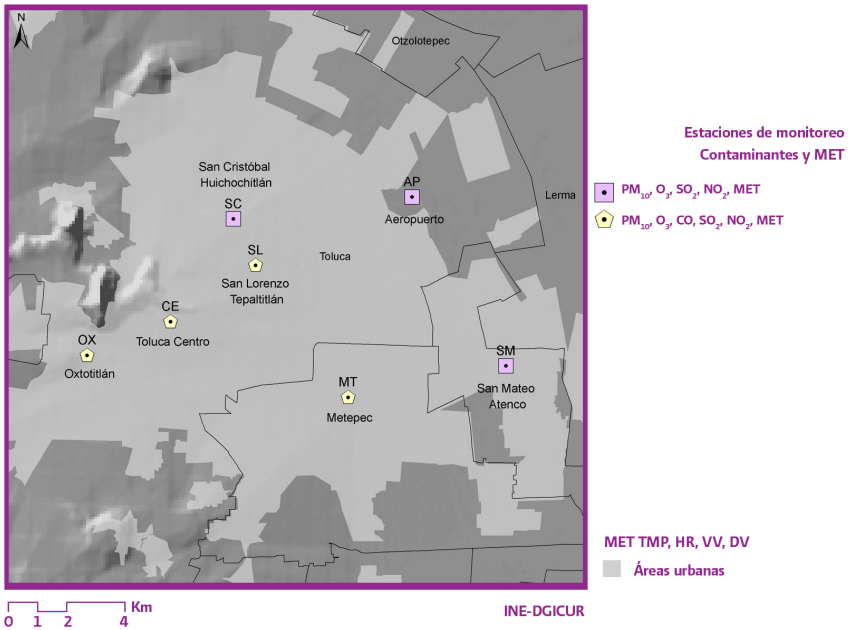


Figura 5.2 Estaciones de la RAMA-ZMVT analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVT entró en operación en 1994. La página http://sinaica.ine.gob.mx/rama_zmvt.html contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ZMVT (RAMA-ZMVT) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-ZMVT tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son siete, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 5.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 5.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMVT. De acuerdo con la información disponible se observa que, en general, la red de monitoreo tiene un desempeño mínimo aceptable, por lo que es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes para mejorar su desempeño general; por ejemplo, en lo que respecta a la frecuencia de las auditorías (la última se realizó en 2002), y por ende en el número de equipos de medición que las pasan, para incrementar la confiabilidad de la información que generan. Asimismo, es necesario identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperación de datos (o datos validados) para todos los contaminantes.

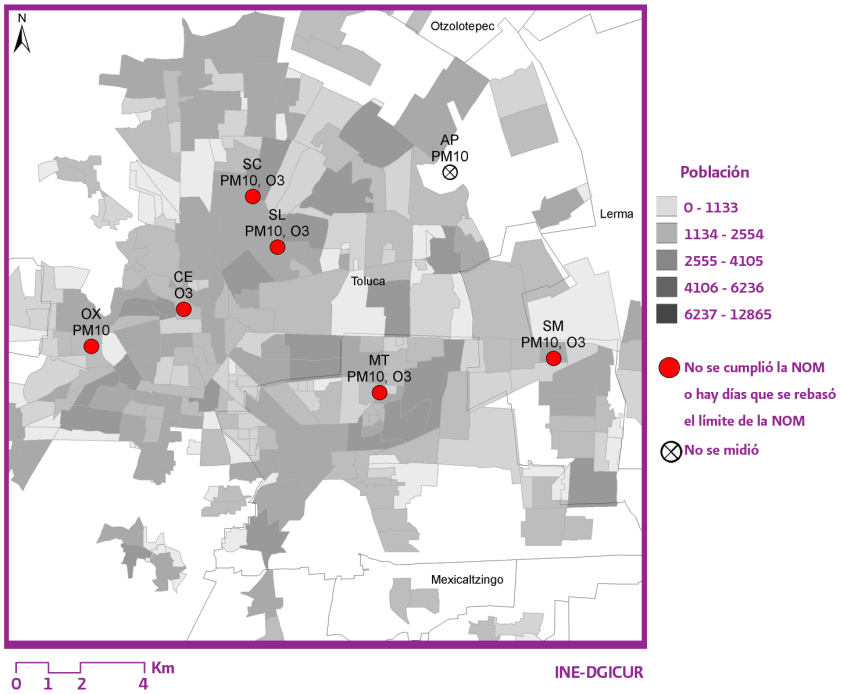
Con respecto a este parámetro, cabe destacar que solo se reportaron mediciones hasta el primer semestre de 2008 de los contaminantes O_3, CO, NO_2 y SO_2, lo que afectó considerablemente el porcentaje de datos validados en el periodo de análisis. En general, la atención de estos problemas es fundamental para incrementar tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 5.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZMVT (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías[a]				■		Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente[b] (2009)	PM_{10}				■	
	O_3				■	
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[c] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}			■		
	O_3			■		
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos			■			
Difusión de la información		■				

Notas:
a La última auditoría externa se llevó a cabo en 2002.
b Debido al año en que se realizó la última auditoría, no se consideraron vigentes los resultados que se obtuvieron en ésta para usarlos en la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico.
c Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 5.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 o 2009 y distribución de la población



5.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZMVT

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZMVT se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 5.3 muestra las estaciones que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2008 o 2009, indicando el o los contaminantes involucrados. En la misma figura también se indica, a través de un circulo con una equis, que la estación Aeropuerto (AP) no midió ningún contaminante en dichos años. Asimismo, en la figura se presenta la distribución de la población en la zona; la población cubierta por las mediciones de PM_{10} equivale a un 41%.

Como complemento, el cuadro 5.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible de los dos años más recientes, e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

En este caso, el año más reciente con información disponible es 2008 para O_3, CO, NO_2 y SO_2 (solo del primer semestre), debido a que no se reportaron mediciones de la RAMA-ZMVT en 2009. Durante 2009 únicamente se cuenta con información de PM_{10}.

Cuadro 5.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZMVT. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008-2009

Año	Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
			Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZMVT	
2009	PM_{10}	24 horas	AP, CE y SM	OX, SC	No se cumplió	154
		Anual		OX, SC y SL	No se cumplió	
2008	O_3	1 hora	-	CE, MT, SC y SL	No se cumplió	4[b]
		Anual	CE, MT, SC y SL	-	D.I.	
2008	CO[c]	8 horas	-	-	Se cumplió	0
2008	NO_2[c]	1 hora	-	-	Se cumplió	0
2008	SO_2[c]	24 horas	-	-	Se cumplió	0
		Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la ZMVT por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El número de días en los que se rebasa la norma horaria de O_3 se encuentra subestimado debido a que solo se reportaron mediciones el primer semestre del año.
c Los indicadores de CO, NO_2 y SO_2 se calcularon con la información que se reportó del primer semestre del año, por los que los resultados podrían estar subestimados.

Del análisis de los últimos años, se observa que las PM_{10} y el O_3 siguen siendo los problemas a resolver, ya que tanto la norma diaria como la anual se incumplen en el último año con información disponible. Por otro lado, el CO, el NO_2 y el SO_2 no representan un problema para la calidad del aire en el valle de Toluca. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

5.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZMVT

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas en cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

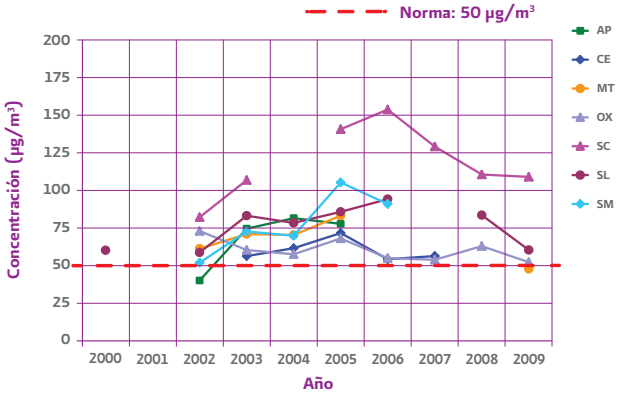
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009 para PM_{10} y 2000-2008 para el resto de los contaminantes: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

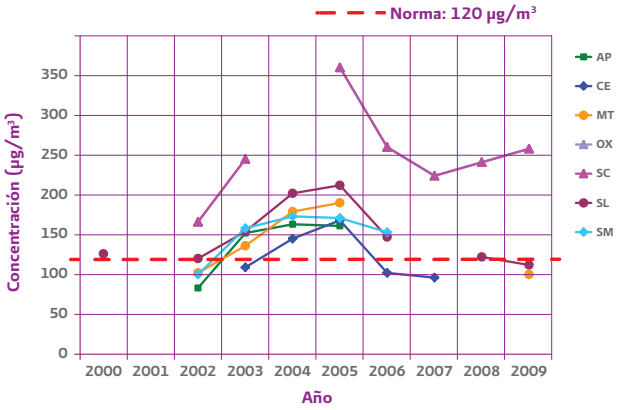
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

En las estaciones de monitoreo donde pudo calcularse el indicador, la norma no se cumplió salvo en Aeropuerto (AP) en 2002 y en Metepec (MT) en 2009. La figura muestra que la estación Oxtotitlán (OX) registra las concentraciones más bajas, que se aproximan al valor de la norma. En el resto de las estaciones las concentraciones promedio anuales son muy superiores al valor normado, particularmente en San Cristóbal (SC), donde las concentraciones registradas han llegado a ser equivalentes al doble y en ocasiones al triple de dicho valor.



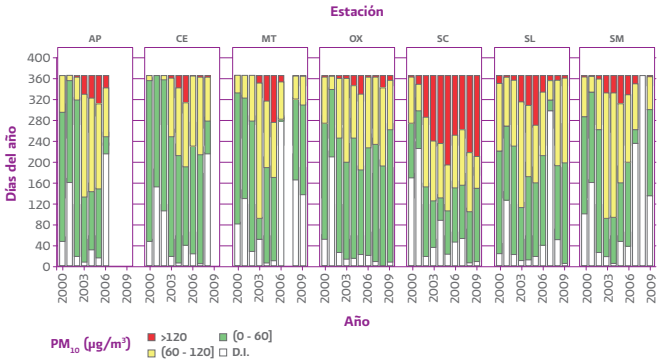
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

De la gráfica destaca que el cumplimiento del límite se ha logrado solo de manera muy esporádica, pues en todas las estaciones se ha dado incumplimiento en la mayoría de los años en los que fue posible calcular el indicador. En San Cristóbal (SC) se registran las concentraciones más elevadas.



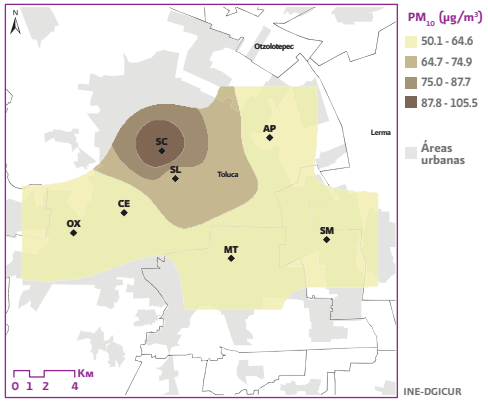
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Las estaciones SC y OX registran la mayor cantidad de días con datos validados, y en ellas es posible observar una cantidad importante de días en rojo, especialmente en SC donde, además, han ido en aumento. Si bien en el resto de las estaciones se ha presentado una gran cantidad de días con concentraciones superiores a la norma, no es posible reconocer una tendencia con respecto a este contaminante, por el gran porcentaje de días sin información suficiente.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 horas)

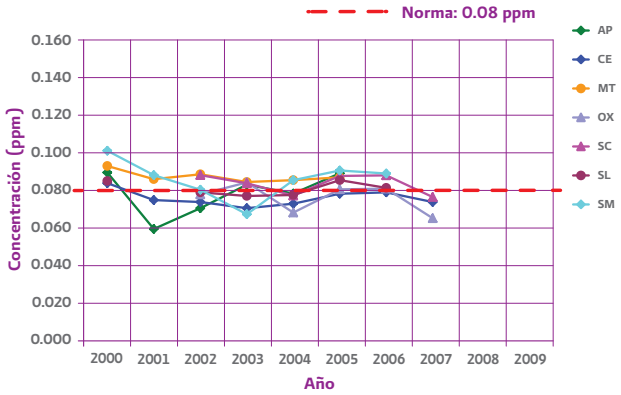
Las concentraciones más elevadas de este contaminante se ubican en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo San Cristóbal (SC), con una disminución paulatina hacia el sur. La estación SC se localiza en un área semirrural cuyas avenidas son de terracería y presentan un flujo vehicular medio donde domina el transporte público y de carga. Según el inventario de emisiones más reciente, las principales fuentes emisoras de PM_{10} en Toluca son las fuentes erosivas, las áreas agrícolas y los caminos no pavimentados.



Indicadores del O_3

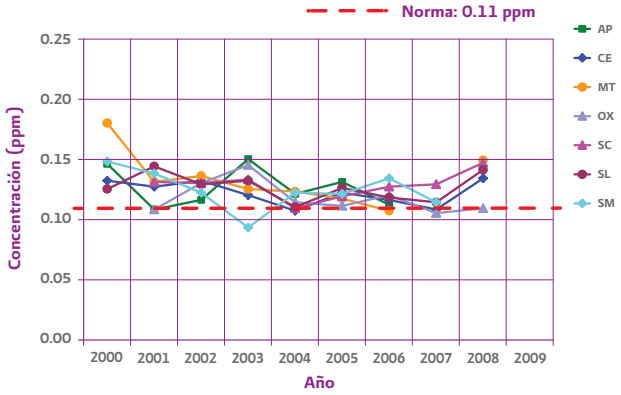
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

No fue posible calcular, por falta de información, el indicador en ninguna de las estaciones de monitoreo desde 2007. En los años anteriores, solo en Toluca-Centro (CE) se ha logrado dar cumplimiento a la norma a partir de 2001, aunque no se distingue una tendencia clara. En el resto de las estaciones, aunque la norma se incumple con frecuencia, se observa que las concentraciones son muy cercanas al valor de la norma, y en 2007 ésta se cumple en las tres estaciones en las que se dispuso de información.



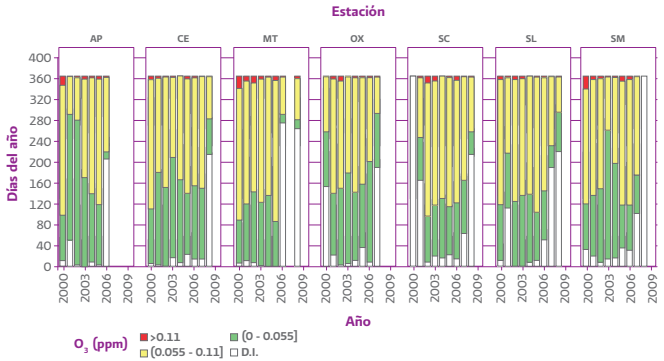
Límite horario (máximo horario)

El límite de la norma solo se ha cumplido uno o dos años en cada una de las estaciones. Aunque las concentraciones más altas suelen registrarse en la estación Metepec (MT), el comportamiento general en todas las estaciones de monitoreo revela que aún se requiere de un gran esfuerzo para conseguir el cumplimiento de esta norma en el valle de Toluca.



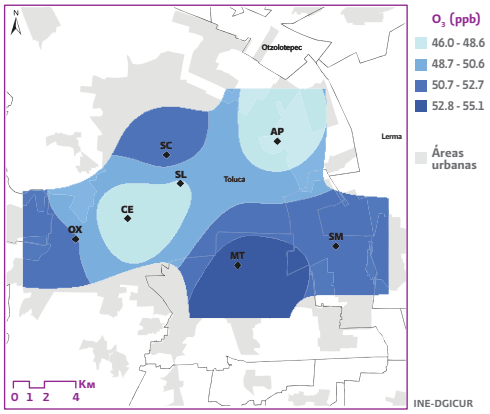
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Es notoria la falta de información en los últimos 4 años en todas las estaciones. Sin embargo, si se consideran los años en los que se observan más mediciones, se confirma el problema con este contaminante en todas las estaciones por la proporción de días en rojo y amarillo en todo el periodo analizado.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

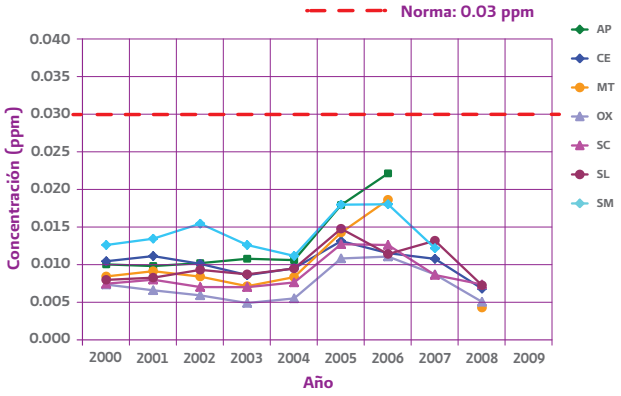
Los valores más altos se presentan al sur de la ciudad, en las inmediaciones de la estación Metepec (MT), disminuyen gradualmente hacia el centro y se incrementan al norte en la vecindad de las estaciones San Cristóbal Huichochitlán (SC) y Oxtotitlán (OX). Las concentraciones más bajas de ozono se localizan cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Aeropuerto (AP).



Indicadores del SO_2

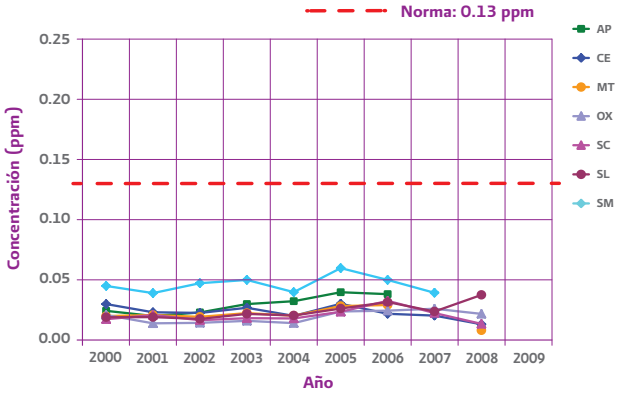
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma se cumplió de 2000 a 2008 en todas las estaciones de monitoreo, a pesar del incremento experimentado en las concentraciones entre 2004 y 2006. Aunque dicho incremento fue notable, no impidió el cumplimiento de la norma. Después de 2006 nuevamente hubo un declive en las concentraciones promedio anuales.



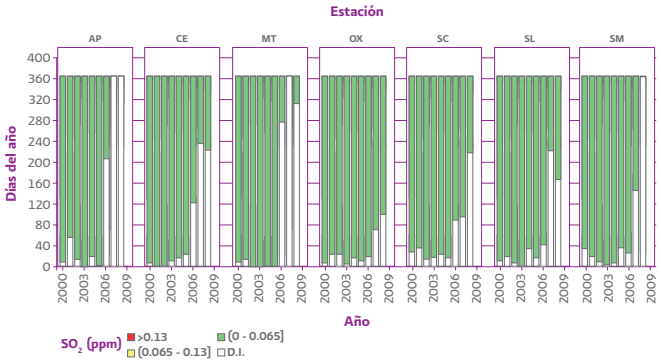
Límite 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Esta norma se ha cumplido en todo el periodo tanto a nivel de estación de monitoreo como de zona metropolitana. Las concentraciones registradas son aproximadamente del 70% al 75% menores respecto al valor de la norma.



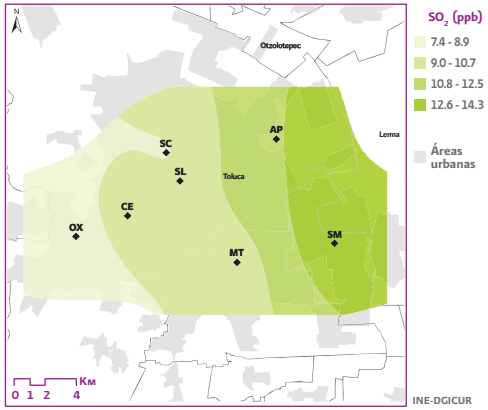
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

También en esta gráfica se puede apreciar la irregularidad del monitoreo en los últimos 3 años. Sin embargo, durante los años con suficiente información, todos los días se muestran en color verde, lo que representa concentraciones inferiores a la mitad del valor de la norma.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

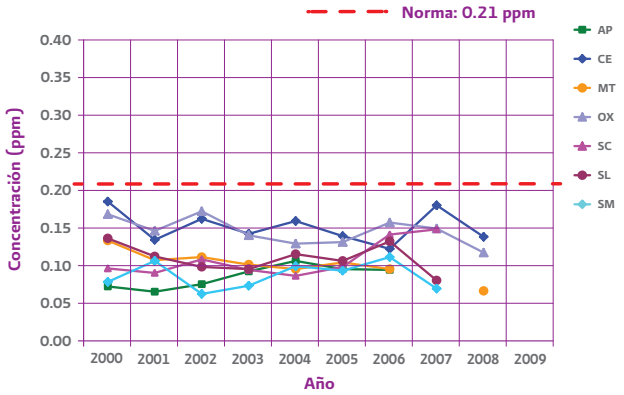
La distribución espacial del SO_2 es totalmente contraria a la mostrada por el CO y el NO_2. En este caso las concentraciones más elevadas se registran en la zona este, en los alrededores de la estación San Mateo (SM), y disminuyen a medida que se avanza hacia el oeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación Oxtotitlán (OX).



Indicadores del NO_2

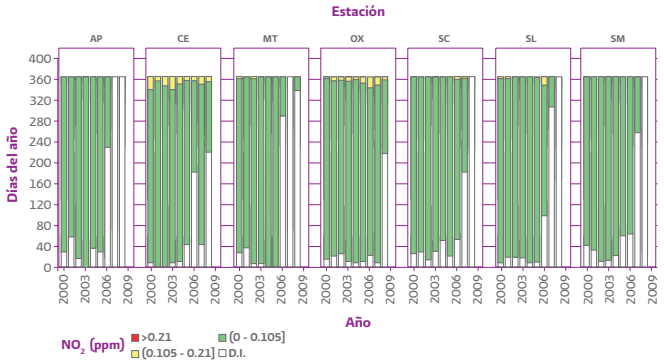
Límite horario (segundo máximo horario)

El límite de la norma se cumplió en todo el periodo en todas las estaciones. Las concentraciones más altas suelen registrase en las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX), y aunque en algunos años se aproximan a la norma, se han mantenido por debajo. En el resto de las estaciones las concentraciones suelen ser más bajas, hasta ser equivalentes en algunos casos a la mitad del valor normado.



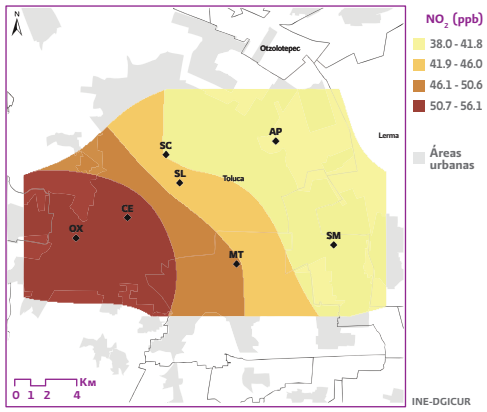
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En este caso también se registraron irregularidades en el monitoreo desde 2007, y se suspendió el monitoreo en 2009. En todo el periodo solo se registraron cuatro días con concentraciones superiores a la norma; tres de éstas se registraron en la estación Toluca-Centro en los años 2000, 2002 y 2004, y una en Metepec (MT) durante el año 2000. A partir de 2005, aunque existen algunos días en color amarillo, la mayor parte de los días caen en el color verde, pero es difícil determinar la tendencia, por la falta de información.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

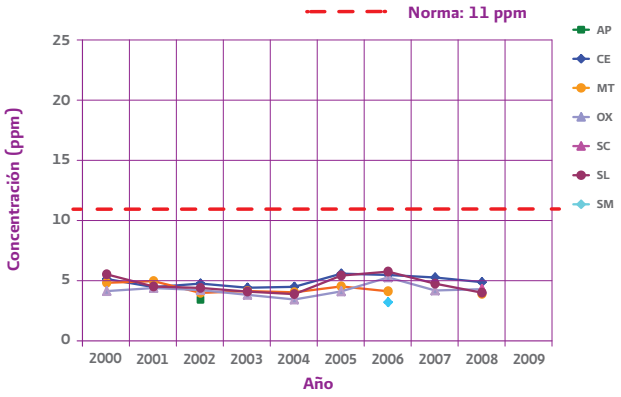
Las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona centro, especialmente cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX). A partir de estos puntos se observa una disminución paulatina de las concentraciones de ambos contaminantes a medida que se avanza hacia el este. Al igual que en el caso del CO, las altas concentraciones en CE y OX pueden estar relacionadas con una actividad vehicular intensa dada la ubicación de servicios administrativos a nivel estatal y regional en esta región (poniente).



Indicadores del CO

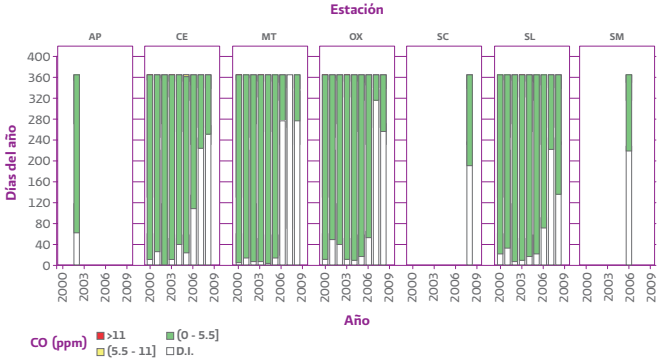
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

En todas las estaciones de monitoreo este indicador se ha mantenido por debajo del valor que exige la norma, incluso a la mitad, en todos los años analizados.



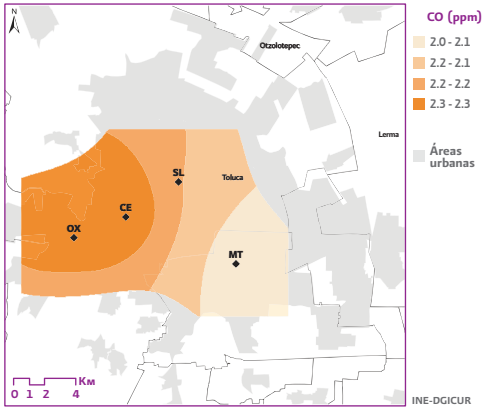
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Destaca la irregularidad del monitoreo en todas las estaciones en los últimos años, que se ve reflejada en la insuficiencia de datos para generar el indicador. En particular, en las estaciones Aeropuerto (AP), San Cristóbal Huichochitlán (SC) y San mateo Atenco (SM) solo se cuenta con información de un año, y con un alto porcentaje de días sin información. Sin embargo, si se considera la información recopilada de 2000 a 2006 (cuando se contó con datos suficientes), parece que este contaminante no representa un problema para la calidad del aire en la ZMVT.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona centro, especialmente cerca de las estaciones Toluca-Centro (CE) y Oxtotitlán (OX). En los alrededores de la estación CE se desarrolla la actividad más intensa de toda la región, pues allí se ubican importantes tiendas comerciales y se llevan a cabo muchos de los servicios administrativos a nivel estatal y regional, por lo que se registra un intenso tráfico vehicular durante todo el día. En el entorno de la estación OX se registra alto tráfico vehicular tanto de trasporte privado como público y, ocasionalmente, de carga (INE-DGCENICA, 2007).



A partir de estos puntos se observa una disminución paulatina de las concentraciones de este contaminante a medida que se avanza hacia el este.

6.

Puebla, Pue.

6.1 Información general

Superficie	483 km^2 (GEP, 2005)	**Índice de motorización**	340 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	2160 msnm (INEGI, 2009a)		
Población en 2010	1.5 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	El sector comercios y servicios, así como la industria manufacturera de productos metálicos, maquinaria y equipo (GEP, 2005)
Flota vehicular en 2009	524 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La ciudad de Puebla cuenta con un inventario de emisiones para el año 2004 (GEP, 2005), el cual indica que los vehículos automotores aportan las emisiones más significativas de CO, NOx y COT, en tanto que las fuentes de área aportan el mayor porcentaje de las emisiones de PM_{10} y SO_2.

Figura 6.1 Inventario de emisiones de Puebla (2004)

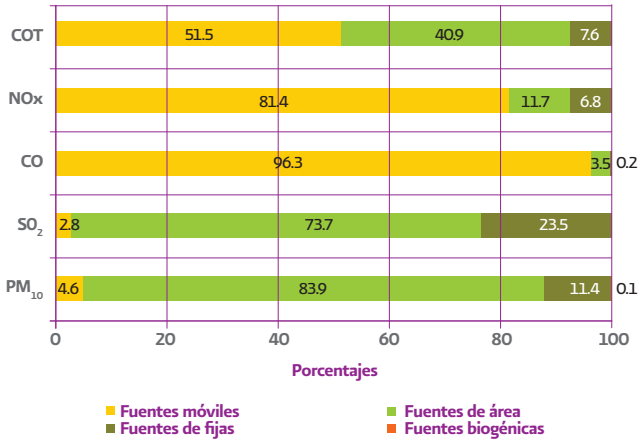
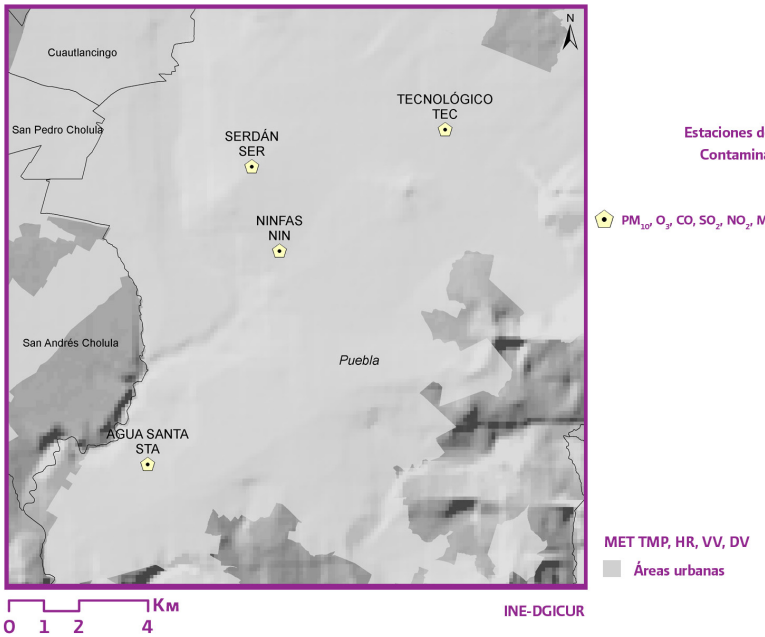


Figura 6.2 Estaciones del SEMA-Puebla analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Puebla se inició en agosto del año 2000 con cuatro estaciones automáticas de monitoreo. La página http://izta.remapuebla.gob.mx/index.php/reporte-imeca-puebla contiene información sobre la red de monitoreo actual. El sistema estatal de monitoreo ambiental de Puebla (SEMA-Puebla) se incorporó al SINAICA en 2003, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones automáticas del SEMA-Puebla tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire para el periodo 2000-2009, que se presenta en esta sección del almanaque, se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 6.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada una de ellas.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 6.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Puebla. El desempeño global de la red fue de "mínimo aceptable", y se puede apreciar la existencia de varias áreas de oportunidad para mejorar su desempeño general. Por ejemplo, los equipos de medición de PM_{10} y ozono deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Asimismo, deben identificarse y corregirse las causas que provocan la baja recuperación de datos validados para todos los contaminantes. La atención de estos problemas es fundamental para incrementar tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se podrá dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 6.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Puebla (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos						
Difusión de la información						

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 6.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población

6.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de Puebla

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2000-2009, el principal problema con la calidad del aire de esta ciudad se relaciona con las altas concentraciones de O_3. Sin embargo, la figura 6.3 muestra que durante 2009 no fue posible evaluar en todas las estaciones el cumplimiento de la norma de 24 h de las PM_{10}, ni tampoco de las normas anuales del ozono y las PM_{10}; por lo tanto, se indica que hubo datos insuficientes para ese año.

Cuadro 6.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Puebla. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Puebla	
PM_{10}	24 horas	Ninfas, Serdán, Agua Santa y Tecnológico	-	D.I.	0
	Anual		-	D.I.	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió[b]	0
	Anual	Ninfas, Serdán, Agua Santa y Tecnológico	-	D.I.	
CO	8 horas	Ninfas	-	Se cumplió[b]	0
NO_2	1 hora	Ninfas y Serdán	-	Se cumplió[b]	0
SO_2	24 horas	Ninfas	-	Se cumplió	0
	Anual		-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la ciudad por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El cumplimiento de la norma para estos contaminantes se debe de tomar con reserva debido a que se evaluó con menos del 50% de los datos horarios del año.

Como complemento, el cuadro 6.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

De este cuadro destaca, en primer lugar, que debido a la escasez de datos los indicadores relacionados con las normas de las PM_{10} y el límite anual del O_3 no pudieron ser evaluados; para el resto de los contaminantes, los indicadores se elaboraron con menos del 50% del total de los datos horarios que se pueden recopilar a lo largo de un año completo de monitoreo. Con estas limitaciones, en ninguno de los días con información suficiente disponible se rebasó el valor de ninguna de las normas de la calidad del aire. En la siguiente sección de este capítulo se incluyen más detalles sobre la evolución de la calidad del aire en la ciudad de Puebla.

6.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de Puebla

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

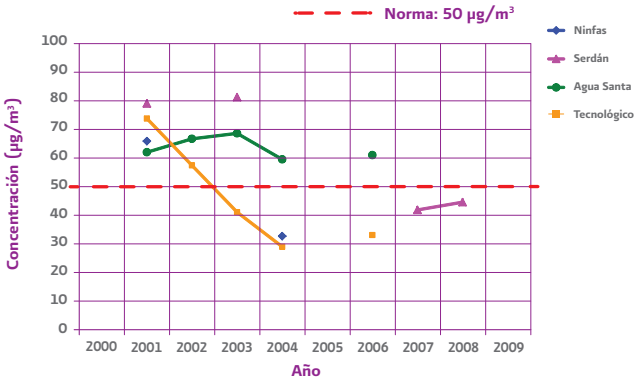
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados para la realización de los cálculos pueden consultarse en el disco compacto anexo, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

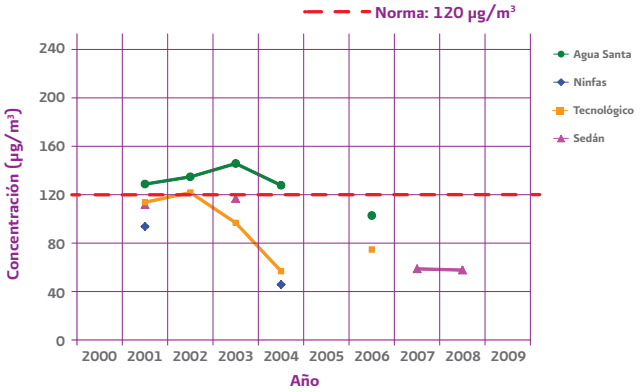
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

Aunque sí hay estaciones para las cuales fue posible calcular el indicador en uno o varios años en el periodo 2001 a 2004 y 2006, destaca el incumplimiento en Agua Santa en todos los años en los que fue posible calcular el indicador; asimismo, resalta la tendencia decreciente de Tecnológico de 2001 a 2004; sin embargo, la falta de información impide determinar si existe alguna tendencia en el comportamiento de este contaminante.



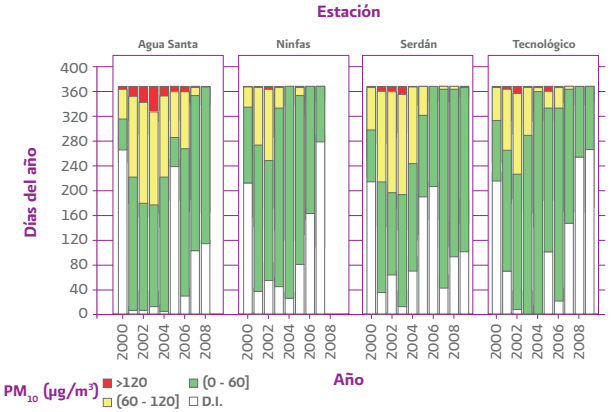
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Debido a la irregularidad de las mediciones de PM_{10} en Puebla, solo se aprecian puntos dispersos, por lo que tampoco puede determinarse si existe o no alguna tendencia en el comportamiento de este contaminante.



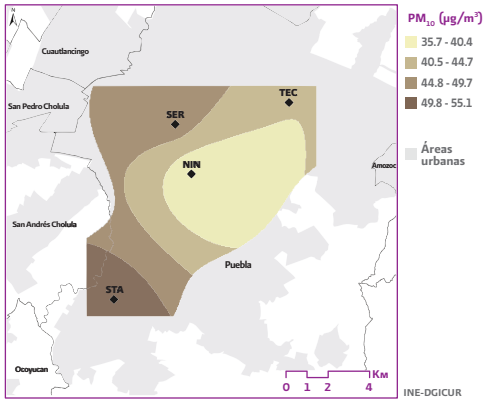
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En primera instancia se aprecia la gran cantidad de días en los que no hay información suficiente para generar el indicador, sobre todo en los últimos años. La estación Serdán es la que presenta un mayor porcentaje de días con información, mientras que en Ninfas y Agua Santa no se realizan mediciones desde 2008 y 2009, respectivamente. En general, se puede apreciar que en la estación Agua Santa es donde con mayor frecuencia se presentaron días con mala calidad del aire por PM_{10} (rojo) en años anteriores, seguida de Tecnológico y Serdán.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

Las concentraciones más elevadas de PM_{10} se registraron al suroeste, en los alrededores de la estación de monitoreo Agua Santa. Probablemente esto esté vinculado con el hecho de que esta zona es una de las áreas más erosionadas de Puebla, que además cuenta con una gran cantidad de calles sin pavimentar. Adicionalmente, los vientos dominantes del noreste pueden ser otro factor que favorece la concentración de partículas en esta región.

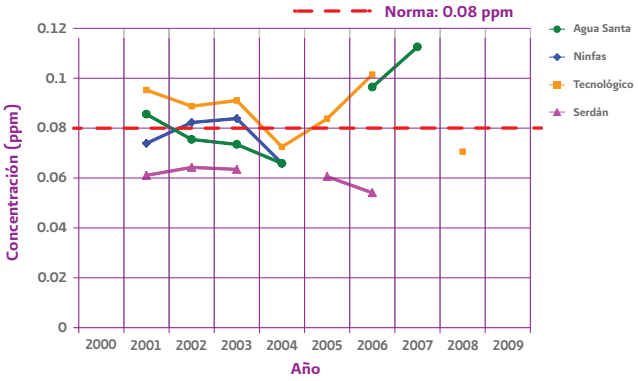


Indicadores del O_3

Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

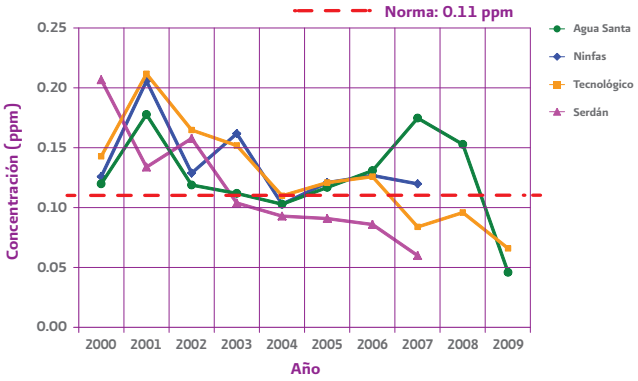
La estación Tecnológico presentó las concentraciones anuales más elevadas en todos los años, y en ella no se cumplió con la norma, excepto en 2004 y 2008. Respecto a las demás estaciones, destaca que solo en la estación Serdán se cumple la norma en todos los años con información disponible.

Claramente se observa que durante los tres años más recientes la red de monitoreo ha experimentado problemas de operación, y por ello hay escasez de información. Desde 2006 no se cuenta con información suficiente para determinar una tendencia en el comportamiento de este contaminante.



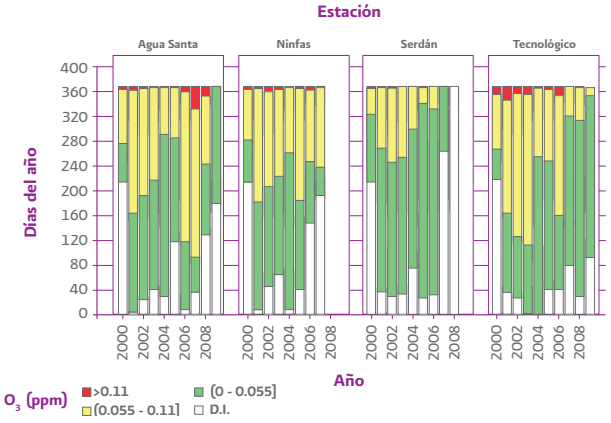
Límite horario (máximo horario)

El indicador de las estaciones de monitoreo muestra una tendencia decreciente en las concentraciones máximas horarias de ozono. Esta tendencia se observa también en la mayoría de las estaciones, aunque solo en Serdán y Tecnológico se ha logrado cumplir con la norma respectiva, desde 2003 y 2007, respectivamente. Sin embargo, esta tendencia debe tomarse con reservas debido a la poca información disponible en los últimos años.



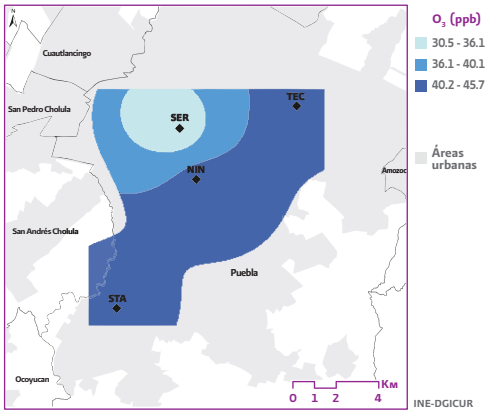
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Destaca la ausencia de mediciones en Ninfas y Serdán durante 2008 y 2009, así como el bajo porcentaje de datos validados en Agua Santa en 2009 (menos del 50%). La estación Tecnológico es la que cuenta con más datos validados a lo largo del periodo, y en ella históricamente se ha registrado una mayor cantidad de días con mala calidad del aire (rojo), aunque en los últimos años hay una clara tendencia a la baja, tanto de estos días como de los días con calidad del aire regular (amarillo).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

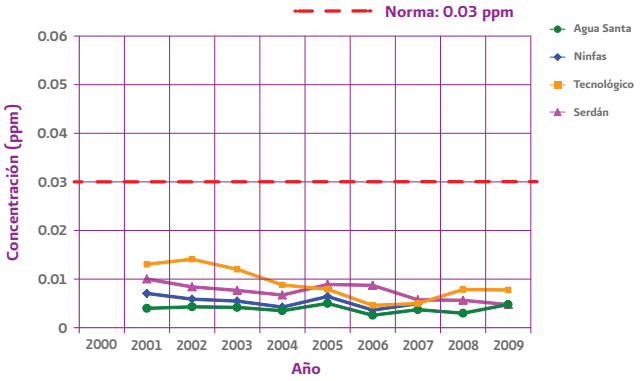
En la figura se puede apreciar que las concentraciones más elevadas de ozono se registran en las zonas centro, sur y este de Puebla, en las inmediaciones de las estaciones Ninfas, Agua Santa, y Tecnológico, con una atenuación hacia el noroeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación Serdán.



Indicadores del SO_2

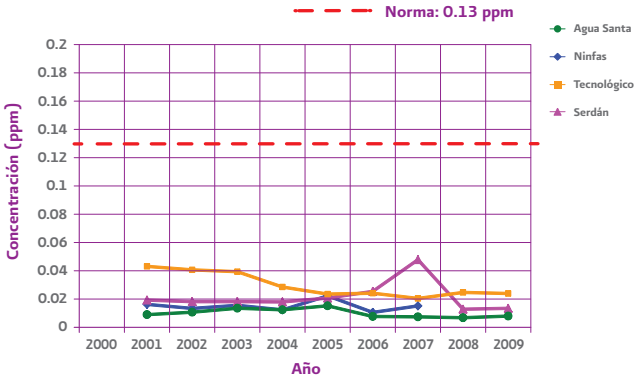
Límite anual (promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican, en todas las estaciones y años, muy por debajo del límite normado, y alcanzan valores equivalentes a menos de un tercio del valor de la norma.



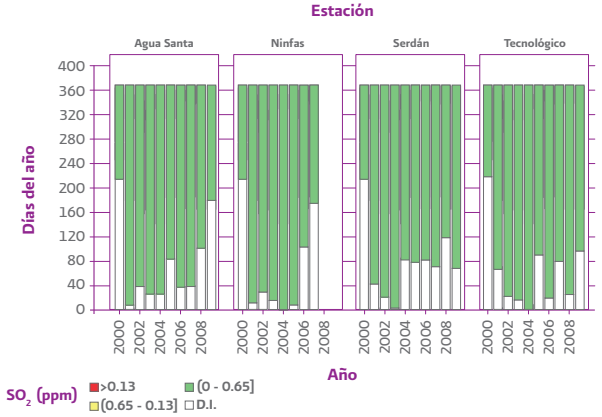
Límite horario (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado, incluso con concentraciones inferiores, en todos los años, a la mitad del valor normado.



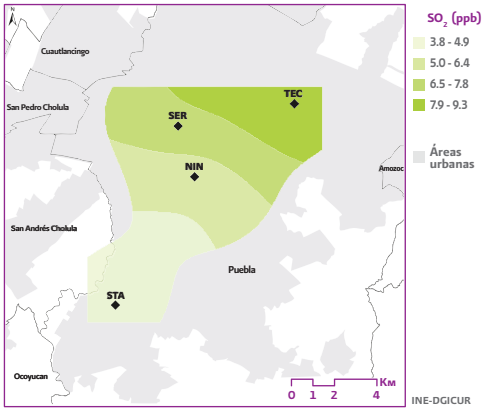
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En las estaciones Agua Santa y Ninfas hay una gran cantidad de días con información insuficiente. Sin embargo, en las estaciones Serdán y Tecnológico, con más información, dominan de manera clara los días con una buena calidad del aire con respecto al SO_2, pues prácticamente todos los días con información disponible caen en el color verde.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

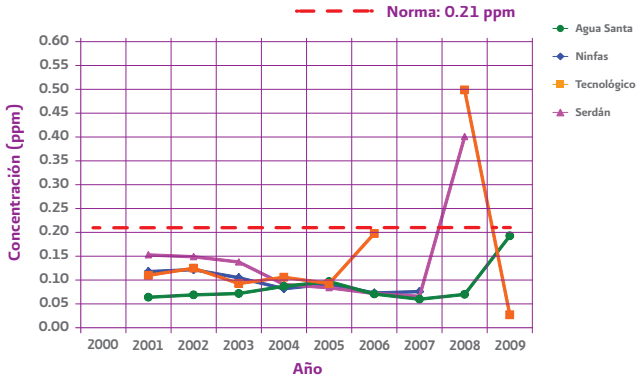
La figura muestra que las concentraciones más altas de SO_2 suelen ocurrir en las inmediaciones de la estación Tecnológico (al norte de la ciudad), y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección al sur, hasta registrar las concentraciones más bajas en la estación Agua Santa.



Indicadores del NO_2

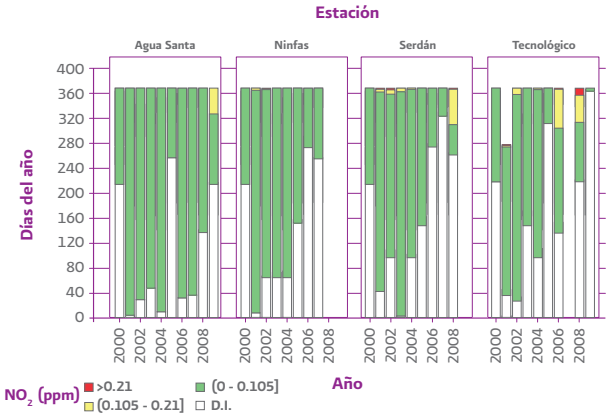
Límite horario (segundo máximo horario)

Destaca que después de haberse cumplido la norma del NO_2 durante un largo periodo (2001-2007), en 2008 se registraron concentraciones casi equivalentes al doble del valor de la norma en las estaciones Tecnológico y Serdán. Para 2009 nuevamente se cumple con la norma en las estaciones donde fue posible calcular el indicador (Tecnológico y Agua Santa); sin embargo, este comportamiento no es representativo de todo el año, pues se cuenta con muy pocos datos para su cálculo. Por el momento se ignoran las causas de este extraño comportamiento en 2008.



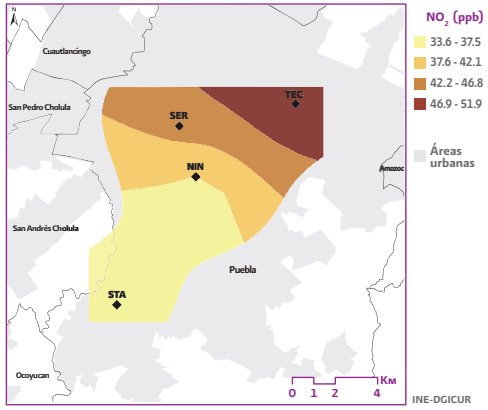
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En los últimos años se ha reducido el número de días con información suficiente para calcular el indicador, lo que impide determinar una tendencia para este contaminante. Las estaciones Ninfas y Serdán dejaron de medir desde 2008 y 2009, respectivamente, y en Tecnológico el número de mediciones se redujo hasta casi cero en 2009. Llama la atención que, en esta estación, se registraron 10 días en los que se rebasó el valor de la norma en 2008.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

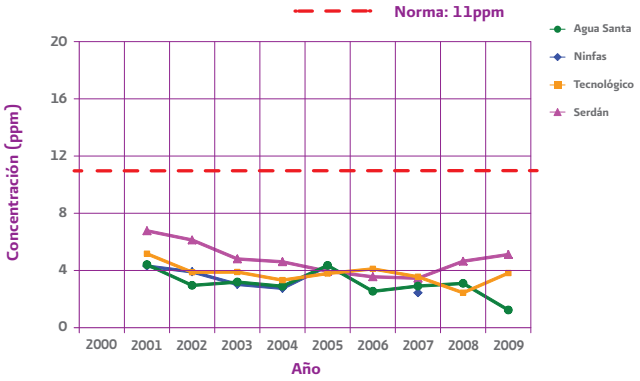
Esta figura muestra que las concentraciones más altas de NO_2 suelen ocurrir en las inmediaciones de la estación Tecnológico (al norte de la ciudad), y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección al sur, hasta registrar las concentraciones más bajas en la estación Agua Santa.



Indicadores del CO

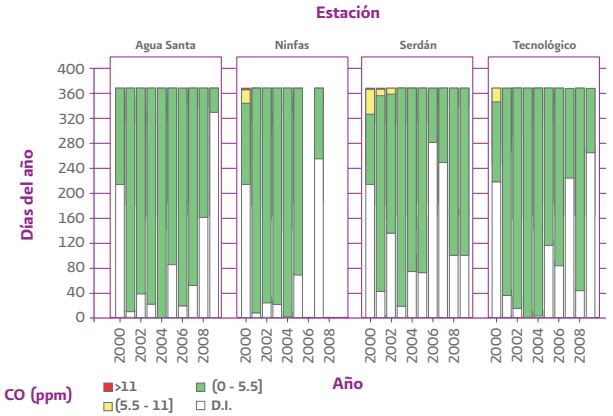
Límite de 8 horas
(segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Los indicadores muestran que en todos los años se ha cumplido con la norma, por lo que hasta ahora este contaminante no representa un problema para la calidad del aire en esta ciudad.



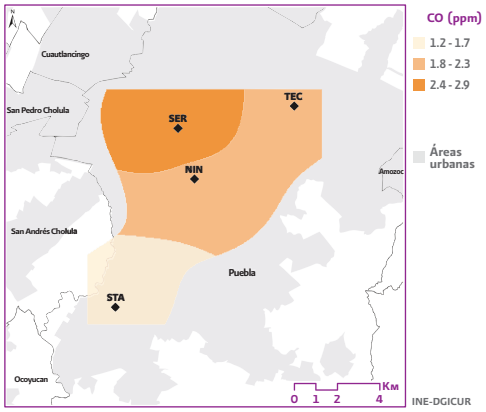
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Destaca la gran cantidad de días con datos insuficientes para generar el indicador (en blanco) en Agua Santa y Tecnológico, y la ausencia de mediciones en Ninfas desde 2007. De los datos disponibles, se observa que dominan los días con buena calidad del aire (en verde), aunque no es posible establecer una tendencia a partir de esta información.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas)

En esta figura se observa que las mayores concentraciones de CO se registran en la zona norte de Puebla, en las inmediaciones de la estación Serdán, que se ubica cerca de un área de mucha actividad comercial y vialidades con intenso tráfico vehicular. A partir de este punto se aprecia una atenuación de las concentraciones a medida que se avanza hacia el sur, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en los alrededores de la estación Agua Santa.



7.

Tijuana, B.C.

7.1 Información general

Superficie	1243 km^2 (INEGI, 2011c)	**Índice de motorización**	440 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	20 msnm (GEBC, 2010a)		
Población en 2010	1.6 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria maquiladora es la más relevante, seguida de la industria de alimentos y bebidas, la industria de la construcción, y la fabricación de productos metálicos y no metálicos (GEBC, 2010b)
Flota vehicular en 2009	686 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

Es oportuno mencionar que si bien recientemente se le confirió la denominación de Zona Metropolitana de Tijuana a los municipios que comprenden Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito (SEDESOL *et al.*, 2007), en el presente almanaque se reporta el diagnóstico de la calidad del aire para cada uno de estos municipios por separado; esto se debe a que, con la cobertura actual de las estaciones, la información de la calidad del aire representa características fisiográficas diferentes, así como dinámicas urbanas distintas, por lo que resulta inadecuado que las estaciones ubicadas en estos municipios se traten como una sola red de monitoreo; por lo tanto, se elaboró un capítulo individual para cada municipio.

El municipio de Tijuana cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010). De éste destaca que los vehículos automotores contribuyen con casi la totalidad de las emisiones de CO y NOx y son la principal fuente de emisiones de COV, mientras que las fuentes de emisión predominantes de PM_{10} y SOx son las fuentes de área (figura 7.1).

Figura 7.1 Inventario de emisiones de Tijuana (2005)

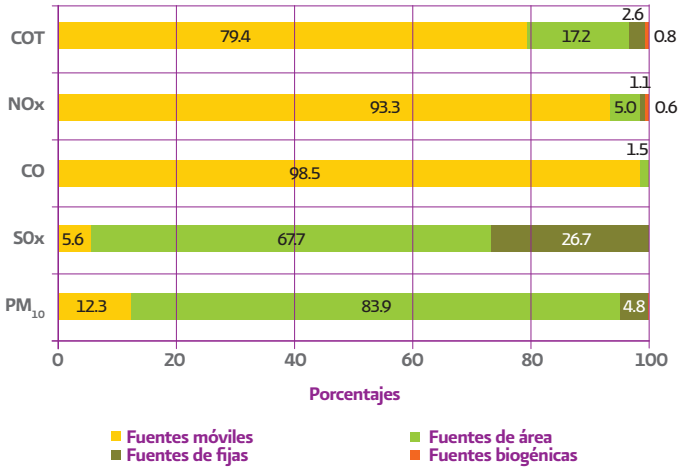
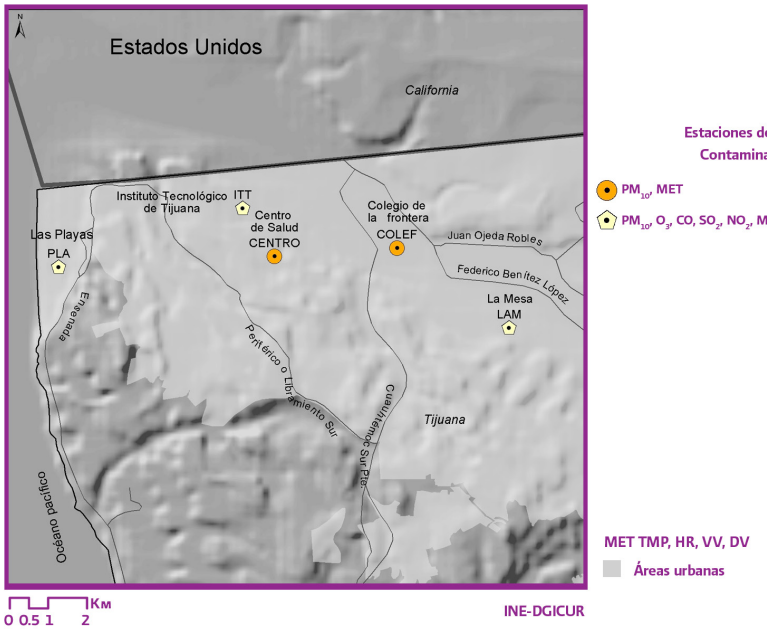


Figura 7.2 Estaciones de la RMA de Tijuana analizadas en el periodo 2000-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Tijuana comenzó a operar en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, sus siglas en inglés), de la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB), y de la entonces SEMARNAP. La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos y era financiada por la EPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades de la USEPA hacia el gobierno del estado de Baja California en México, este último ya administra la operación y el mantenimiento de la red (INE, 2010). La página http://aire.bajacalifornia.gob.mx/county.cfm?c=Tijuana contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red de monitoreo atmosférico de Tijuana (RMA-Tijuana) se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RMA-Tijuana tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son cinco, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 7.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

Las estaciones de monitoreo realizan las mediciones de los contaminantes con equipos automáticos, a excepción de las PM_{10}, que se miden con equipos manuales; sin embargo, a partir de 2005 la estación LAM mide PM_{10} también con equipo automático.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología

descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 7.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Tijuana.

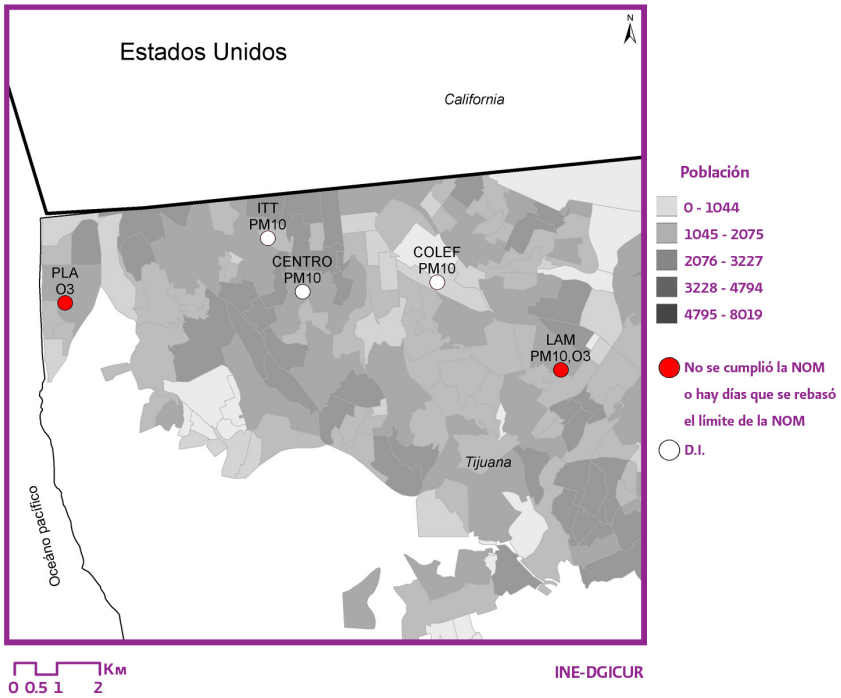
De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes. Por ejemplo, los equipos de medición de PM_{10} y NO_2 deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Igualmente útil resultará identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperabilidad de datos validados para el SO_2, las PM_{10} y el NO_2, así como la oportunidad en la validación de los datos. Debido a los cambios administrativos que ha sufrido esta red, era de esperarse que se presentaran variaciones en su desempeño. En general, la atención de estos problemas incrementaría tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se abriría la posibilidad de dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 7.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Tijuana (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]				■	
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2			■		
	SO_2 [b]					
Trazabilidad[c] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[d]	PM_{10} [a]			■		
	O_3		■			
	CO		■			
	NO_2			■		
	SO_2				■	
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos				■		
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Cuando se realizó la auditoria no había equipo disponible para realizar la evaluación.
c Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
d Excepto para las PM_{10}, el porcentaje de datos validados corresponde a 2000-2008.

Figura 7.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 y distribución de la población



7.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Tijuana

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la RMA-Tijuana sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ciudad se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 7.3 muestra los contaminantes que representan el principal problema en cada una de la estaciones para el año más reciente con información disponible. En la figura también se observan áreas densamente pobladas alrededor de las estaciones ITT, CENTRO y LAM, a diferencia de COLEF y PLA.

Como complemento, el cuadro 7.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2008), e incluye las estaciones de monitoreo en donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI. Los datos validados de la calidad del aire que fueron analizados en este almanaque se obtuvieron tanto de la base de datos de la Agencia de Protección del Ambiente de California en la página web http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm, como de las autoridades estatales de Baja California.

Si bien se dispone de la información sobre las PM_{10} para el análisis de los indicadores hasta 2009 (que se presenta en el apartado 7.3), el diagnóstico que se muestra en el cuadro 7.2 corresponde al año más reciente (2008) para el cual se cuenta con información de todos los contaminantes que se miden; esto se debe a que al momento de elaborar este documento los responsables de la red no habían reportado al INE la información validada de 2009 para los demás contaminantes.

Cuadro 7.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Tijuana. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Tijuana	
PM_{10}[b]	24 horas	Centro, Colef, ITT, LAM y PLA	-	D.I.	4[c]
	Anual		-	D.I.	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	0
	Anual	LAM y PLA	-	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = no hay datos suficientes para determinar el cumplimiento de la NOM de acuerdo con los criterios establecidos en la norma.
a La evaluación del cumplimiento de Tijuana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b El análisis de las PM_{10} se realizó hasta 2009, pero se reporta 2008 para tener el mismo año de evaluación con respecto a los demás contaminantes. Para la evaluación del cumplimiento de las normas se utilizaron los datos provenientes de las mediciones manuales.
c Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año. En total, 23 muestreos máximos en 2008.

Es importante señalar que para el caso de las PM_{10} se utilizó exclusivamente la información proveniente de equipos manuales, y para el resto de los contaminantes, los datos de los equipos automáticos; esto obedece a la cobertura de las estaciones manuales, y es congruente con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Si bien para el CO, el NO_2 y el SO_2 no se distingue una problemática importante, el comportamiento de las PM_{10} así como la insuficiencia de los registros del O_3 requieren atención inmediata. Para la mayoría de los contaminantes existe todavía una reiterada insuficiencia de datos para realizar la evaluación de los indicadores, especialmente en los años más recientes.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

7.3 Indicadores de la calidad del aire en Tijuana

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados para cada contaminante en el periodo 2000-2009 para las PM_{10}, y 2000-2008 para el resto de los contaminantes (O_3, SO_2, NO_2 y CO). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
    a) no excedieron el valor diario normado (verde),
    b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
    c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
    d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

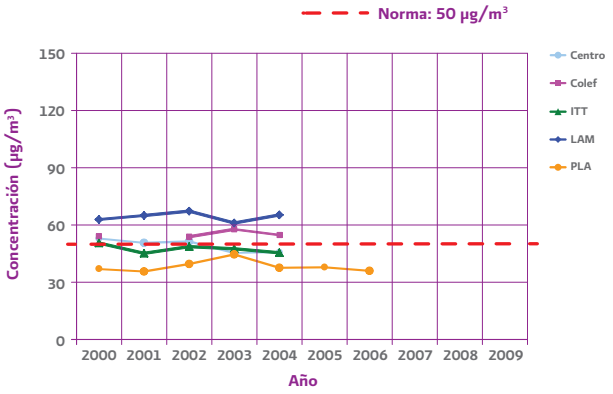
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

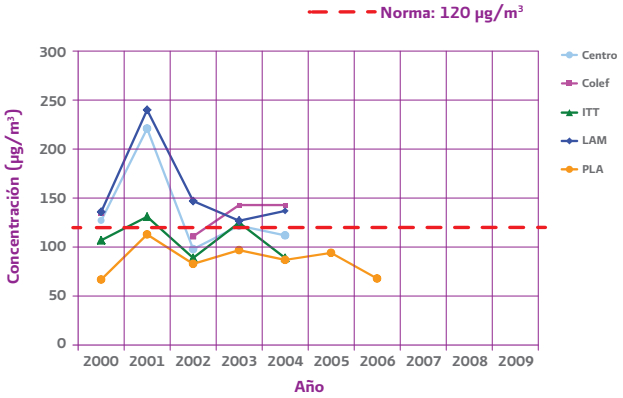
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

A partir del año 2007 es imposible realizar el cálculo por falta de datos provenientes de las mediciones manuales. En el periodo anterior (2000 a 2006) resalta que solo se cumple con la norma en la mayoría de los años en Playas (PLA) e Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), en contraste con La Mesa (LAM) y Colegio de la Frontera (COLEF), en donde se incumplió la norma en dicho periodo.



Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

En este caso sucede algo similar a lo que sucede con la norma anual, pues desde 2007 no se cuenta con información suficiente para calcular el indicador. Durante el periodo anterior (2000 a 2006) destaca que la única estación que ha estado por debajo del valor de la norma es Playas (PLA), y el resto de las estaciones ha estado fuera de cumplimiento al menos una vez en el periodo de análisis. Asimismo, llaman la atención las concentraciones registradas en 2001 en La Mesa (LAM) y Centro, que alcanzan valores cercanos al doble del valor normado.

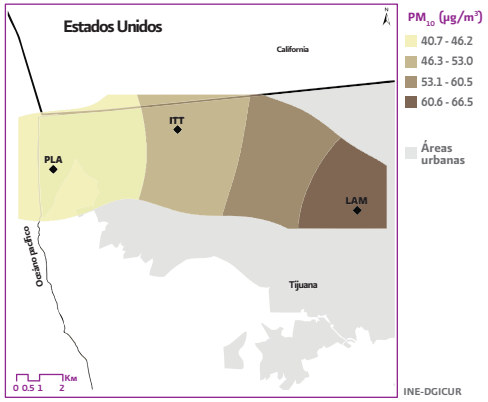


Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

En esta figura también se aprecia que hay una gran carencia de información en todas las estaciones en los años más recientes. Sin embargo, con la información existente se observa que en todas las estaciones ha habido algunos días por arriba del valor normado en algún momento del periodo analizado, y es en La Mesa (LAM) donde se presenta el mayor número de días en rojo.

Representación espacial de las concentraciones (promedio de los muestreos de 24 horas)

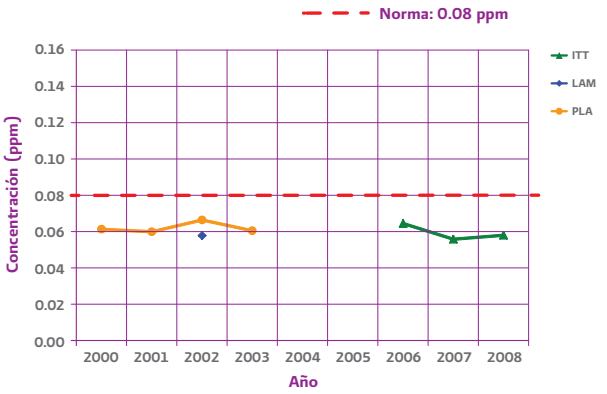
Para este contaminante se observa una distribución de oriente a poniente; las concentraciones más altas se presentan en La Mesa (LAM) y posteriormente en Colegio de la Frontera (COLEF); concentraciones un poco menores en Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) y Centro de Salud (CENTRO); y las concentraciones más bajas en Playas (PLA). Conforme al inventario de emisiones, más del 80% de las emisiones de PM_{10} provienen de las fuentes de área, y se sabe que cerca de la estación LAM existen algunas zonas de terracería, así como establecimientos de comercio y servicios.



Indicadores del O_3

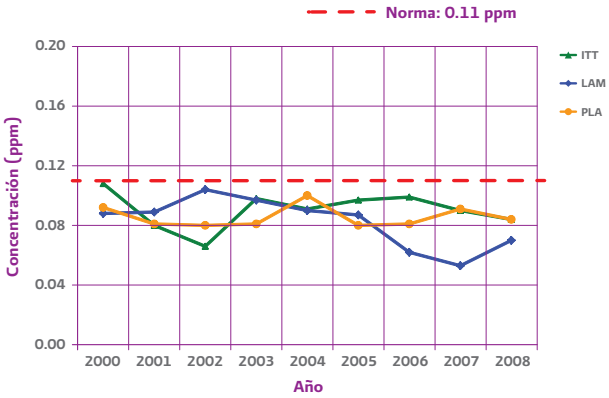
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Existen algunos años en los que se cuenta con datos suficientes, y se aprecia que este indicador se encuentra por debajo del límite establecido en la norma; sin embargo, los datos son muy escasos para hacer un diagnóstico adecuado.



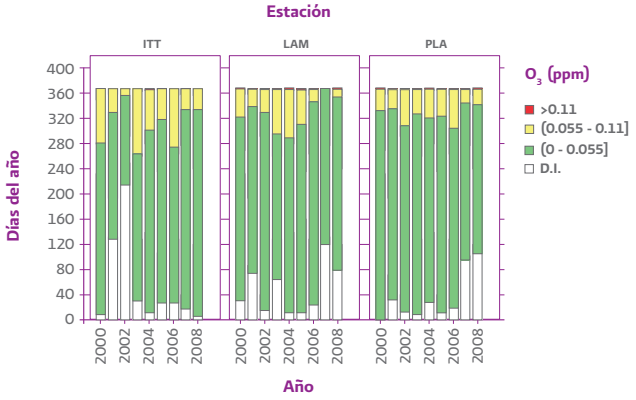
Límite horario (máximo horario)

A pesar de que no se cuenta con información suficiente para evaluar el cumplimiento de la norma anual, los datos disponibles permiten evaluar la norma horaria, y se observa que aunque los valores registrados en todas las estaciones, y de manera global en Tijuana, son cercanos al valor de la norma, no se ha rebasado dicho valor durante el periodo de análisis. Destaca la tendencia decreciente en La Mesa (LAM) de 2003 a 2007; sin embargo, en el año más reciente (2008) hay un aumento de este indicador.



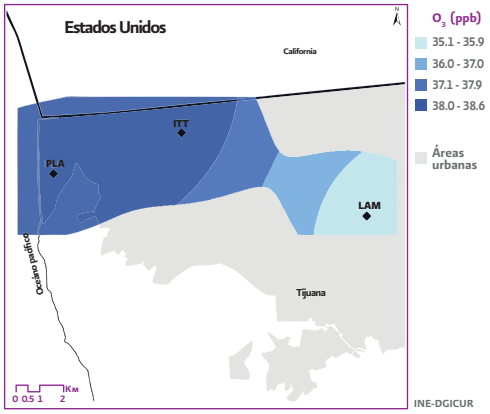
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

A partir de la información disponible, se observa que en todo el periodo no hay ningún día reportado con valores mayores a la norma horaria. Es importante mencionar que en las estaciones La Mesa (LAM) y Playas (PLA) se aprecia un incremento de los días con insuficiencia de datos en los tres años recientes.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

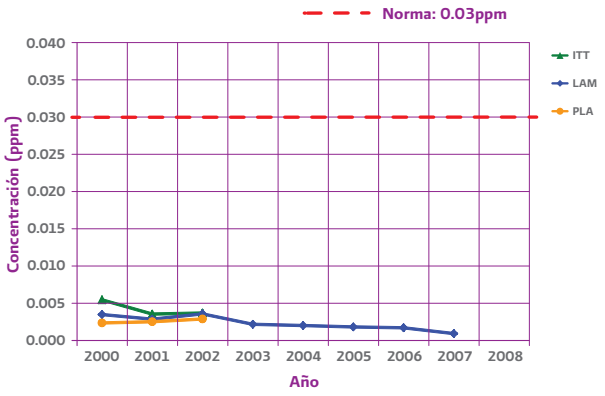
En las estaciones Playas (PLA) e Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) se han registrado las concentraciones más altas de ozono; éstas se atenúan hacia el oriente, y las más bajas se registran en los alrededores de la estación La Mesa (LAM).



Indicadores del SO_2

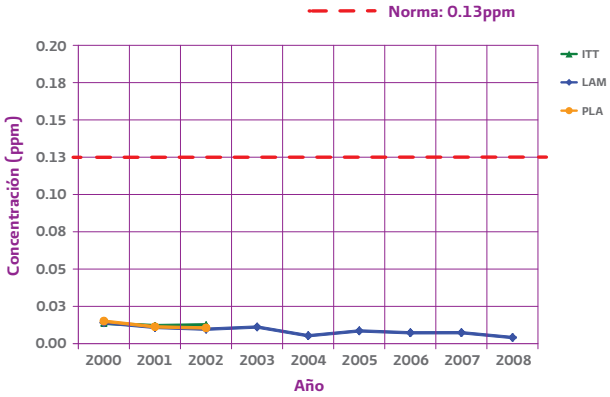
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

Al igual que para el CO, se observa una ligera tendencia a la reducción en el periodo analizado, y todas las estaciones se encuentran muy por debajo del valor normado.



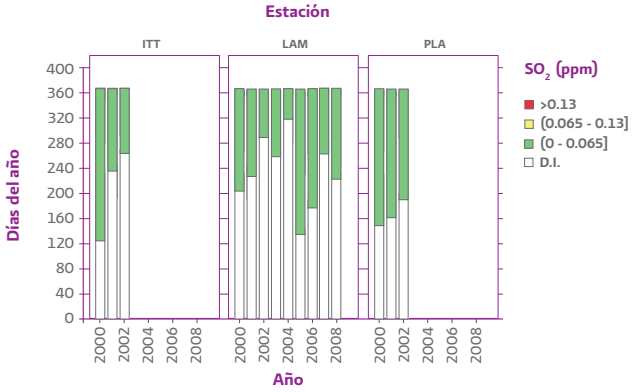
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Se observa una ligera tendencia a la reducción en el periodo analizado, y todas las estaciones se encuentran muy por debajo del valor normado.



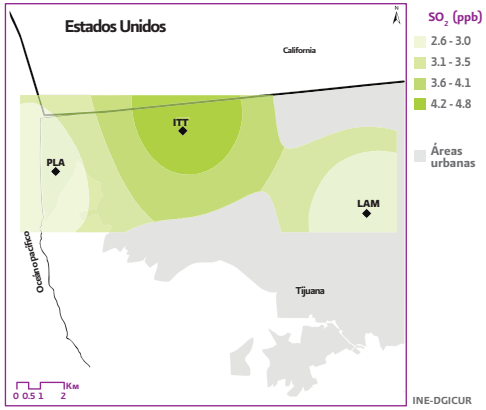
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Desde 2002 solo la estación La Mesa (LAM) ha continuado midiendo este contaminante, pero con una gran proporción de días con insuficiencia de datos (cerca del 60% en 2008). Si bien no se reporta ningún día en el que se rebase el valor de la norma, no es posible hacer un diagnóstico adecuado de la calidad del aire con respecto a este contaminante.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

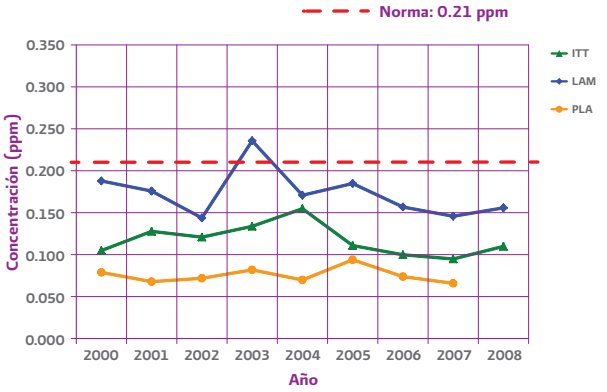
Este contaminante tiene un comportamiento espacial diferente al del resto de los contaminantes: sus concentraciones más altas se ubican en los alrededores de la estación Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), y disminuyen hacia La Mesa (LAM) en el oriente y hacia Playas (PLA) en el poniente. Comúnmente, las emisiones de este contaminante se asocian en su mayoría con la actividad de fuentes fijas. Sin embargo, dado que desde 2003 no se mide este contaminante en ITT y PLA este comportamiento espacial, podría variar actualmente.



Indicadores del NO_2

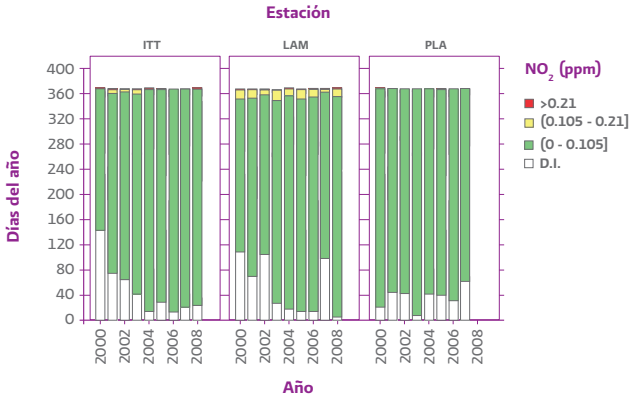
Límite horario (segundo máximo horario)

Se observa un comportamiento más o menos constante de este contaminante en todo el periodo. Sin embargo, en el año 2003 se presenta un valor muy alto en la estación La Mesa (LAM) y, por tanto, se incumple la norma en Tijuana en ese mismo año.



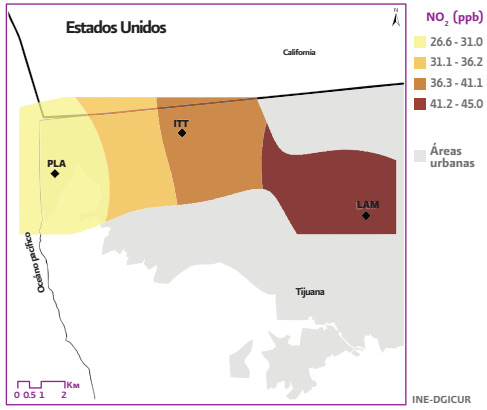
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

En el año 2001 se presentó un día con valor superior al normado en la estación La Mesa (LAM); sin embargo, en el año 2003 se presentan en esta misma estación dos días con valor por arriba del normado y, por tanto, en ese año sí se incumple con la norma.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

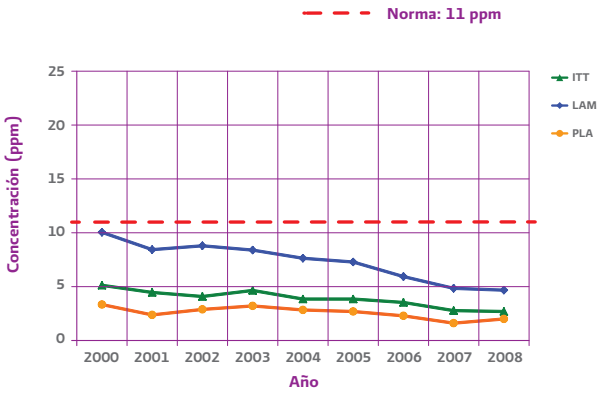
Las concentraciones más altas se dan en el oriente, en los alrededores de La Mesa (LAM), y van disminuyendo hacia el poniente hacia la estación Playas (PLA). De acuerdo con el inventario de emisiones, más del 80% de las emisiones de NO_2 se atribuyen a las fuentes móviles o vehículos automotores.



Indicadores del CO

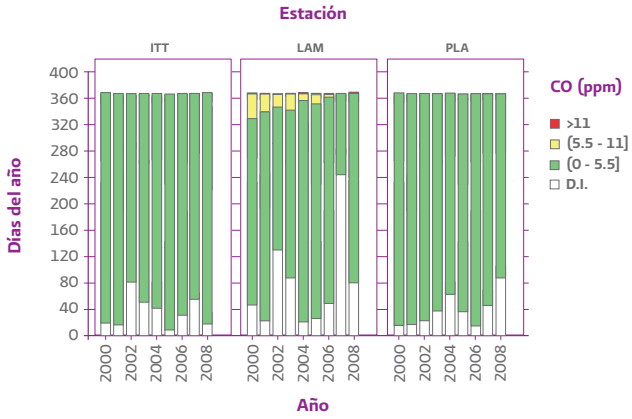
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Aun cuando desde el primer año de análisis (2000) todas las estaciones reportaban niveles por debajo del valor normado, se observa una ligera tendencia de reducción en el periodo analizado.



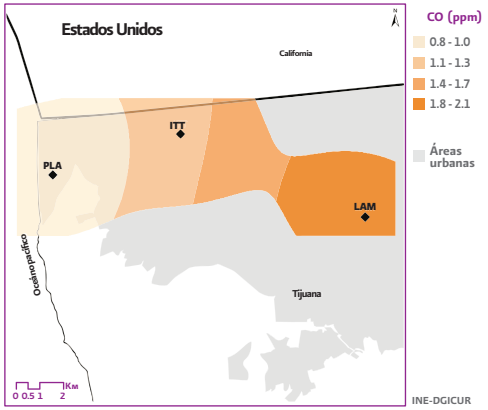
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aun cuando se ha cumplido la norma en la mayoría de las estaciones y para casi todo del periodo analizado, tanto en 2001 como en 2002 se presentó un día con valor superior al normado, ambos en la estación La Mesa (LAM). Esta última presenta también algunos días en color amarillo o con un valor cercano al normado.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones más altas se han presentado en La Mesa (LAM), concentraciones un poco menores en Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), y las concentraciones más bajas en Playas (PLA). De acuerdo con el inventario de emisiones, más del 90% de las emisiones de CO se atribuyen a las fuentes móviles o vehículos automotores.



8.

León, Gto.

8.1 Información general

Superficie	1883 km^2 (GEG, 2008)	**Actividad económica dominante**	En las últimas décadas León ha cambiado su actividad económica dominante; se ha convertido en una prestadora de servicios (turismo de negocios, educación, servicios hospitalarios) y ha dejado atrás la tradicional definición económica de enclave manufacturero (industria cuero–calzado), pese a que aún el sector industrial tiene un peso importante en la economía local (GEG, 2008)
Altitud	1800 msnm (GEG, 2008)		
Población en 2010	1.4 millones de habitantes (INEGI, 2011b)		
Flota vehicular en 2009	347 mil vehículos (INEGI, 2010a)		
Índice de motorización	242 vehículos por cada mil habitantes		

La ciudad de León cuenta con un inventario de emisiones del año 2006, en el que destaca que las emisiones más importantes de COT, NOx, CO y SO_2 provienen de las fuentes móviles, en tanto que el aporte más importante de PM_{10} proviene de las fuentes de área (figura 8.1) (GEG, 2008).

Figura 8.1 Inventario de emisiones de la ciudad de León (2006)

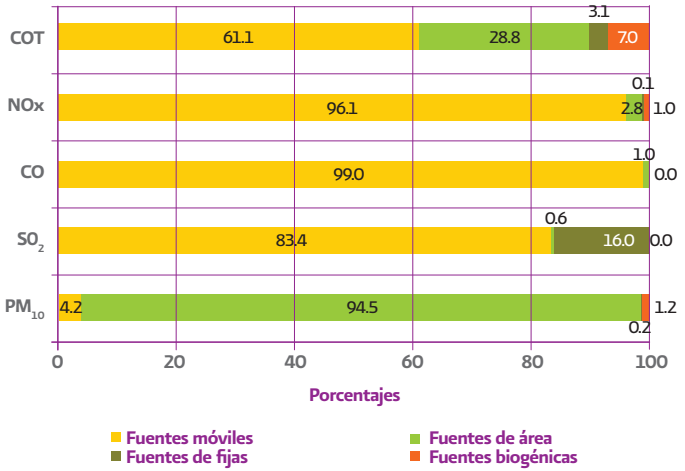
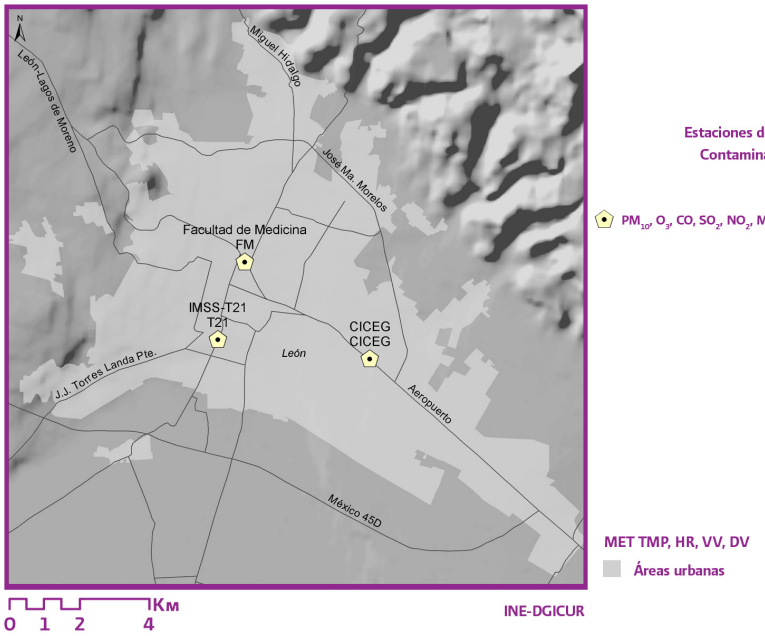


Figura 8.2 Estaciones de la RAMA-León analizadas en el periodo 2006-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en León inició operaciones en 2005 (GEG, 2008). La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de León (RAMA-León) se incorporó al SINAICA el mismo año en que inició operaciones, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-León tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire son tres, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 8.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

Estas tres estaciones iniciaron operaciones en diferentes años, a saber: Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato (CICEG) en 2005, Clínica IMSS-T21 (T21) en el segundo semestre de 2006, y Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato (FM) en 2007. Por lo tanto, para CICEG se reportan los indicadores en el periodo de 2006 a 2009, para T21 en 2007-2008, y para FM solo en 2008 y 2009, excepto para el CO, cuyos indicadores se incluyen desde 2007; en estos periodos se tiene mayor confianza en las mediciones, de acuerdo con los responsables de la red.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 8.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la RAMA-León. Es necesario mencionar que, en lo que respecta al número de equipos de medición que aprobaron la última auditoría y a la trazabi-

lidad de los equipos de calibración, la evaluación del desempeño se llevó a cabo con los resultados de la revisión técnica realizada en el año 2010 a la red de monitoreo del estado de Guanajuato. Esta revisión incluyó una sola estación de monitoreo de cada ciudad; por lo tanto, en la ciudad de León únicamente se evaluó la estación CICEG, de las tres estaciones que conforman la red de monitoreo.

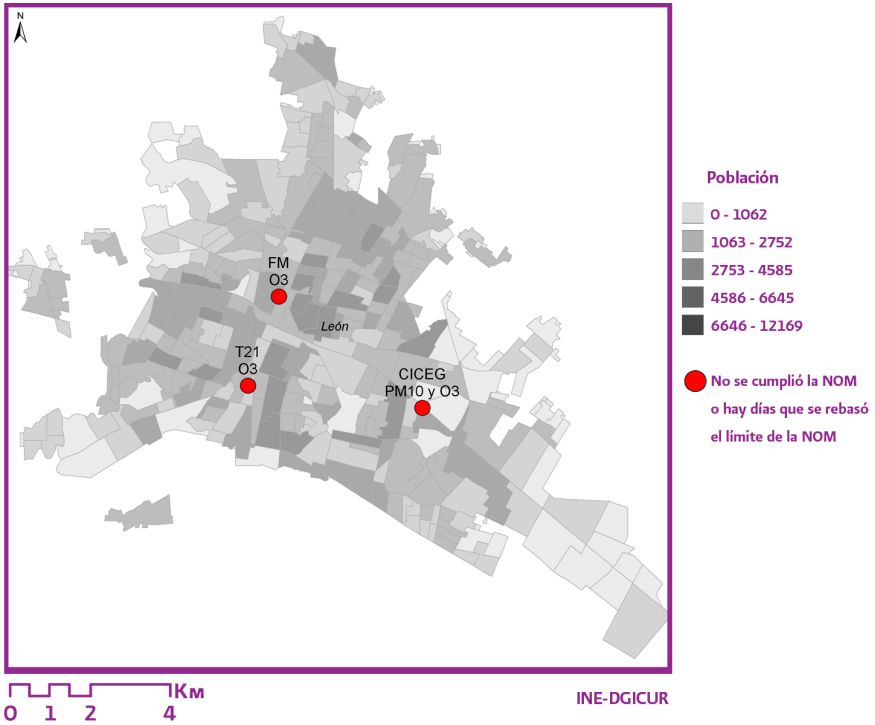
De acuerdo con el cuadro 8.1, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad, como la adecuación de los programas de control y aseguramiento de calidad, para orientarlos a una mayor exigencia e incrementar la frecuencia de las auditorías a equipos de medición de CO, NOx y SO_2. Lo anterior, con el propósito de mejorar el desempeño y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, resultará útil identificar y corregir las causas que provocan el bajo porcentaje de recuperación de datos validados de CO y NO_2. Por último, la oportunidad con que se hace la validación de los datos, los procedimientos usados para realizarla y la difusión de los datos se consideran muy buenos.

Cuadro 8.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de León (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}	■				
	O_3	■				
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}	■				
	O_3	■				
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2	■				
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 8.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Desde el inicio de operaciones de esta red, las autoridades ambientales de Guanajuato han trabajado para generar información sobre la calidad del aire a través de una red de monitoreo eficaz y de una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas. Las actividades realizadas para mejorar el desempeño incluyen la calibración y categorización de sus estaciones de monitoreo y la capacitación continua del personal técnico/operativo. Asimismo, a partir de 2010 las redes de monitoreo de Guanajuato participan en el programa de revisiones técnicas de desempeño que realiza el INE. Cabe destacar que la operación y la supervisión de las estaciones de monitoreo, así como la difusión de datos de esta red están certificadas bajo el sistema ISO-9001:2008 (INE-DGCENICA, 2011).

8.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de León

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo de 2006 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en León se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. Las tres estaciones de monitoreo se encuentran cerca (de 1 a 2 km) de zonas con alta densidad poblacional. La figura 8.3 muestra las tres estaciones de monitoreo e indica en cuáles se presentó algún problema con la calidad del aire durante el año 2009, así como el o los contaminantes involucrados.

Como complemento, el cuadro 8.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 8.2 Diagnóstico de la calidad del aire en León. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para León	
PM_{10}	24 horas	-	CICEG	No se cumplió	55
	Anual		CICEG	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	CICEG, FM y T21	No se cumplió	23
	Anual	-	FM y T21	No se cumplió	
CO	8 horas	CICEG	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
a La evaluación del cumplimiento de León se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.

Si bien destaca el hecho de que en 2009 las normas de la calidad del aire tanto para el SO_2 como para el NO_2 y el CO se cumplen en todas las estaciones de monitoreo, es claro que las PM_{10} y el O_3 requieren atención, pues exceden los valores de referencia incluidos en las normas de la calidad del aire tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de ciudad, en al menos uno de los años analizados.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

8.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de León

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados por cada contaminante. Para el cálculo de los indicadores se utilizó la información proveniente de las tres estaciones automáticas de la red: CICEG y T21 en el periodo 2007-2009 y FM en 2008 y 2009, excepto para el CO, que se reporta desde 2007. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas de cada año cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

   Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

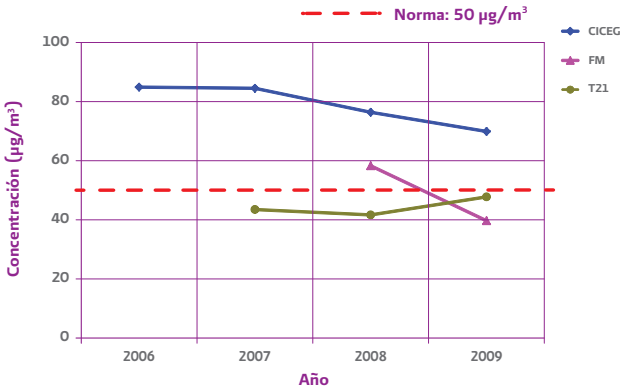
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2006-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

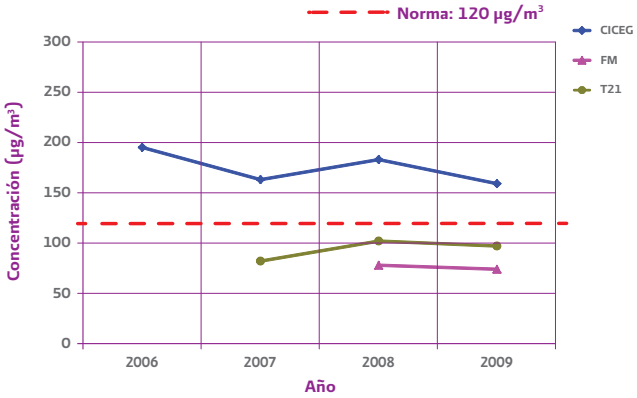
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

Esta norma solo se ha cumplido consistentemente en la estación IMSS-T21 (T21), mientras que en FM[1] solo se cumplió en 2009, y en CICEG[2] no se cumplió en ninguno de los años. En esta última estación se presentan las concentraciones promedio anuales de PM_{10} más elevadas.



Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

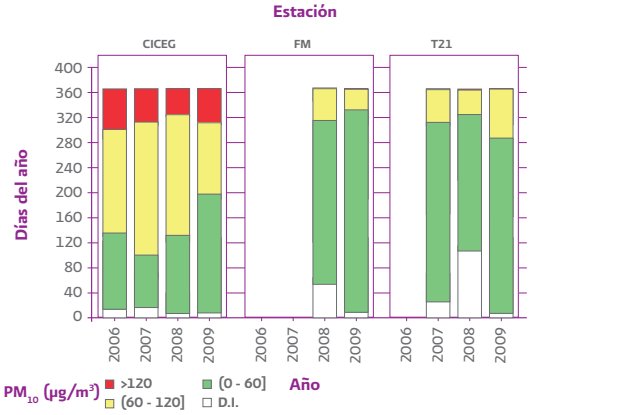
Esta norma se ha cumplido en FM[1] y IMSS-T21 (T21) en todos los años con información disponible. En cambio, en CICEG[2] no se ha logrado cumplir con la norma en ningún año del período analizado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

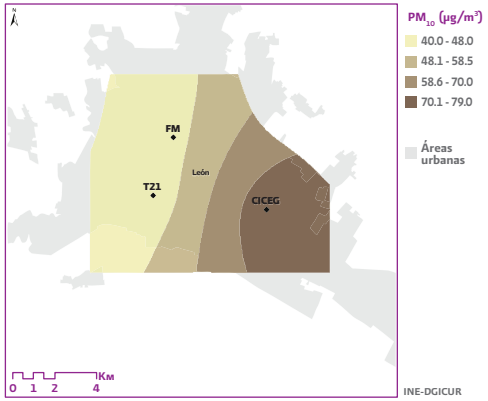
CICEG[2] es la estación de monitoreo con la mayor cantidad de días con concentraciones superiores al valor de la norma (en rojo) durante todo el periodo de análisis. Sin embargo, en el último año se observa una ligera disminución de la cantidad de días en amarillo, lo que sugiere una leve mejora.

Desde 2008 se cuenta con suficiente información como para saber que en FM[1] y T21 la mayor parte del año los días son de color verde, lo que significa una buena calidad del aire en estos sitios.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de 24 h)

En consistencia con las figuras anteriores, las concentraciones promedio más elevadas se ubican en las inmediaciones de la estación CICEG[2], al sureste de la ciudad de León, y muestran una marcada atenuación hacia el oeste. Probablemente este comportamiento sea resultado de la resuspensión de material particulado generado en las áreas de cultivo que se encuentran al sur y el sureste de la ciudad (INE-DGCENICA, 2008). Sin embargo, es necesario estudiar la composición de las partículas para determinar con mayor certeza su origen.

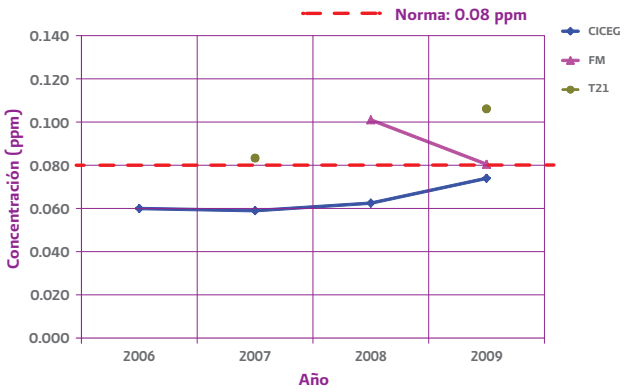


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

Indicadores del O_3

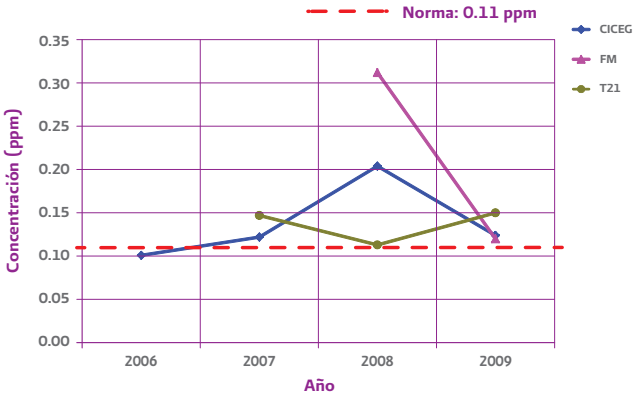
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Se observa que la norma se ha cumplido consistentemente en la estación CICEG[2], aunque se aprecia una ligera tendencia creciente de las concentraciones entre 2007 y 2009. Por otra parte, durante el periodo de estudio se aprecia que en las estaciones IMSS-T21 (T21) y FM[1], en los años en los que fue posible estimar el valor del indicador, éste estuvo por arriba del valor normado.



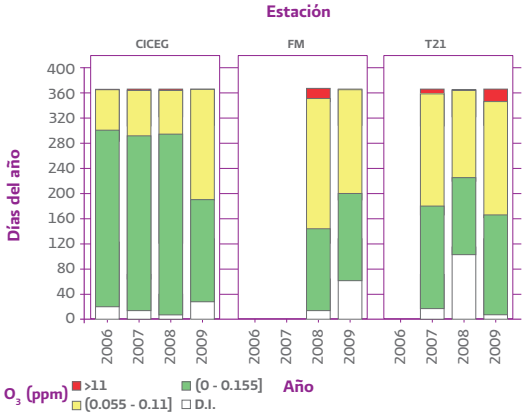
Límite horario (máximo horario)

Esta norma de la calidad del aire no se ha cumplido desde 2007. Durante 2008 se observan valores dos y tres veces mayores al del valor normado en CICEG[2] y FM[1].



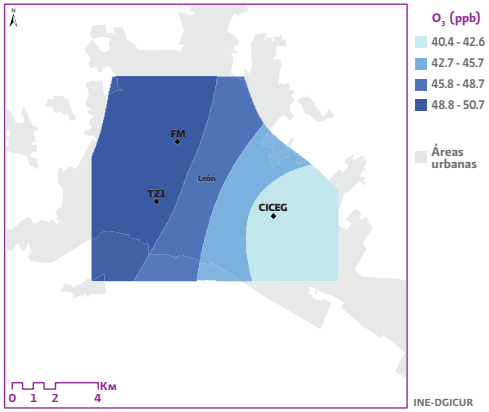
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

Para este contaminante las estaciones FM [1] y T21 son las que muestran la mayor cantidad de días con concentraciones superiores al valor de la norma (en rojo).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

De manera inversa al caso de las partículas, las concentraciones promedio más altas se registran al oeste y al centro, en las cercanías de las estaciones T21 y FM[1], respectivamente, con una clara disminución hacia el sur y hacia el este, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en los alrededores de la estación CICEG[2].

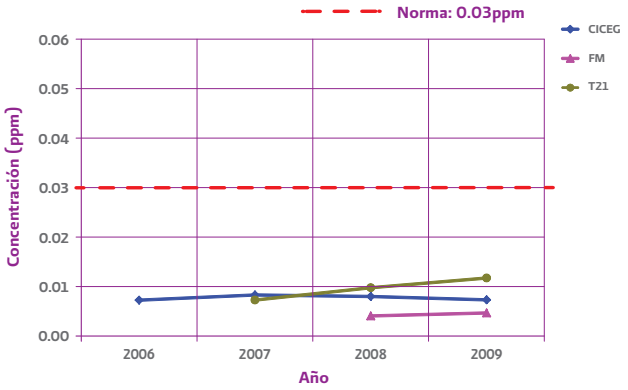


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

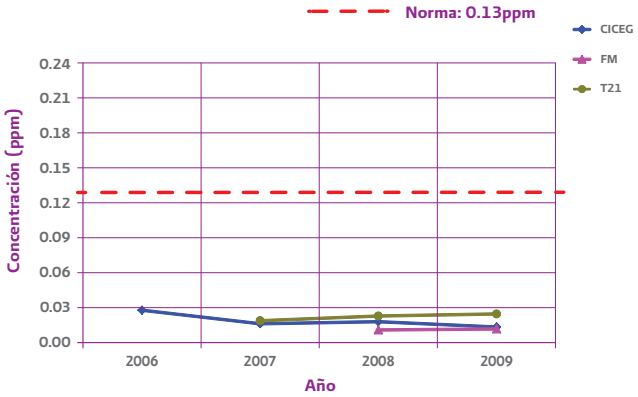
Indicadores del SO_2

Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

Las dos normas vigentes para el bióxido de azufre se cumplen en todas las estaciones de monitoreo, en todo el periodo analizado. En ambos casos las concentraciones registradas hasta ahora se ubican por debajo del 50% del valor de la norma.

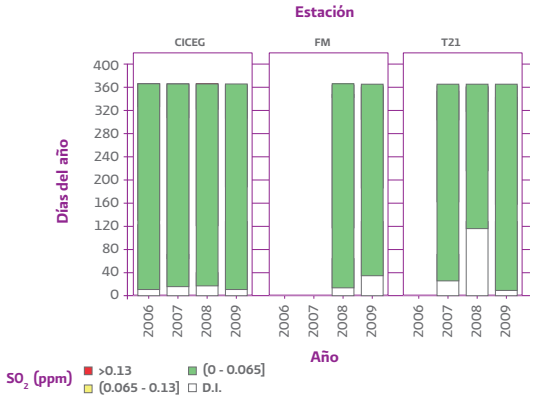


Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)



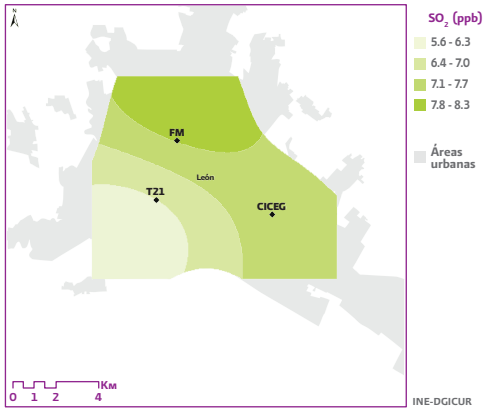
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

La mayor parte de los días de cada año, en todas las estaciones de monitoreo, muestran concentraciones que se ubican en color verde, lo que indica que este contaminante no representa, por el momento, un problema para la calidad del aire en la ciudad. Por otra parte, en la estación IMSS-T21 (T21) destaca la insuficiencia de datos para estimar el indicador en 2008.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

En este caso las concentraciones más elevadas se registran en la zona centro, en los alrededores de la estación Fac. Med.[1] (FM), y disminuyen a medida que se avanza hacia el sur y hacia el oeste, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación IMSS-T21 (T21).

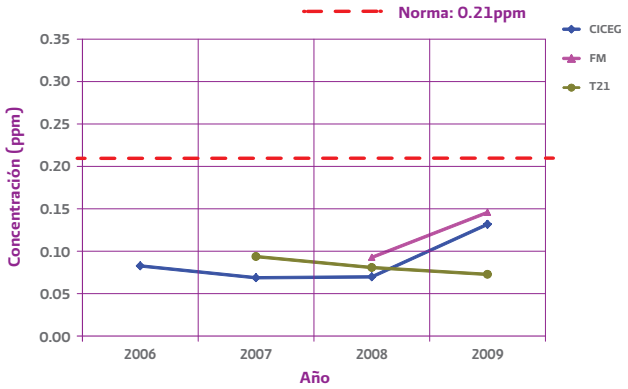


1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

Indicadores del NO_2

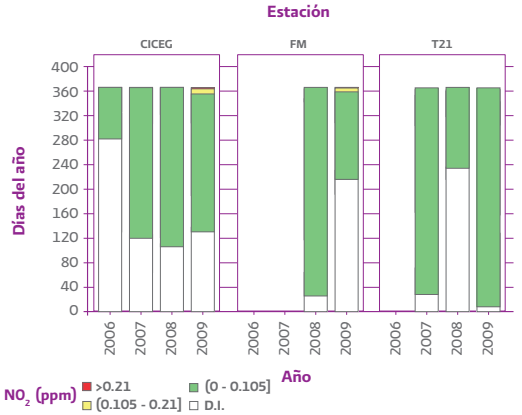
Límite horario (segundo máximo horario)

Esta norma se cumple en todas las estaciones de monitoreo y en todo el periodo analizado. Sin embargo, en las estaciones CICEG y FM se aprecia un incremento en las concentraciones, pero aún lejos de alcanzar el valor de la norma.



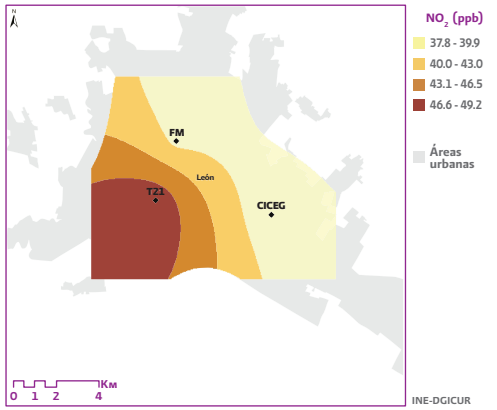
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Se observa una gran cantidad de días con información insuficiente, lo que impide hacer un análisis certero de la calidad del aire con respecto a este contaminante. La estación IMSS-T21 (T21) es la única que cuenta con información para casi todo el año 2009, y muestra concentraciones que se ubican en color verde, lo que indica que este contaminante no es, por el momento, un problema para la calidad del aire en esta estación.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

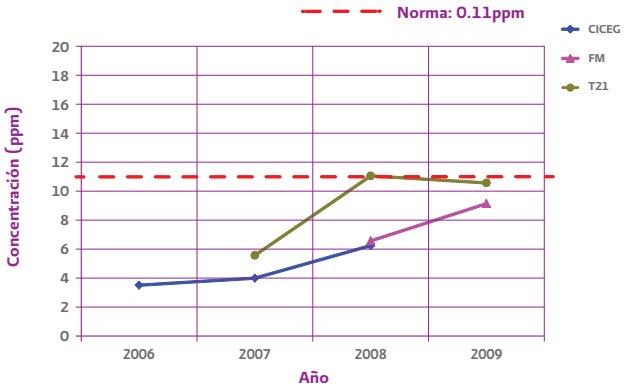
El contaminante presenta un patrón de distribución espacial en el cual las concentraciones promedio más elevadas suelen ocurrir al suroeste de la ciudad, en los alrededores de la estación IMSS-T21 (T21), con una marcada atenuación hacia el oeste y el norte. Probablemente este comportamiento sea resultado de la actividad vehicular, ya que el NO_2 muestra una gran asociación con esta fuente de emisión, y la estación T21 se localiza sobre la avenida Venustiano Carranza (INE-DGCENICA, 2008).



Indicadores del CO

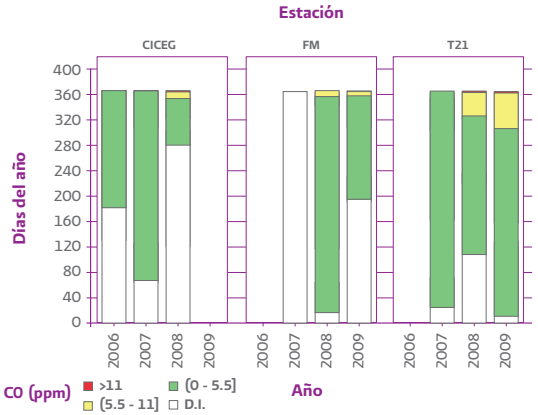
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Aunque existen irregularidades en los datos disponibles sobre este contaminante, es posible observar una tendencia creciente en las concentraciones de CO en todas las estaciones de monitoreo, lo que ocasionó el incumplimiento de la norma en la estación T21 en 2008. En 2009, aunque no se rebasa el valor de la norma, en esta misma estación el indicador calculado es un valor muy cercano al de la norma, lo que revela la necesidad de darle seguimiento a este contaminante.



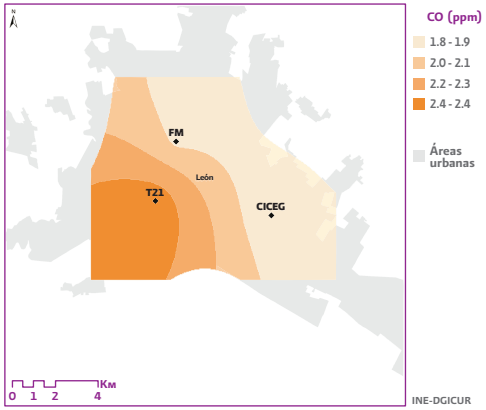
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En las tres estaciones de monitoreo se observa una gran cantidad de días con información insuficiente para generar el indicador e, inclusive, la falta de mediciones en 2009 en CICEG, por lo que es difícil determinar si hay un problema con la calidad del aire cercano a estas estaciones. Sin embargo, de los días en los que sí se pudo evaluar el cumplimiento de la norma, solo se han presentado concentraciones superiores al valor de la norma en un par de días durante 2008 en la estación T21. En esta misma estación se registra la mayor cantidad de días en color amarillo, especialmente creciente en 2008 y 2009.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Las concentraciones promedio más elevadas suelen ocurrir al suroeste de la ciudad, en los alrededores de la estación T21, con una marcada atenuación hacia el oeste y el norte. Probablemente este comportamiento sea resultado de la actividad vehicular, ya que el CO muestra una gran asociación con esta fuente de emisión, y la estación T21 se localiza muy cerca de la avenida Venustiano Carranza (INE-DGCENICA, 2008).



1 Facultad de Medicina de la Universidad de Guanajuato.
2 Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato.

9.

Zona Metropolitana de Juárez, Chih.

9.1 Información general

Superficie	3561 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Índice de motorización**	336 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1140 msnm (GECH,2006)		
Población en 2010	1.3 millones de habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	Manufactura (principalmente maquila), comercio y servicios (GECH, 2006)
Flota vehicular en 2009	447 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La Zona Metropolitana de Juárez (ZM-Juárez) cuenta con un inventario de emisiones del año 2002 (figura 9.1), en el que destaca que la fuente más importante de emisiones de COT, NOx y CO son los vehículos, en tanto que las fuentes biogénicas y erosivas son el origen más significativo de partículas, tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$. Por otra parte, destaca que las fuentes fijas, además de ser la fuente principal de SO_2, tienen una contribución importante a las emisiones de NOx, $PM_{2.5}$ y COT (GECH, 2006).

Figura 9.1 Inventario de emisiones de la ZM de Juárez (2002)

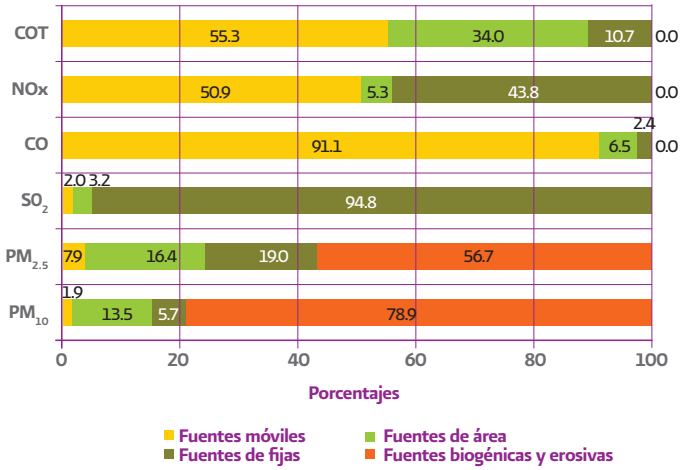
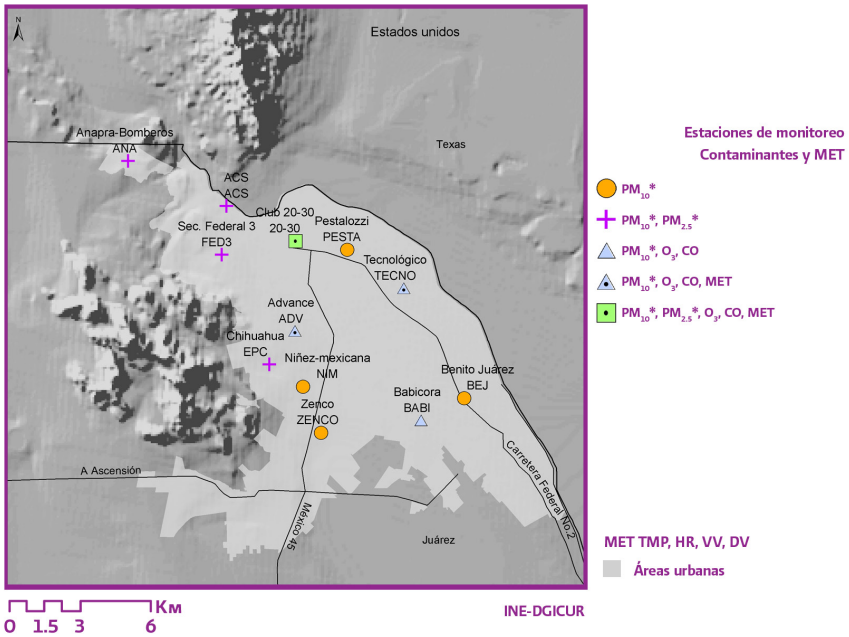


Figura 9.2 Estaciones de la RMA-Juárez analizadas en el periodo 2000-2009



*Equipo manual

El monitoreo de contaminantes atmosféricos de la ZM-Juárez comenzó en 1990. Sin embargo, los registros históricos de los muestreos manuales de PM_{10} comenzaron a partir de 1993 apoyados por el Programa Ambiental Fronterizo y la antes TNRCC (Texas Natural Resources Conservation Commission), actualmente denominada TCEQ (Texas Comission for Environmental Quality). En el año 1996 inició operaciones la red automática (INE, 2010). La página web disponible en http://www.tceq.state.tx.us/cgi-bin/compliance/monops/site_info.pl contiene información sobre la red de monitoreo automática actual. La red de monitoreo atmosférico de la ZM de Juárez (RMA-Juárez) se incorporó al sinaica en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RMA-Juárez tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis (2000 a 2009) son 12, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 9.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

En las estaciones de la RMA-Juárez, las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se miden únicamente con equipo manual, y el resto de los contaminantes (O_3 y CO) con equipo automático. Es oportuno mencionar que los indicadores de las $PM_{2.5}$ no se incluyeron en este documento porque al momento de elaborarlo los responsables de la red no habían reportado al INE la información validada de este contaminante.

Las estaciones de monitoreo Advance (ADV), Tecnológico (TECNO), Pestalozzi (PESTA), Club 20-30 (20-30) y ZENCO iniciaron operaciones en 1993; las estaciones de monitoreo Niñez-Mexicana (NIM), Sec. Federal 3 (FED3) y Anapra-Bomberos (ANA-B) empezaron a medir PM_{10} en 2007, Babicora (BABI) y ACS en 2008, y Estación de Policía Chihuahua (EPC) y Benito

Juárez (BEJ) en 2009. En NIM los muestreos manuales se realizan cada 3 días, a diferencia del resto de las estaciones, donde se realizan cada 6 días.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 9.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Ciudad Juárez.

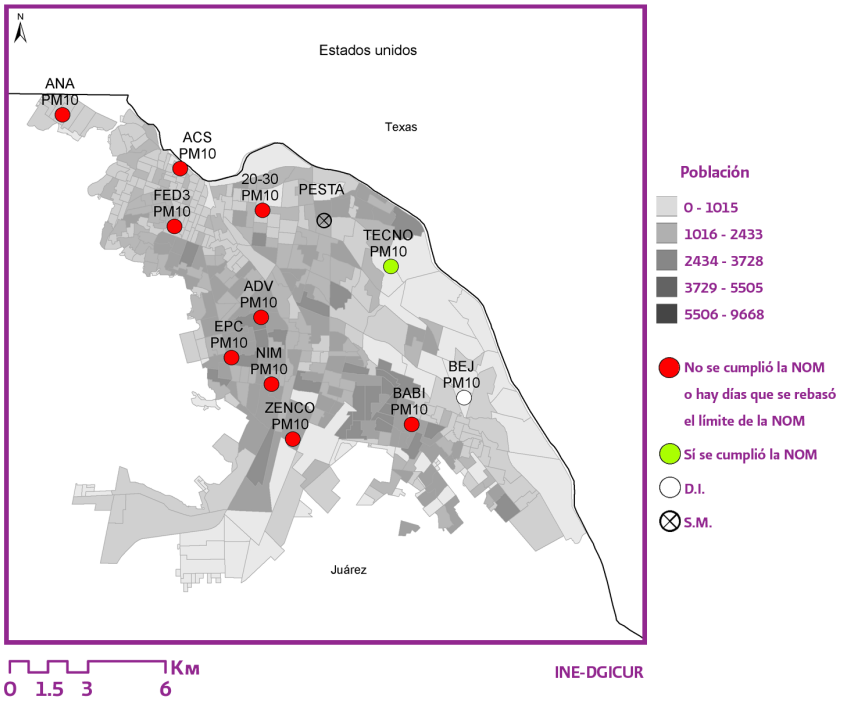
De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general muy bueno; sin embargo, es necesario identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperación de datos validados, principalmente para el O_3 y el CO. La atención de este problema es fundamental para incrementar la cantidad de información disponible, y con ello dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 9.1 Desempeño de la RMA-Juárez (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Muy bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]	■				
	O_3	■				
	CO	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10} [a]		■			
	O_3			■		
	CO			■		
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual.
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 9.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



9.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZM de Juárez

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la RMA-Juárez sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en la ZM de Juárez se relacionan con altas concentraciones de PM_{10}. La figura 9.3 muestra los contaminantes que representan el principal problema en cada una de las estaciones para el año más reciente (2009) con información disponible. De la figura también se observa que en la región sur poniente hay una alta densidad de población, en donde también están ubicadas las estaciones Advance (ADV), Chihuahua (EPC) y Niñez-Mexicana (NIM), que tienen problemas con la calidad del aire a causa de las PM_{10}.

Como complemento, el cuadro 9.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con el criterio de información, no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma.

Es el caso de las PM_{10} se utilizó para el análisis la información disponible proveniente de equipos manuales, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Cuadro 9.2 Diagnóstico de la calidad del aire en la ZM de Juárez. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZM-Juárez	
PM_{10}	24 horas	BEJ, EPC y Zenco	ACS, Advance, ANA, BABI, FED3 y NIM	No se cumplió	54[b]
	Anual		Advance, ANA, BABI y NIM	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	0
	Anual	Advance y 20-30	-	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento para la ZM de Juárez por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año; en total, 112 muestreos máximos en 2009.

En el año más reciente (2009), las PM_{10} representaron un problema para la calidad del aire en la ZM de Juárez. En el caso del O_3 llama la atención que tampoco fue posible evaluar el cumplimiento de la norma anual en Advance y Club 20-30, ni tampoco en la zona metropolitana, debido a la insuficiencia de datos para estimar el indicador. Por lo anterior es importante que se incremente el porcentaje de datos validados recuperados, pues si bien en el periodo estudiado este parámetro obtuvo un calificativo de bueno para PM_{10} y requiere atención para O_3, en 2009 estos porcentajes no fueron suficientes en algunas estaciones para realizar la evaluación de las normas respectivas; por lo tanto, es importante atender de inmediato esta situación. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

9.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZM de Juárez

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009.Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones de cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

Cabe recordar que en la estación Niñez-Mexicana (NIM) se realizan los muestreos de PM_{10} cada 3 días, a diferencia del resto de las estaciones, en donde se realizan cada 6 días; por ello, en NIM existe un mayor número de días con información que para las demás.

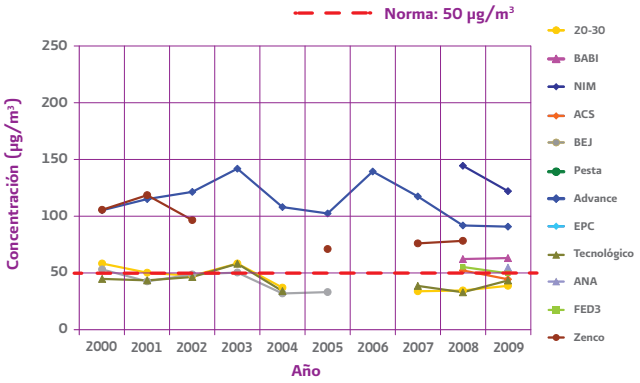
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

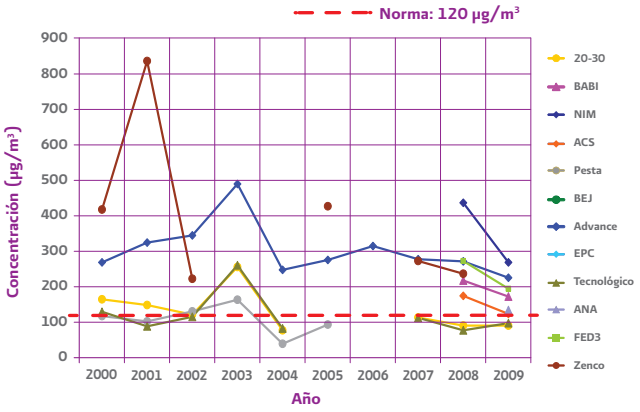
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

Se aprecia que Advance (ADV) es la estación que registra las concentraciones más altas, al grado de alcanzar registros equivalentes al doble, y en algunos casos al triple, del valor normado. En los años más recientes solo las estaciones Club 20-30 (20-30) y Tecnológico (TECNO) han registrado, de manera consecutiva en los últimos tres años, valores inferiores al normado.



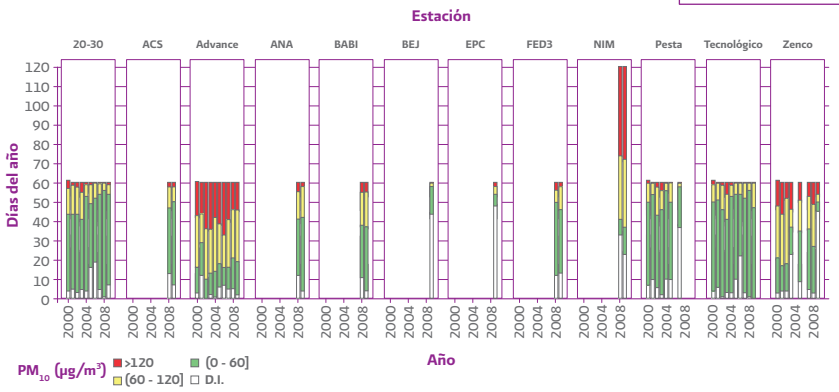
Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

Se puede observar que en la mayoría de las estaciones que cuentan con mediciones, la norma es rebasada de manera consistente. Esto es particularmente notorio en la estación Advance (ADV), donde el valor de la norma ha sido rebasado en todos los años, y en donde además se registran los valores más altos de toda la ciudad (equivalentes al menos a dos veces el valor de la norma). Así mismo en Zenco, es notable el pico de aproximadamente siete veces el valor de la norma en 2001. Las únicas estaciones de monitoreo donde se ha logrado cumplir esta norma, pero de manera esporádica, son Club 20-30 (20-30) y Tecnológico.



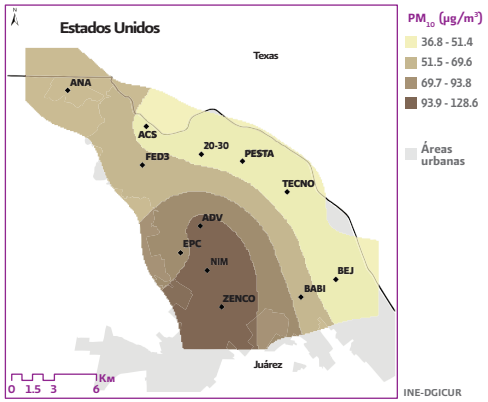
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Destaca que las estaciones que con más frecuencia registran concentraciones superiores al valor de la norma son Advance (ADV), Niñez-Mexicana (NIM) y ZENCO. En el resto de las estaciones se registra un gran número de muestreos con concentraciones en color amarillo, lo que sugiere la posibilidad de que en el futuro cercano también en estas estaciones de monitoreo se rebase el valor normado con una mayor frecuencia.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

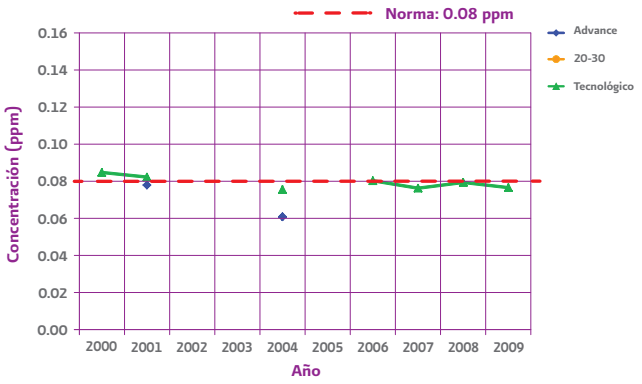
Las concentraciones más elevadas de PM_{10} se presentan al sur de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones ZENCO, Niñez-Mexicana (NIM) y Advance (ADV), que son cercanas a una zona industrial y una colonia ladrillera. Las concentraciones se atenúan hacia el norte y el este, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en la zona este de Juárez, incluyendo las estaciones Club 20-30 (20-30), Pestalozzi (PESTA), Tecnológico (TECNO) y Benito Juárez (BEJ).



Indicadores del O_3

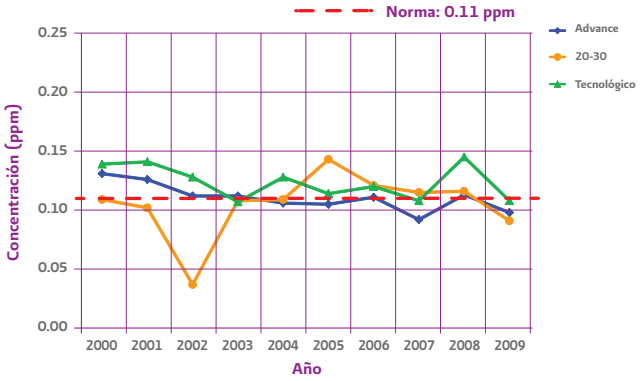
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Solo fue posible estimar este indicador en la estación Tecnológico (TECNO) en algunos años del periodo de análisis, y en un par de años en la estación Advance (ADV). Los valores obtenidos son muy cercanos al valor de la norma, y varían muy poco, por lo cual es difícil determinar una tendencia a partir de esta información.



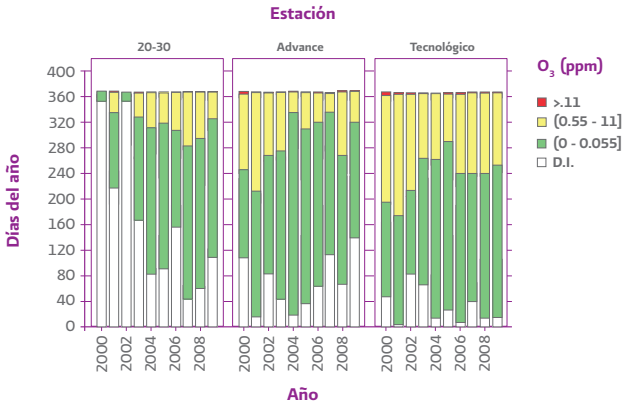
Límite horario (máximo horario)

Solo en 2009 se ha logrado, de manera simultánea, dar cumplimiento a la norma horaria del ozono en cada una de las estaciones de monitoreo. Tecnológico (TECNO) es la estación en donde con mayor frecuencia se rebasa el valor de la norma y se registran las concentraciones más altas, mientras que en Advance (ADV) las concentraciones tienden a ser cada vez más cercanas al valor de la norma, y en algunos años incluso se han ubicado por debajo de ella. A partir de estos valores no se observa una tendencia definida.



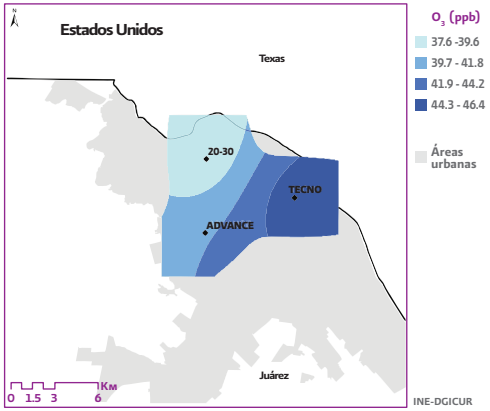
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximo diarios)

Es notoria la mejoría de la información disponible en todas las estaciones, aunque Advance y 20-30 todavía registraron en 2009 entre el 25% y el 30% de los días con información insuficiente. En el año 2000 se registró el mayor número de días con concentraciones de ozono superiores a la norma (6 en Advance y 7 en Tecnológico). Por el contrario, en 2009 no se rebasó la norma un solo día. En todas las estaciones de monitoreo y en todos los años se presenta una fracción importante de días con concentraciones que indican precaución (amarillo), pues es probable que el número de días con concentraciones superiores al valor normado se incremente en el futuro.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos de los promedios móviles de 8h)

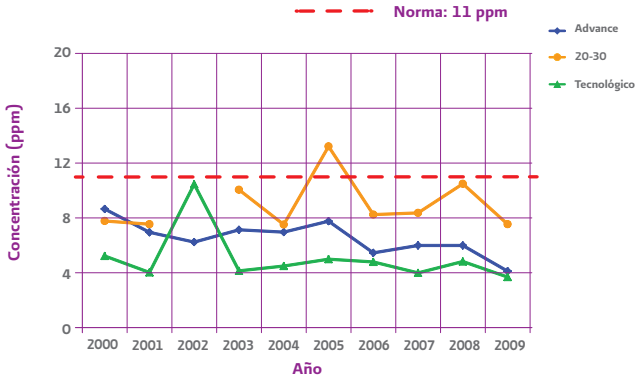
Se observa que las concentraciones más altas se registran al este de la ciudad, en torno a la estación Tecnológico (TECNO), y disminuyen hacia el oeste y el norte, hasta alcanzar los niveles más bajos en las inmediaciones de las estación Club 20-30 (20-30).



Indicadores del CO

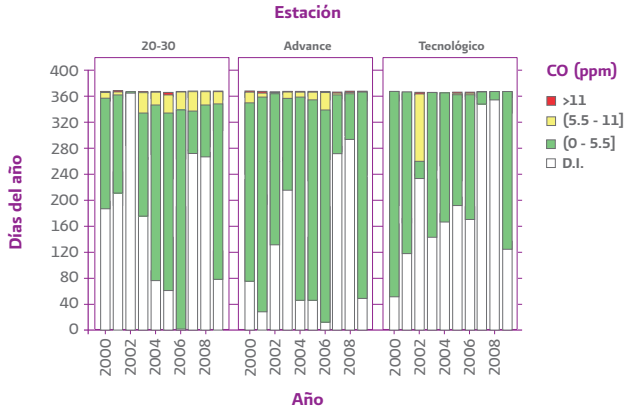
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire solo ha sido rebasada en el año 2005. La estación de monitoreo que presentó este registro superior a la norma fue Club 20-30 (20-30). De 2006 a 2009 el segundo máximo del promedio móvil de 8 horas se ha mantenido por debajo del valor de la norma, y alcanzó los registros más bajos, en todas las estaciones de monitoreo, en 2009. No se observa una tendencia clara en las concentraciones de este contaminante.



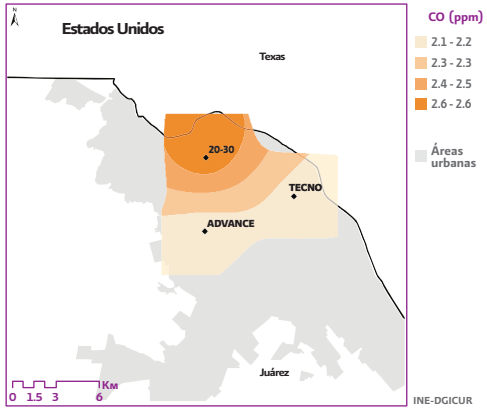
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Existe una gran cantidad de días en los que no se cuenta con información suficiente, sobre todo en los últimos años. Si bien en Advance (ADV) y Tecnológico (TECNO) no se ha registrado un solo día con concentraciones superiores a la norma, la escasez de datos impide realizar un diagnóstico adecuado de la situación actual y de la tendencia en el comportamiento de este contaminante.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos de los promedios móviles de 8h)

Las concentraciones de CO más elevadas se registran al norte, alrededor de la estación Club 20-30 (20-30), y disminuyen gradualmente hacia el sur. Quizá esto sea resultado de que la estación 20-30 se ubica cerca de una de las intersecciones viales de mayor actividad en la ciudad, la conformada por la Avenida Américas y 16 de Septiembre.



10.

San Luis Potosí, SLP.

10.1 Información general

Superficie	1471 km^2 (INEGI, 2010b)	**Índice de motorización**	491 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1860 msnm (INEGI, 2002)		
Población en 2010	773 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria manufacturera (metal básica), los servicios comunales, sociales y personales, y el comercio (INEGI, 2002)
Flota vehicular en 2009	379 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La ciudad de San Luis Potosí cuenta con un inventario de emisiones del año 2005. Como ocurre en otras ciudades, destaca que las emisiones más significativas de COV, NOx y CO provienen de las fuentes móviles, en tanto que las emisiones más importantes de SOx y PM_{10} son generadas por las fuentes de área (SEMARNAT, 2010).

Figura 10.1 Inventario de emisiones de la ciudad de San Luis Potosí (2005)

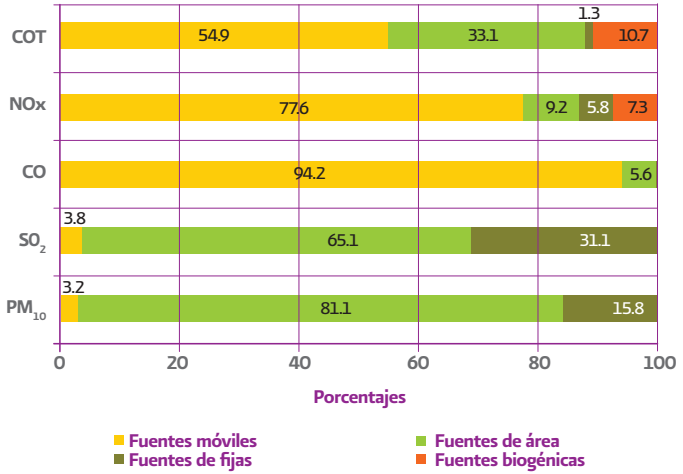
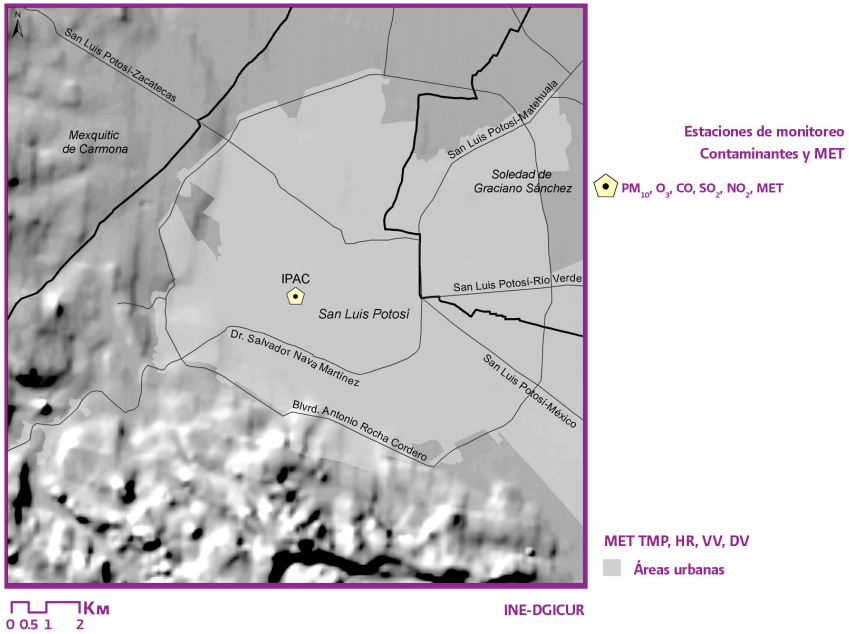


Figura 10.2 Estación de monitoreo atmosférico de SLP analizada en el periodo 2006-2009



* La medición de las PM_{10} se inició a partir de 2009, por lo que no se reporta este contaminante.

En cuanto al monitoreo, es importante decir que la red de monitoreo atmosférico de San Luis Potosí, SLP, cuenta con tres estaciones (IPAC, DIF y UMO). Sin embargo, en este documento solo se analiza la información registrada por la estación automática IPAC, debido a que es la única que cuenta con al menos tres años consecutivos de mediciones. Dicha estación inició operaciones en 2006, cuando se incorporó al SINAICA, y transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real. La página electrónica http://sinaica.ine.gob.mx/rama_slp.html contiene información detallada sobre cada una de las estaciones de monitoreo.

En la figura 10.2 se muestra el mapa con la ubicación de la estación de monitoreo IPAC de San Luis Potosí, con la que se realizó el diagnóstico de la calidad del aire de 2006 a 2009. En el mapa también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en dicha estación, así como los límites municipales y las principales carreteras. Es oportuno mencionar que el análisis de las PM_{10} no se presenta en este apartado, dado que las mediciones de este contaminante se iniciaron en 2009.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 10.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la estación de monitoreo atmosférico IPAC de la ciudad de San Luis Potosí.

De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo de San Luis Potosí nunca ha sido sometida a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en

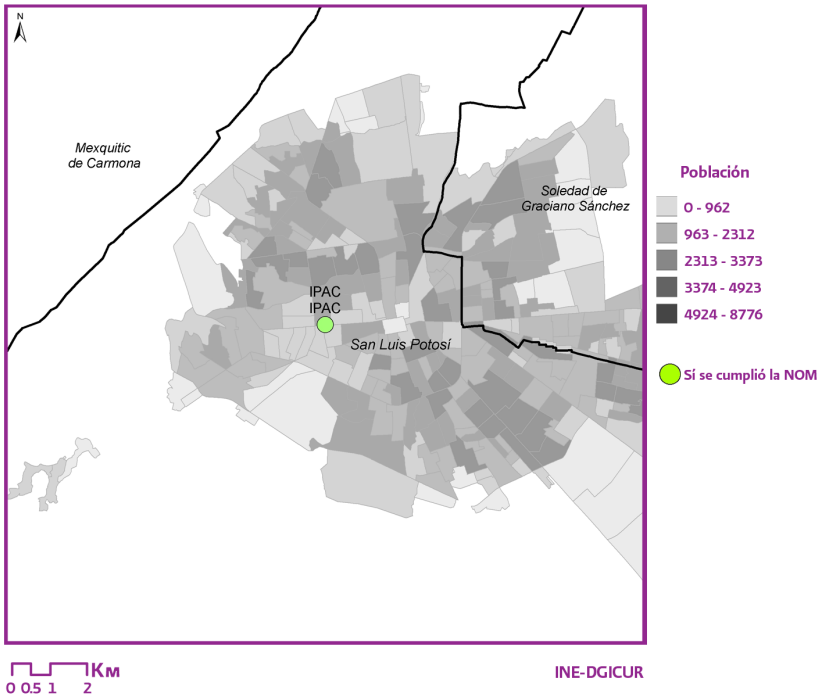
este almanaque para su evaluación, pues se ignora si los equipos de medición que componen la red y en particular la estación de monitoreo IPAC están operando de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente", que se incluye en el cuadro 10.1, no podría ser considerada en la evaluación del desempeño de la red al no existir una auditoría; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar y llevar a cabo auditorías a la red de monitoreo, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de esta red. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que aún se puede mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, así como la oportunidad y los procedimientos empleados para hacer la validación de los datos, lo mismo que su difusión.

Cuadro 10.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de SLP (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					■	Requiere atención
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente	O_3				■	
	CO				■	
	NOx				■	
	SO_2				■	
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración					■	
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	O_3		■			
	CO		■			
	NO_2		■			
	SO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos			■			
Difusión de la información				■		

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 10.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



10.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la estación automática de monitoreo IPAC en el periodo 2006-2009, se cumple con las normas correspondientes a los cuatro contaminantes analizados (O_3, CO, NO_2 y SO_2). La figura 10.3 muestra la ubicación de la estación de monitoreo y la situación de la calidad del aire durante el año 2009.

El detalle de esta información se muestra en el cuadro 10.2, que contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire del año más reciente con información disponible (2009), así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma de una hora para el O_3 y el NO_2, 24 horas para el SO_2, y 8 horas para el CO. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Sin duda destaca el hecho de que todas las normas de la calidad del aire para todos los contaminantes medidos se cumplen durante 2009. Incluso, no se registraron días con concentraciones superiores a las especificadas en las diferentes normas.

Cuadro 10.2 Diagnóstico de la calidad del aire en SLP. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Cumplimiento de la NOM	Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
O_3	1 hora	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	
CO	8 horas	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí a lo largo del periodo de análisis.

10.3 Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de San Luis Potosí

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2009, de la estación IPAC. Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año, por estación de monitoreo y de manera agregada para la zona metropolitana.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

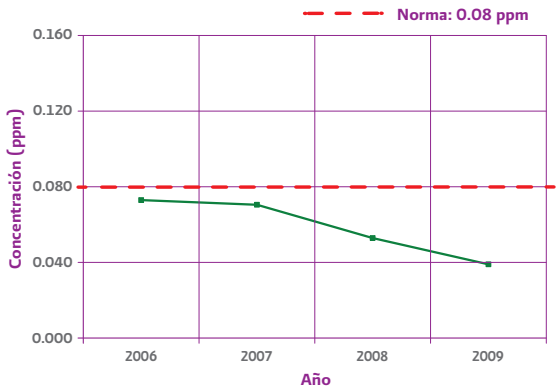
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar/obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Nota importante: no se presentan los mapas correspondientes de distribución espacial porque se requiere de al menos tres estaciones para la interpolación, y solamente se contó con información de la estación automática de monitoreo IPAC.

Indicadores del O_3

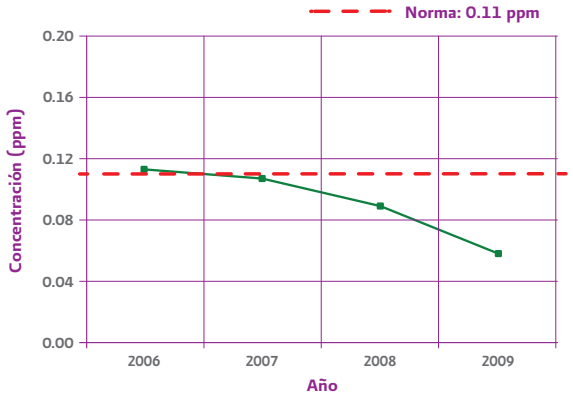
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

En la figura se aprecia con claridad que la norma anual del ozono se ha cumplido en todo el periodo de análisis, y que a partir de 2007 se ha experimentado una notable tendencia decreciente en las concentraciones, hasta alcanzar en 2009 una concentración máxima equivalente a la mitad del valor normado.



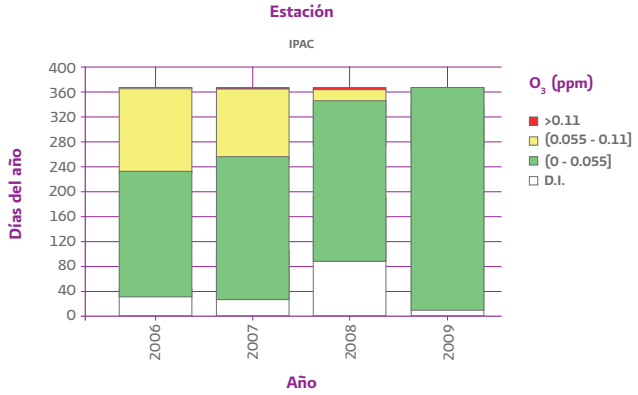
Límite horario (máximo horario)

Se observa que a partir de 2006, año en el que se registró una concentración horaria de ozono superior a la norma, hay una notable tendencia decreciente que ha llevado al cumplimiento de la norma en los últimos tres años. Incluso en 2009 esto se logró con una concentración máxima equivalente a casi la mitad del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

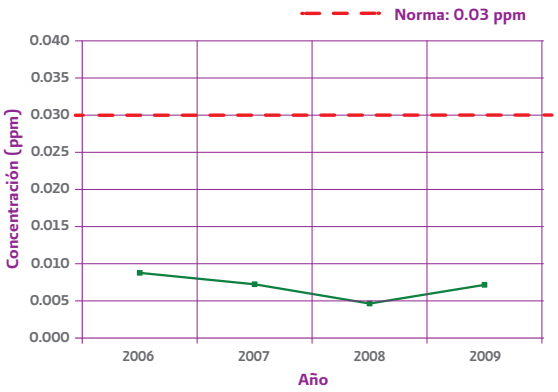
Esta figura muestra de manera contundente que en los alrededores de la estación de monitoreo IPAC predominan los días con una buena calidad del aire (en verde) en lo que respecta al ozono.



Indicadores del SO_2

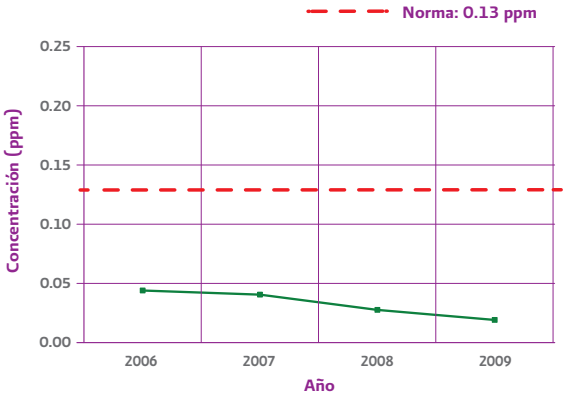
Límite anual (promedio anual)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican muy por debajo del límite normado.



Límite de 24 horas (segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todo el periodo analizado, incluso con concentraciones inferiores a la mitad del valor normado.



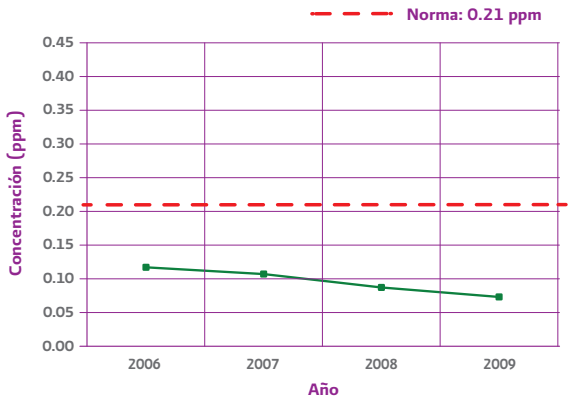
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Esta figura revela que dominan de manera clara los días con buena calidad del aire con respecto al SO_2, pues no hay color amarillo en las barras. Sin embargo, destaca cómo se ha incrementado a lo largo del tiempo la cantidad de días con datos insuficientes para estimar el indicador, hasta llegar a prácticamente el 90% en 2009.

Indicadores del NO_2

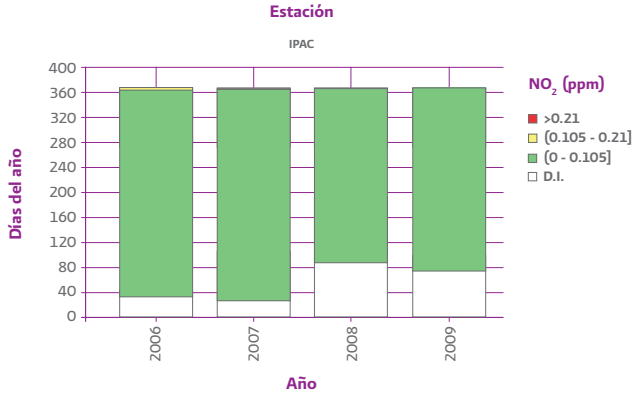
Límite horario (segundo máximo horario)

Al igual que con los contaminantes antes descritos, la norma horaria del NO_2 también se ha cumplido en todo el periodo analizado, y lo ha hecho con concentraciones notablemente inferiores al valor normado. Asimismo, destaca que a pesar de ello se presenta una tendencia decreciente en el tiempo.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

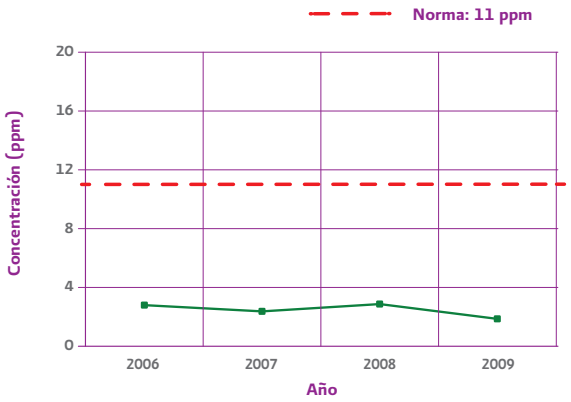
En congruencia con la figura anterior, en esta figura se puede apreciar que en San Luis Potosí se ha tenido una muy buena calidad del aire con respecto al NO_2 durante todo el periodo analizado (en verde). Destaca también, sin embargo, que en los últimos dos años se ha incrementado el número de días con información insuficiente para generar el indicador.



Indicadores del CO

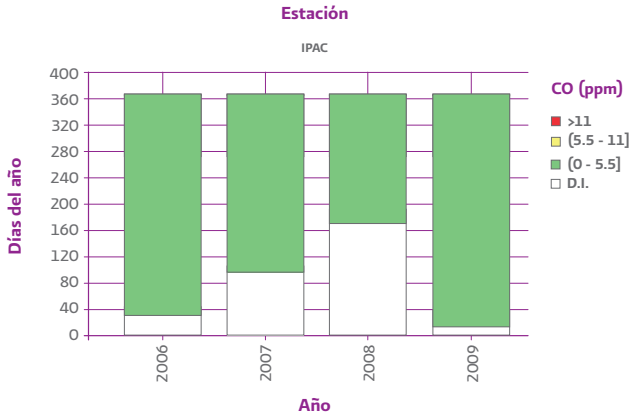
Límite de 8 horas (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

La norma de la calidad del aire para el CO se cumplió durante todo el periodo analizado, y se hizo con concentraciones notablemente bajas. En todos los años se han registrado concentraciones inferiores a las 3 ppm, que equivalen a poco menos de un tercio del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En congruencia con la figura anterior, en esta figura se puede apreciar que en San Luis Potosí se ha tenido una muy buena calidad del aire con respecto al CO durante todo el periodo analizado (en verde). Sin embargo, durante la mitad de los días de 2008 no fue posible determinar la calidad del aire en la estación.



11.

Zona Metropolitana de Mexicali, B.C.

11.1 Información general

Superficie	14 541 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007)	**Índice de motorización**	537 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	10 msnm (INEGI, 2010c)		
Población en 2010	937 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria manufacturera seguida de la agroindustria (el sector hortofrutícola es una de las actividades de mayor éxito), el comercio y el turismo de negocios (GEBC-INFDM, 2005a)
Flota vehicular en 2009	503 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La Zona Metropolitana de Mexicali (ZM-Mexicali) cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (WGA *et al.*, 2009); en éste destaca que las fuentes de área contribuyen con casi la totalidad de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$, y con más de la mitad de las emisiones de COV. Por su parte, las emisiones de fuentes fijas contribuyen con casi la totalidad del SO_2 y con la mitad de las emisiones de NOx. Las fuentes móviles son las que contribuyen más a las emisiones de CO, y con casi una tercera parte de las emisiones de COV y NOx; asimismo, contribuyen en menor medida a las emisiones de partículas y SO_2. (figura 11.1).

Figura 11.1 Inventario de emisiones de Mexicali (2005)

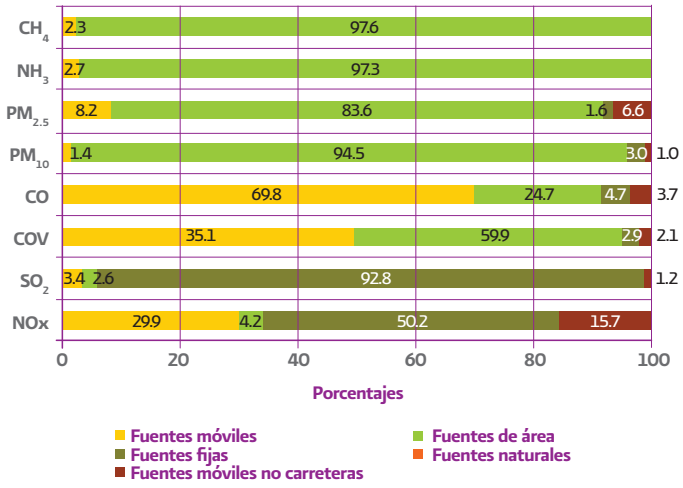
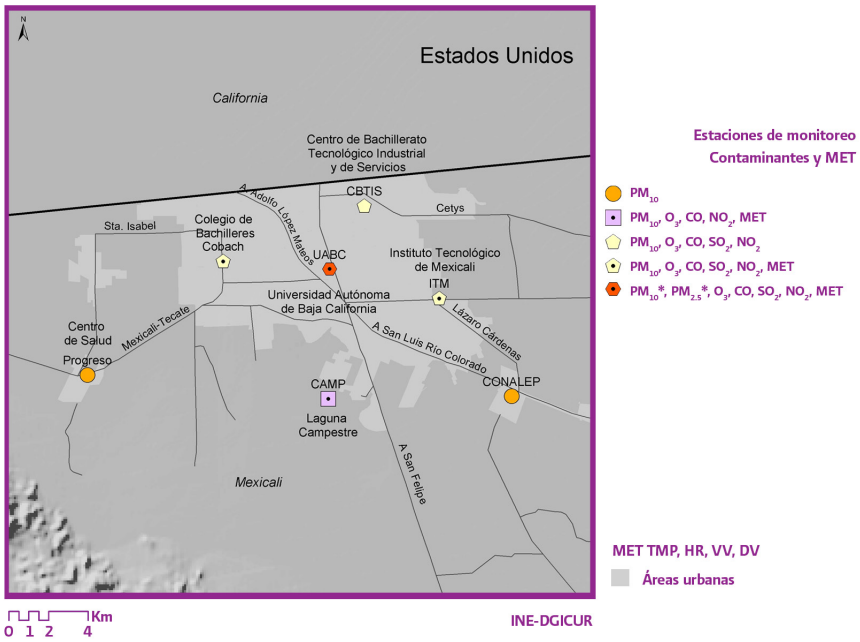


Figura 11.2 Estaciones de la RMA-Mexicali analizadas en el periodo 2000-2009



* La estación UABC cuenta con equipo manual y automático para las PM_{10} y con equipo automático para las $PM_{2.5}$; el resto de las estaciones que miden PM_{10} cuentan únicamente con equipo manual.

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Mexicali se comenzó a operar en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), de la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB), y de la entonces SEMARNAP. La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos, y era financiada por la USEPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades de la USEPA hacia el gobierno del estado de Baja California en México, este último ya administra la operación y el mantenimiento de la red (INE, 2010). La página http://aire.bajacalifornia.gob.mx/county.cfm?c=Mexicali contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red de monitoreo atmosférico de la ZM de Mexicali (RMA-Mexicali) se incorporó al SINAICA en el año 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RMA-Mexicali tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2009 son siete, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 11.2, en donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras.

La estación CBTIS (Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios) dejó de funcionar a partir del año 2002, y las estaciones Colegio de Bachilleres (Cobach) e Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM) dejaron de medir SO_2 a partir del año 2003. La estación Laguna Campestre (CAMP) empezó a medir PM_{10} a partir de abril de 2004, CO y NO_2 en 2005, y O_3 en 2006. La estación UABC empezó a medir $PM_{2.5}$ a partir de 2003.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 11.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Mexicali.

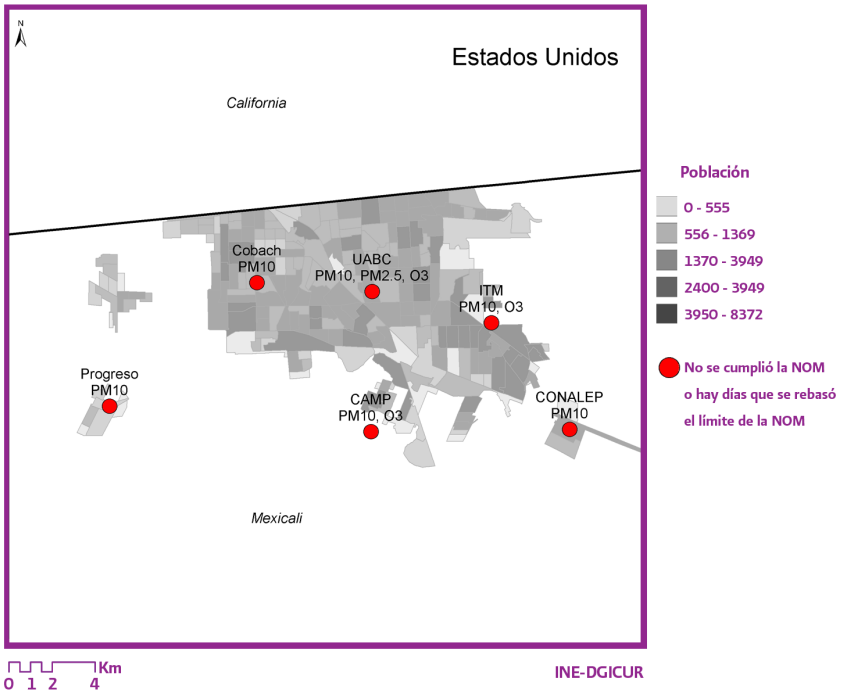
De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes en lo que respecta al porcentaje de datos validados. Por ejemplo, los equipos de medición de CO, $PM_{2.5}$ y NO_2 deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. También deben identificarse y corregirse las causas que provocan la baja recuperación de datos validados para todos los contaminantes, así como la oportunidad en la validación de los datos. Debido a los cambios administrativos que ha sufrido esta red, era de esperarse que se presentaran variaciones en su desempeño. En general, la atención de estos problemas incrementaría tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se abriría la posibilidad de dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos.

Cuadro 11.1 Desempeño de la RMA-Mexicali (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]	■				
	$PM_{2.5}$ [b]				■	
	O_3	■				
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2	■				
Trazabilidad[c] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[d]	PM_{10}			■		
	$PM_{2.5}$			■		
	O_3			■		
	CO			■		
	NO_2			■		
	SO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos				■		
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Equipo automático.
c Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
d Para las PM_{10} el porcentaje de datos validados corresponde al periodo 2000-2009; para las $PM_{2.5}$, de 2003 a 2008, y para el O_3, el CO, el NO_2 y el SO_2, al 2000-2008.

Figura 11.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 y distribución de la población



11.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ZM de Mexicali

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la RMA-Mexicali sobre el periodo de 2000 a 2009, los principales problemas con la calidad del aire en Mexicali se relacionan con altas concentraciones de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3. La figura 11.3 muestra los contaminantes que representan el principal problema en cada una de las estaciones para el año más reciente con información disponible (2008). La estación CBTIS no se muestra en la figura, pues dejó de registrar mediciones desde el año 2002.

Como complemento, el cuadro 11.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2008), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la zona metropolitana, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI. Los datos de la calidad del aire validados que fueron analizados en este almanaque se obtuvieron tanto de la base de datos de la Agencia de Protección del Ambiente de California en la página web http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm, como de las autoridades estatales de Baja California.

Si bien se dispone de información sobre las PM_{10} para el análisis de los indicadores hasta 2009 (que se presenta en el apartado siguiente), el diagnóstico que se muestra en el cuadro 11.2 corresponde al año más reciente (2008) para el cual se cuenta con información para todos los contaminantes que se miden; esto, debido a que al momento de elaborar este documento los responsables de la red no habían reportado al INE la información validada de 2009 para los demás contaminantes.

Cuadro 11.2 Diagnóstico de la calidad del aire de la ZM-Mexicali. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZM-Mexicali	
PM_{10} [b]	24 horas	CAMP, Conalep, ITM y Progreso	Cobach	D.I.	47[c]
	Anual		Cobach	D.I.	
$PM_{2.5}$ [d]	24 horas	-	UABC	No se cumplió	74
	Anual		UABC	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	CAMP, ITM, UABC	No se cumplió	3
	Anual	Cobach	CAMP e ITM	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = no hay datos suficientes para determinar el cumplimiento de la NOM para la ciudad de Mexicali de acuerdo con los criterios establecidos en la misma.
a La evaluación del cumplimiento de la zona metropolitana se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b La evaluación del cumplimiento de la norma se realizó con la información del monitoreo manual.
c Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año; en total, 70 muestreos máximos en 2008.
d La evaluación del cumplimiento de la norma se realizó con información del monitoreo automático de la estación UABC.

Es importante señalar que para el caso de las PM_{10} se utilizó exclusivamente la información proveniente de los equipos manuales, y para el resto de los contaminantes, los datos de los equipos automáticos; esto se debe a la amplia cobertura de las estaciones manuales, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Sin embargo, el análisis de las $PM_{2.5}$ se realizó con la única información disponible de la estación UABC que cuenta con equipo automático.

Se observa que la información para evaluar el cumplimiento de las normas correspondientes a las PM_{10} y el O_3 no es suficiente. Sin embargo, se registran días en los que se presentaron valores superiores a los valores normados correspondientes a dichos contaminantes.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

11.3 Indicadores de la calidad del aire de Mexicali

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2000-2009 para las PM_{10}; 2003-2008 para las $PM_{2.5}$; y 2000-2008 para el resto de los contaminantes (O_3, SO_2, NO_2 y CO). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

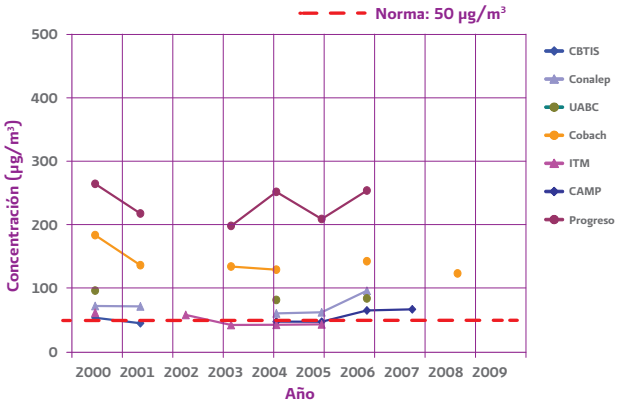
Nota importante: el mapa con la representación espacial de las concentraciones de $PM_{2.5}$ no se presenta porque se requiere de al menos tres estaciones que registren el contaminante para la interpolación.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2, NO_2 y CO. El número de estaciones tomadas en cuenta para el cálculo puede variar dependiendo del contaminante y del método de cálculo, por lo que en cada caso se señala el número de estaciones utilizado.

Indicadores de las PM_{10}

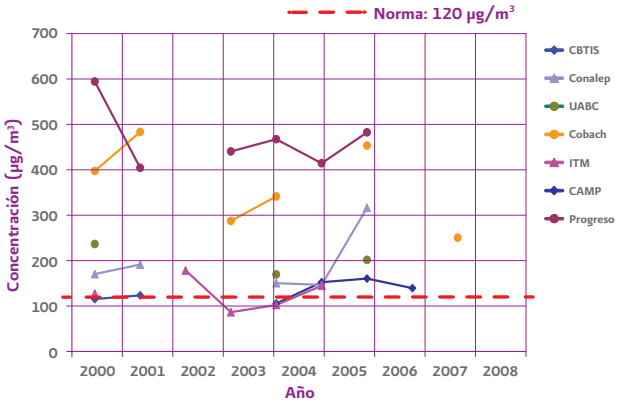
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

Los datos en la mayoría de las estaciones son insuficientes para evaluar el cumplimiento de esta norma en muchos de los años. Sin embargo, en los casos en los que sí fue posible evaluarla se rebasó el límite establecido, a excepción de CBTIS en 2001 CAMP en 2004 y 2005 e ITM de 2003 a 2005. La estación Progreso registra los valores más altos, que llegan a ser seis veces el especificado en la norma.



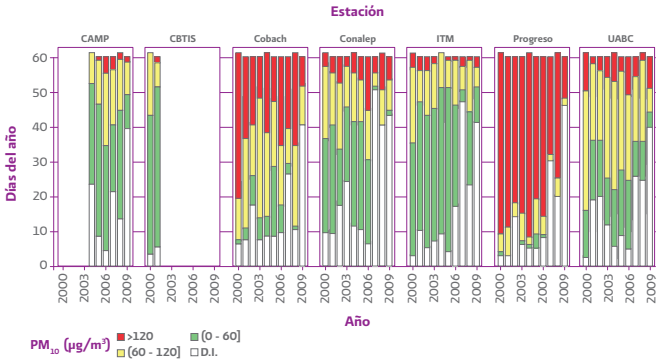
Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

De igual manera que para la norma anual, también hay mucha información faltante, pero los datos disponibles indican que no se cumple la norma en ninguna de las estaciones en ningún año, excepto en ITM en 2003 y 2004 y CAMP en 2004 y 2005. La estación Progreso registra los valores más altos, que llegan a ser seis veces el especificado en la norma.



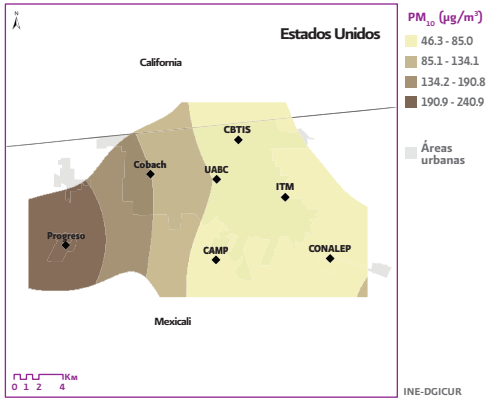
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Colegio de Bachilleres (Cobach) y Centro de Salud (Progreso) son las estaciones que presentan la mayor cantidad de días en rojo. En ninguna de las estaciones es posible determinar alguna tendencia porque en los últimos años aumentó drásticamente el número de días sin información (en blanco).



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 horas)

Los niveles más altos de este contaminante se presentan hacia el poniente de la zona urbana, en la estación Centro de Salud (Progreso), y disminuyen hacia el centro y el oriente de la red. Mexicali es una zona árida y cuenta con muchas vialidades sin pavimentar; específicamente, la estación Progreso se ubica en una zona de terracería con intenso flujo vehicular y aledaña a campos agrícolas, lo que puede influir en los niveles registrados (Corona-Zambrano y Rojas-Caldelas, 2009).

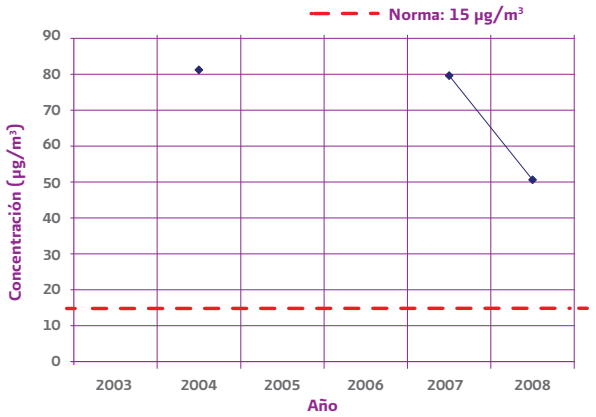


Nota: se utilizaron los datos de siete estaciones manuales de la RMA-Mexicali para la elaboración de las gráficas y los mapas.

Indicadores de las $PM_{2.5}$

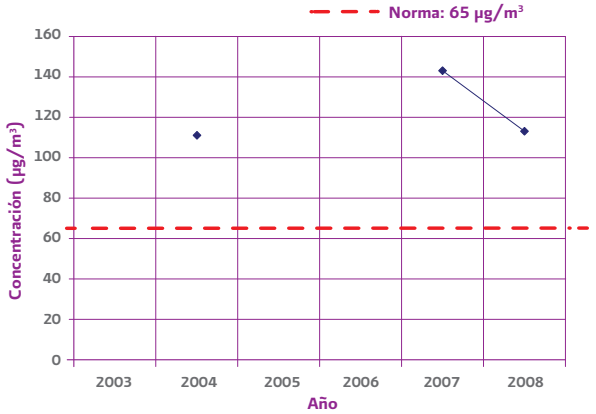
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

En los años en los que se han podido calcular los indicadores (2004, 2007 y 2008), éstos están por arriba del valor especificado. Para poder hacer un diagnóstico adecuado de la calidad del aire con respecto a este contaminante, se requeriría una operación más constante de la red y más estaciones, con el objeto de observar tendencias.



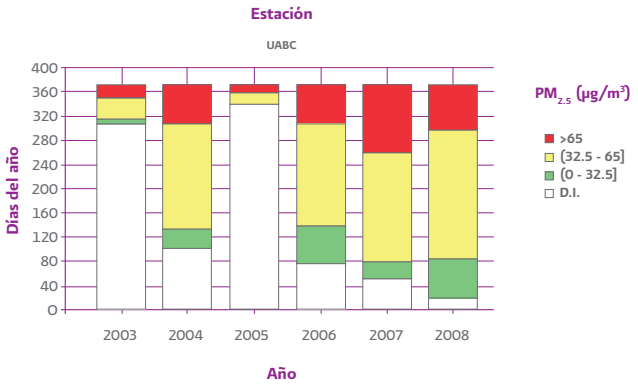
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

El comportamiento de este indicador es igual al del límite anual.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

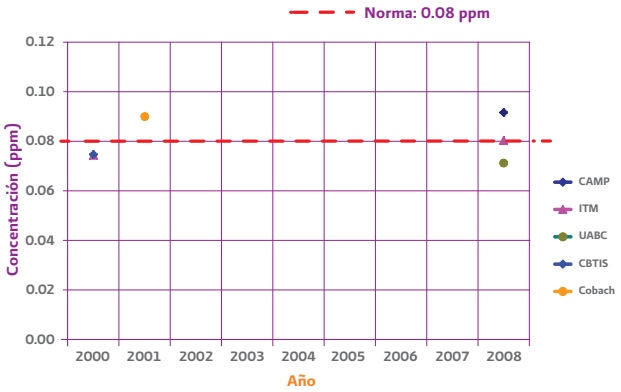
Se aprecia que la suficiencia de información ha mejorado en los últimos dos años. A partir de los datos disponibles, no es posible determinar una tendencia del número de días con valores por arriba de la norma; sin embargo, se observa en los últimos tres años del periodo que el número de días en rojo y amarillo es alto.



Indicadores del O_3

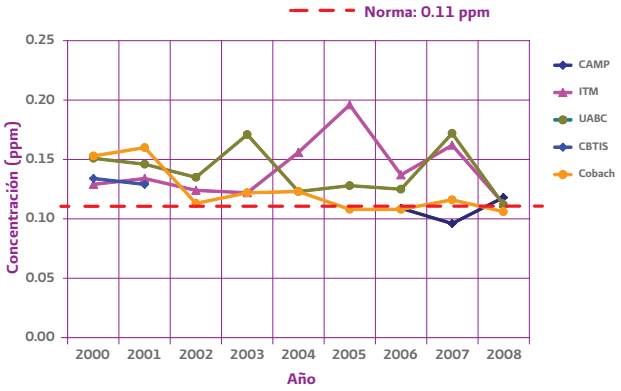
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Para el último año analizado (2008) se observa que de las cuatro estaciones que miden ozono, en Campestre (CAMP) e Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM) no se cumplió la norma; en Colegio de Bachilleres (Cobach) no se contó con datos suficientes, y en Universidad Autónoma de Baja California (UABC) se registra un dato ligeramente por debajo del valor normado.



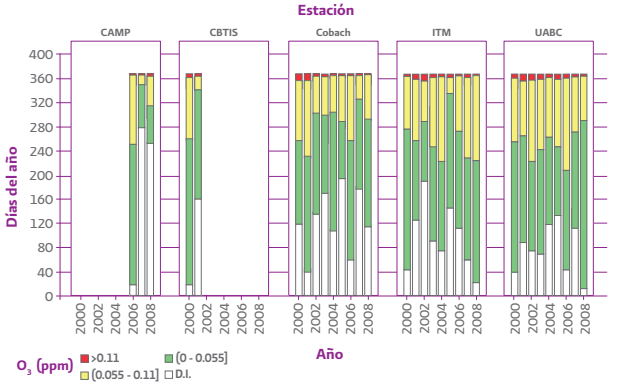
Límite horario (máximo horario)

En todas las estaciones de monitoreo se rebasa el límite establecido en la norma, excepto en Campestre (CAMP) en 2006 y 2007, así como en Colegio de Bachilleres (Cobach) en 2005, 2006 y 2008. No es posible observar una tendencia clara para el periodo.



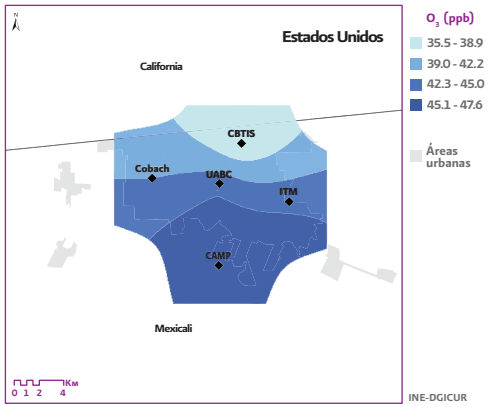
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

La disponibilidad de información válida ha mejorado notablemente en las estaciones ITM, CAMP y UABC, y ligeramente en Cobach en los últimos años. La estación UABC presenta el mayor número de los días por arriba del valor normado en el periodo, y en todas las estaciones los días en rojo y en amarillo representan menos de la mitad de los días del año.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En el norte de la zona urbana se encuentran las concentraciones más bajas de este contaminante en la estación CBTIS, con una tendencia creciente hacia el sur de la ciudad en las estaciones Colegio de Bachilleres (Cobach), Universidad Autónoma de Baja California (UABC) e Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM). Generalmente el comportamiento del ozono responde a la dirección y la velocidad de los vientos.

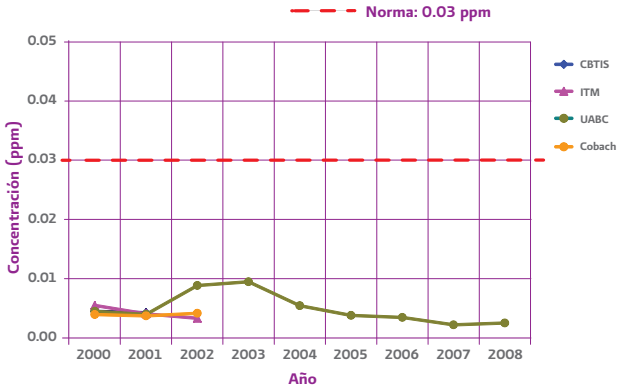


Nota: se utilizaron los datos de cinco estaciones automáticas de la RMA-Mexicali para la elaboración de las gráficas y los mapas.

Indicadores del SO_2

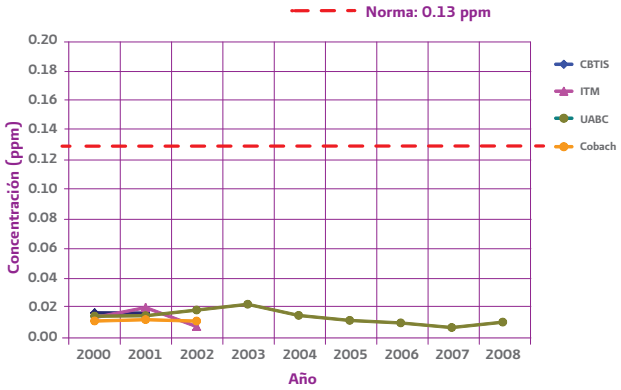
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

Aun cuando en el año 2003 dejaron de medir todas las estaciones excepto Universidad Autónoma de Baja California (UABC), los niveles registrados en el periodo sugieren que las concentraciones de este contaminante no representan un problema para el cumplimiento de las normas respectivas.



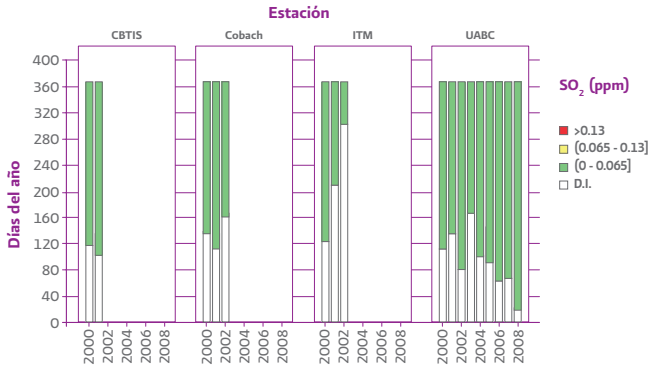
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

El comportamiento de este indicador es igual al del límite anual.



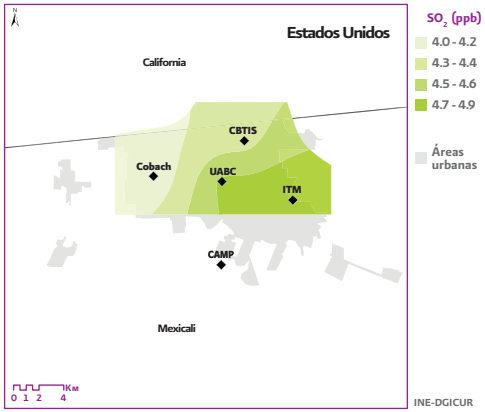
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Actualmente solo la estación Universidad Autónoma de Baja California (UABC) mide SO_2, y para todos los días que han tenido mediciones, los valores han estado por debajo de la mitad del valor normado.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

Se observa que los niveles más altos se ubican al este de la zona urbana en los alrededores de la estación Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM), con menores concentraciones en el centro y el norte en Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y CBTIS, y los niveles más bajos en la zona poniente en Colegio de Bachilleres (Cobach). Sin embargo, dado que desde 2003 no se mide este contaminante en Cobach e ITM, y desde 2002 en CBTIS, este comportamiento espacial podría variar en la actualidad.

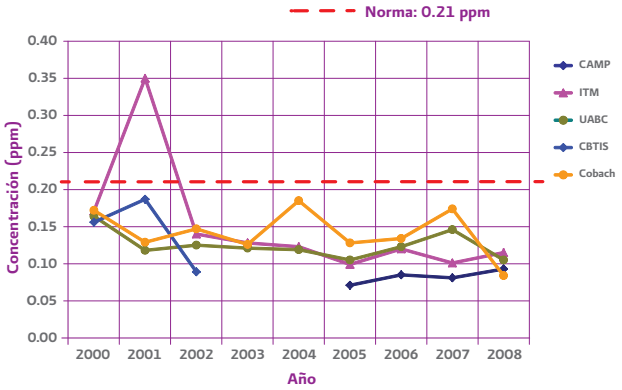


Nota: se utilizaron los datos de cuatro estaciones automáticas de la RMA-Mexicali para la elaboración de las gráficas y los mapas.

Indicadores del NO_2

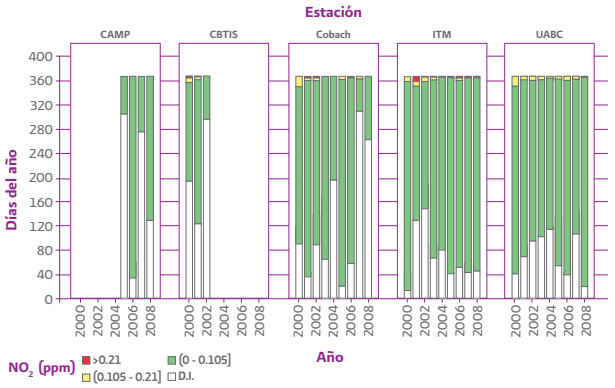
Límite horario (segundo máximo horario)

A excepción de 2001, cuando se observa una concentración superior al valor normado, proveniente de la estación ITM, la norma se ha cumplido durante el periodo 2000 a 2008.



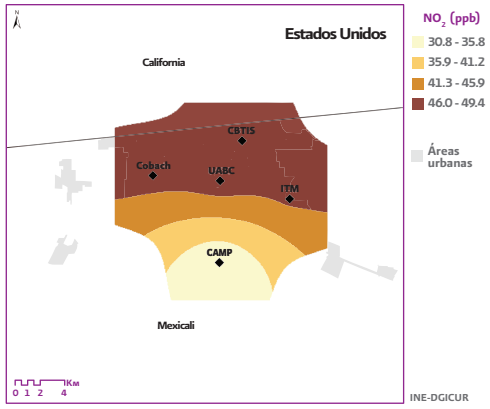
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Las estaciones ITM y UABC cuentan con el mayor porcentaje de días con datos validados en los últimos años. En estas estaciones se han presentado unos pocos días en amarillo, por lo que se considera que, con respecto a este contaminante, no hay un problema con la calidad del aire. Las estaciones CAMP y Cobach no cuentan con información suficiente que permita determinar una tendencia en los últimos años.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

Las concentraciones más altas de NO_2 se registran en el norte de la zona urbana en las inmediaciones de CBTIS, Colegio de Bachilleres (Cobach), Universidad Autónoma de Baja California (UABC) e Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM), con una atenuación hacia la zona sur, en donde se ubica la estación Campestre (CAMP).

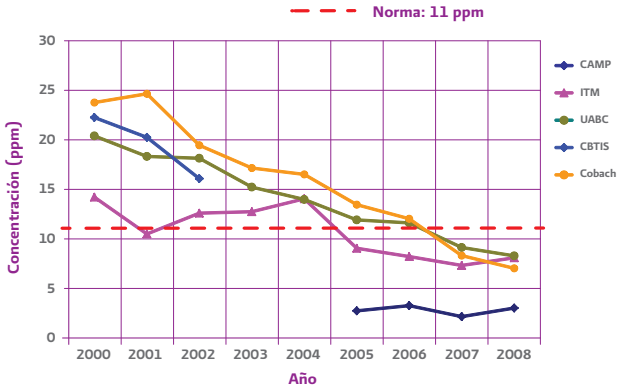


Nota: se utilizaron los datos de cinco estaciones automáticas de la RMA-Mexicali para la elaboración de las gráficas y los mapas.

Indicadores del CO

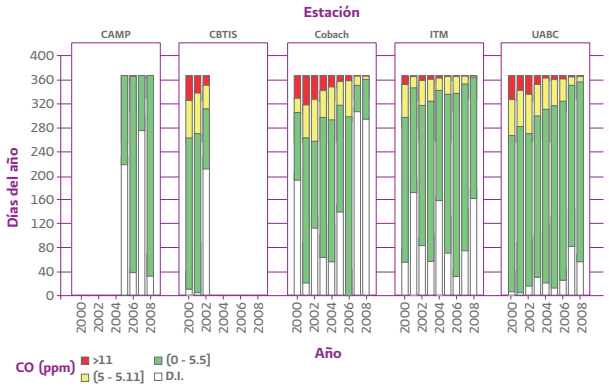
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Se observa una tendencia a la baja de este indicador, y en los últimos dos años del periodo analizado (2007 y 2008) se logra cumplir la norma en todas las estaciones.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

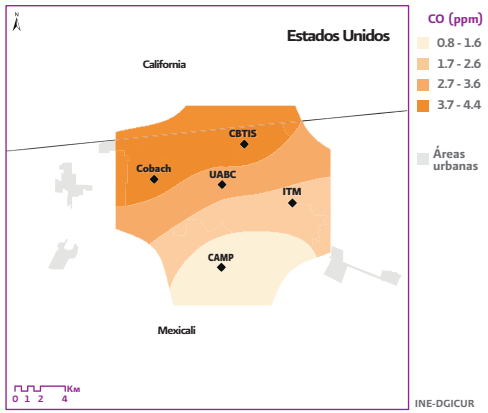
La estación UABC es la que presenta mayor suficiencia de información en todo el periodo, y es donde se presentó el mayor número de días en los que se excedió el valor normado; sin embargo, se observa una tendencia de reducción de días en rojo y amarrillo en esta estación. En el resto de las estaciones se han reducido también los días en amarillo y rojo, pero la información no es suficiente como para notar una tendencia.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

La distribución de este contaminante presenta una disminución de noroeste a sureste, con concentraciones más altas en CBTIS y en Colegio de Bachilleres (Cobach).

Casi el 70% de las emisiones de CO provienen de fuentes vehiculares (ver figura 11.1.), y en esta ciudad alrededor del 48% del parque vehicular es mayor de 10 años (WGA *et al.,* 2009).



Nota: se utilizaron los datos de cinco estaciones automáticas de la RMA-Mexicali para la elaboración de las gráficas y los mapas.

12.

Durango, Dgo.

12.1 Información general

Superficie	10 042 km^2 (Municipios, 2010)	**Índice de motorización**	33 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1880 msnm (INEGI, 2010d)		
Población en 2010	582 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	El municipio de Durango se destaca por su producción de carne de ave y maíz, además de la explotación forestal de sus bosques de pino y encino (GED-INFDM, 2005)
Flota vehicular en 2009	194 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

El municipio de Durango cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010); de éste destaca que la fuente más importante de emisión de COV, NOx y CO son los vehículos, en tanto que las fuentes de área son el origen más significativo de partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), y que las fuentes fijas son la fuente primordial de SOx (figura 12.1).

Figura 12.1 Inventario de emisiones del municipio de Durango (2005)

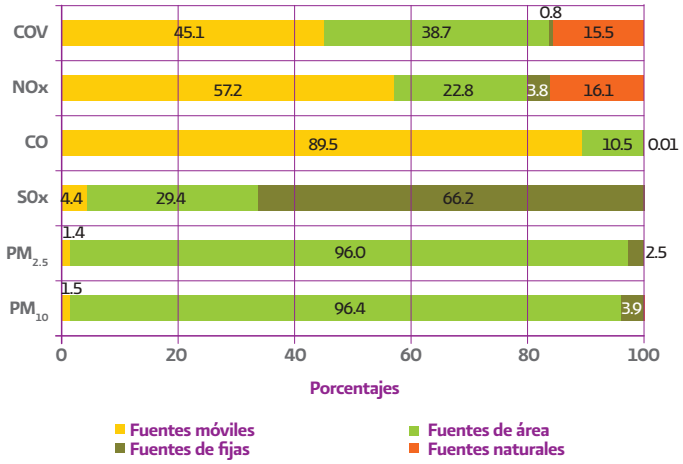
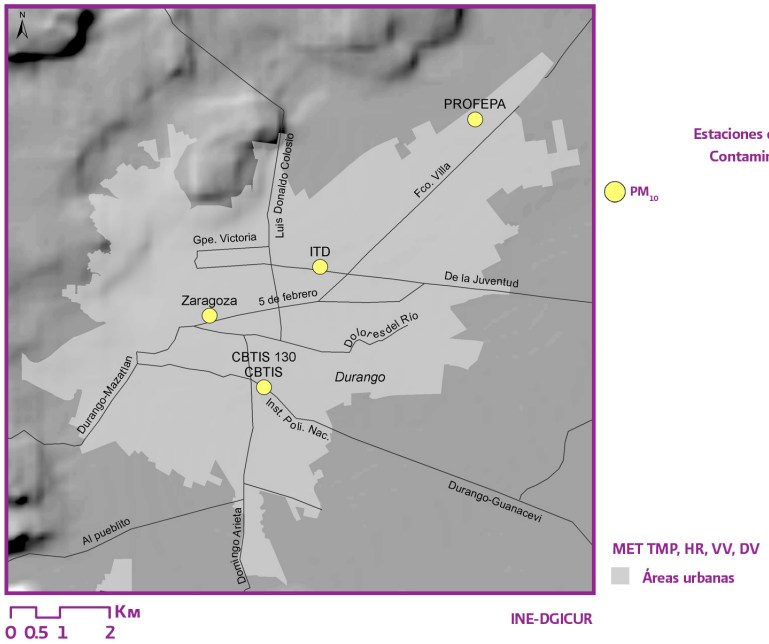


Figura 12.2 Estaciones de la red manual de monitoreo atmosférico del municipio de Durango analizadas en el periodo 2006-2008



El programa de monitoreo atmosférico en el estado de Durango se inició en 2003. Su red de monitoreo atmosférico cuenta con estaciones automáticas y manuales y una unidad móvil que miden PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2. Sin embargo, en este apartado se incluye únicamente el análisis de la información reportada para las PM_{10} en el periodo 2006-2008 en las cuatro estaciones de monitoreo manual; esto se debe a que es la única que cumple con el criterio de inclusión de este almanaque: contar con al menos tres años consecutivos de mediciones. La página http://sinaica.ine.gob.mx/rama_durango.html contiene más información sobre la red de monitoreo del estado. En 2006 la red de monitoreo automática se integró al SINAICA, y desde entonces transmite su información a dicho sistema en tiempo casi real.

Las cuatro estaciones de monitoreo manual tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire entre 2006 y 2008 se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 12.2, donde asimismo se muestran las principales carreteras.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capitulo 22, el cuadro 12.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de esta red de monitoreo. De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo del municipio no ha sido sometida a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usa-

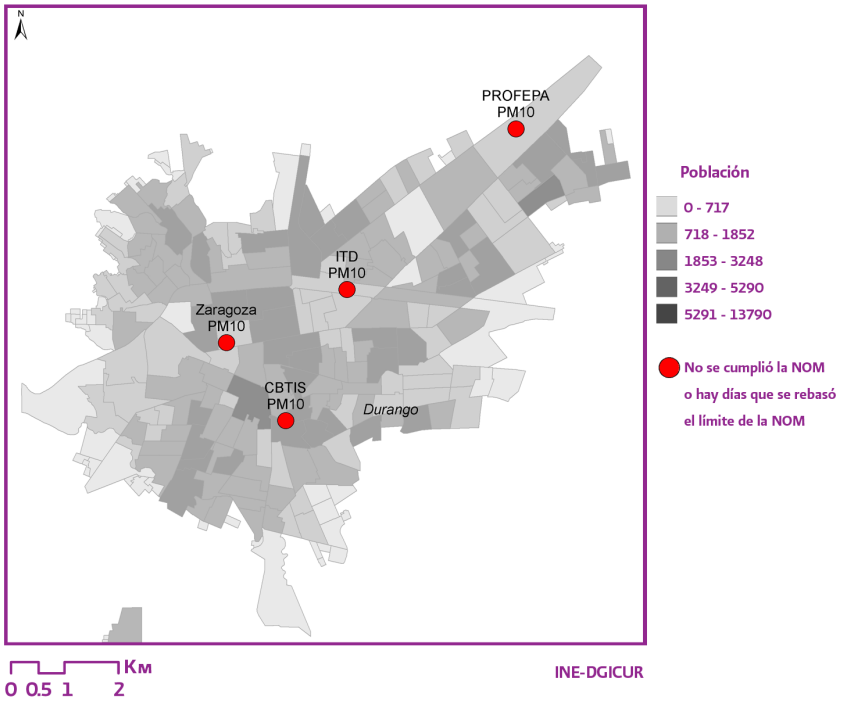
do en este almanaque, pues se ignora si los equipos de medición que componen la red están operando de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente", que se incluye en el cuadro 12.1, no podría ser considerada en la evaluación del desempeño de la red al no existir auditorías; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar auditorías a la red de monitoreo, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de esta red. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, así como el procedimiento y la oportunidad con que se hace la validación de los datos.

Cuadro 12.1 Desempeño de la red manual de monitoreo atmosférico del municipio de Durango (2006-2008)

Parámetro evaluado	Desempeño por parámetro				Desempeño global
	Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					Requiere atención
No. de equipos de medición de PM_{10} que pasaron la auditoría más reciente (2009)					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración[b]					
Porcentaje de datos validados de PM_{10} (2000-2009)					
Procedimiento de validación de los datos					
Oportunidad en la validación de los datos					
Difusión de la información					

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
b Para muestreadores de alto volumen.

Figura 12.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2006 y distribución de la población



12.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en el municipio de Durango

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo en el periodo 2006-2008, las PM_{10} representan un problema para la calidad del aire en las cuatro estaciones de monitoreo. La figura 12.3 muestra la ubicación de todas las estaciones y la densidad de la población, y puede observarse que las estaciones Zaragoza y CBTIS son aledañas a zonas más densamente pobladas que las correspondientes a las otras dos estaciones.

Este diagnóstico corresponde al año más reciente (2006) del que se cuenta con información suficiente en las cuatro estaciones de monitoreo para calcular el cumplimiento con respecto a la norma de las PM_{10}. Como complemento, el cuadro 12.3 incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma, y un indicador para todo el municipio.

Cuadro 12.2 Diagnóstico de la calidad del aire en el municipio de Durango. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2006[a]

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días[c] en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[b] para el Municipio de Durango	
PM_{10}	24 horas	-	PROFEPA	No se cumplió	28
	Anual		CBTIS, ITD, PROFEPA y ZARAGOZA	No se cumplió	

Notas:
a Se consideró la información del año 2006 debido a que en este año las cuatro estaciones de monitoreo cumplieron con los criterios de suficiencia de datos establecidos en la norma para las partículas.
b La evaluación del cumplimiento del municipio se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
c días = muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año.

En general, destaca que en 2006 a nivel del municipio no se cumplió con la norma anual ni con la de 24 horas, en tanto que a nivel desagregado se observa que en ninguna de las estaciones se cumple con la norma anual. Asimismo llama la atención la insuficiencia de datos en la mayoría de las estaciones en 2007 y 2008 para evaluar el cumplimiento de los dos valores normados de las PM_{10}.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las normas de la calidad del aire para las PM_{10} en la zona a lo largo del periodo de análisis.

12.3 Indicadores de la calidad del aire del municipio de Durango

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2008. Para el cálculo se utilizó la información proveniente de cuatro estaciones manuales de la red: CBTIS 130 (CBTIS), ITD, PROFEPA y Zaragoza. Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a las PM_{10}: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado y por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

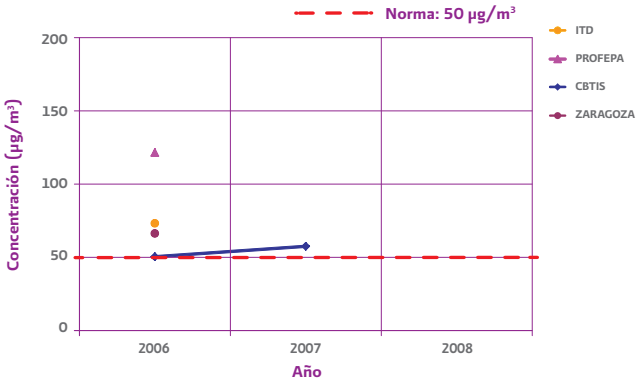
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2006-2008: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar u obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México".

Indicadores de las PM_{10}

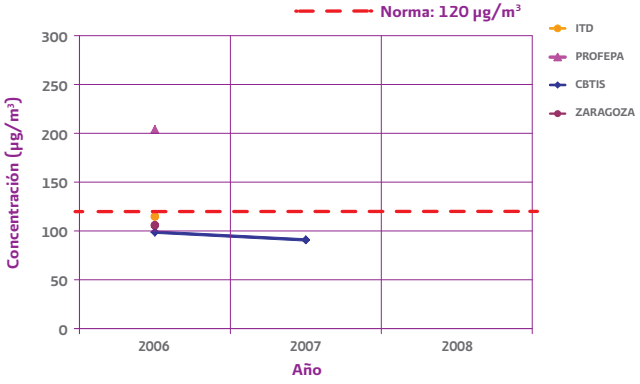
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

Lo primero que destaca en esta figura es la escasez de datos. Solo en 2006 se reportan datos para las cuatro estaciones de monitoreo, y en general se puede apreciar que en todas ellas se rebasó el valor normado; la estación PROFEPA es la que presentó el registro más elevado, con una concentración equivalente a más del doble del valor de la norma.



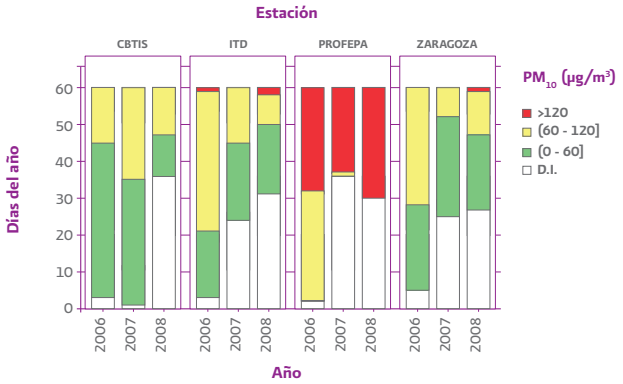
Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

En esta figura se observa que en 2006 la norma diaria de las PM_{10} se cumplió en las estaciones ITD, CBTIS y Zaragoza, en tanto que en la estación PROFEPA no se cumplió, dado que se registraron concentraciones superiores a los 200 µg/m³, lo que equivale a casi el doble del valor normado.



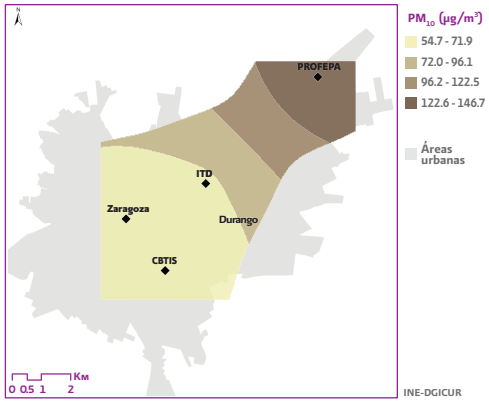
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

Destaca la gran cantidad de días con mala calidad del aire que suelen presentarse en la estación PROFEPA, así como la aparente disminución en el número de días con calidad del aire regular (amarillo) en las estaciones ITD y Zaragoza en años recientes; sin embargo, también es notable la escasez de información (en blanco) en todas las estaciones de monitoreo, sobre todo en 2007 y 2008.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los muestreos de 24 h)

Esta figura muestra que las concentraciones más altas de PM_{10} suelen ocurrir al norte del municipio, en las inmediaciones de la estación PROFEPA, y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección sur y oeste, hasta registrar las concentraciones más bajas en las estaciones Zaragoza y CBTIS.



13.

Irapuato, Gto.

13.1 Información general

Superficie	786 km^2 (Municipios, 2010b)	**Índice de motorización**	224 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1730 msnm (INEGI, 2010e)		
Población en 2010	529.4 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La economía de Irapuato se basa en la industria de servicios. Además de la producción y comercialización de la fresa, también se cultivan frutas, cereales y hortalizas, y se cría ganado porcino (GEG-INFDM, 2005a)
Flota vehicular en 2009	118 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

El municipio de Irapuato cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010); de éste destaca que la fuente más importante de emisión de NOx y CO son los vehículos, en tanto que las fuentes de área son el origen más significativo de partículas PM_{10} y SOx; las fuentes fijas son también una fuente importante de SOx, mientras que los vehículos y las fuentes de área contribuyen casi por igual a las emisiones de COV (figura 13.1).

Figura 13.1 Inventario de emisiones del municipio de Irapuato (2005)

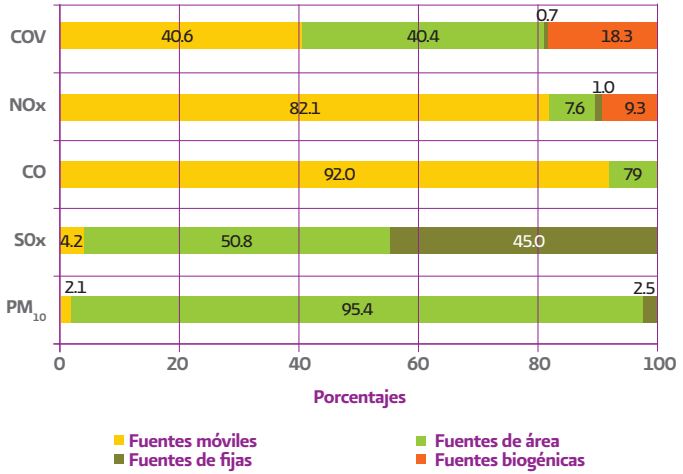
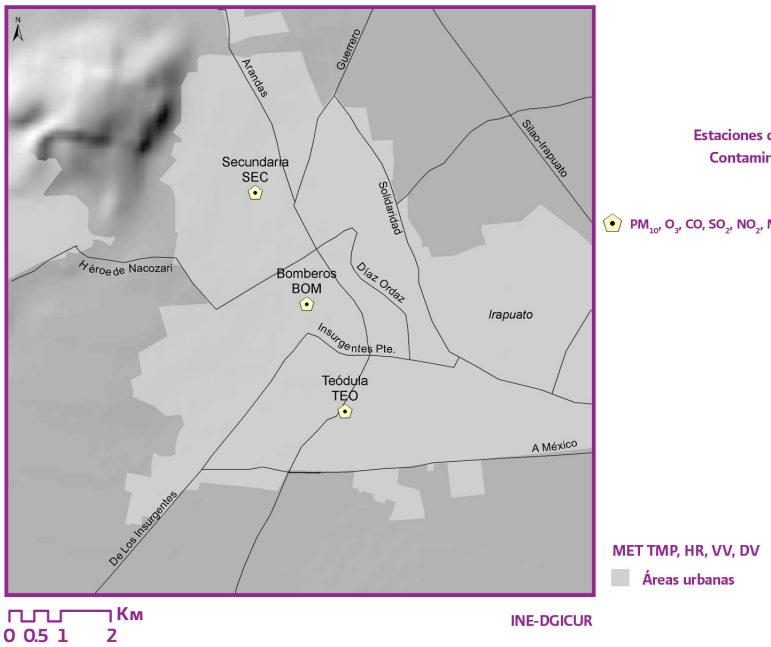


Figura 13.2 Estaciones de la RAMA-Irapuato analizadas en el periodo 2006-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Irapuato se inició en 2001. La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de Irapuato (RAMA-Irapuato) se incorporó al SINAICA en 2005, y desde entonces transmite sus datos en tiempo casi real.

Las estaciones automáticas de la RAMA-Irapuato tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire son tres, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 13.1, donde también se indican los contaminantes y parámetros que se miden en cada estación. Asimismo, se señalan las estaciones que miden variables meteorológicas, que se distinguen por incluir un punto en el símbolo correspondiente a la estación, y las principales carreteras. El periodo de análisis considerado en este almanaque es de 2006 a 2009 debido a que, de acuerdo con los responsables de la red, es en el que se tiene mayor confianza en la calidad de los datos.

La estación Teódula (TEO) inició operaciones en 2001, y se adicionaron las estaciones Bomberos (BOM) y Secundaria (SEC) en 2002.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 13.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Irapuato.

Es necesario mencionar que, en lo que respecta al número de equipos de medición que aprobaron la última auditoría y a la trazabilidad de los equipos de calibración, la evaluación del desempeño se llevó a cabo con los resultados de la revisión técnica realizada en el año 2010 a la red de monitoreo del estado de Guanajuato. Esta revisión incluyó una sola estación de monitoreo de cada ciudad; por lo tanto, en la ciudad de Irapuato solo se revisó la estación Bomberos, de las tres estaciones con las que cuenta esta red.

De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo de Irapuato solo ha sido sometida a una revisión técnica de desempeño (en 2010 y bajo las condiciones descritas anteriormente), situación que impacta negativamente en su desempeño. De acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque, el desempeño global de la red fue de "Mínimo aceptable", debido principalmente a los resultados obtenidos en la revisión técnica de la estación Bomberos, ya que ninguno de los equipos de medición obtuvo resultados positivos. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para conducir la operación de esta red en aspectos tales como la adecuación de los programas de control y aseguramiento de calidad orientados a una mayor exigencia y el establecimiento de un programa de revisiones técnicas. Lo anterior tiene el propósito de incrementar la confiabilidad de la información que se genera por esta red de monitoreo.

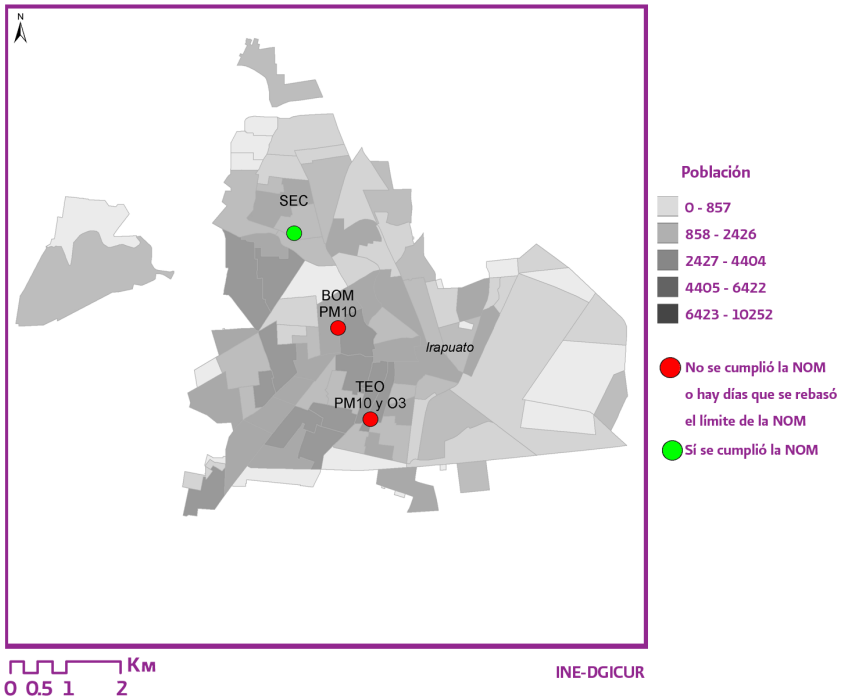
Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que aún se puede mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, en tanto que los procedimientos usados para hacer la validación y la difusión de los datos se consideran muy buenos.

Cuadro 13.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Irapuato (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos						
Difusión de la información						

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

Figura 13.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Desde el inicio de operaciones de esta red, las autoridades ambientales de Guanajuato han trabajado para generar información sobre la calidad del aire a través de una red de monitoreo eficaz y de una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas. Las actividades realizadas para mejorar el desempeño incluyen la calibración y la categorización de sus estaciones de monitoreo, así como la capacitación continua del personal técnico/operativo. Asimismo, a partir de 2010 las redes de monitoreo de Guanajuato participan en el programa de revisiones técnicas de desempeño que realiza el INE. Cabe destacar que la operación y la supervisión de las estaciones de monitoreo así como la difusión de datos de esta red están certificadas bajo el sistema ISO-9001:2008 (INE-DGCENICA, 2011).

13.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Irapuato

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo sobre el periodo 2006-2009, los principales problemas con la calidad del aire en Irapuato se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 13.3 muestra las tres estaciones de monitoreo e indica en cuáles se presentó algún problema con la calidad del aire durante el año 2009, así como el o los contaminantes que lo motivaron. Asimismo se observa que las estaciones BOM y TEO, donde se detectaron problemas con la calidad del aire, tienen a su alrededor zonas con alta densidad de población.

Como complemento, el cuadro 13.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 13.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Irapuato. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Irapuato	
PM_{10}	24 horas	-	-	Se cumplió	5[b]
	Anual		BOM	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	3
	Anual	BOM	TEO	No se cumplió	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
a La evaluación del cumplimiento de la ciudad se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b A pesar de que en cinco días se rebasó el límite de 120 µg/m³, la norma de 24 horas de las PM_{10} se cumplió debido a que éstos caen en la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM, del 2% de mediciones en un año.

Destaca el hecho de que las normas diarias (ya sea de 1, 8 o 24 horas) de todos los contaminantes se cumplieron durante 2009 tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de toda la ciudad de Irapuato. Cabe aclarar que si bien se cumplió con la norma diaria de las $PM_{10,}$ ésta se rebasó en cinco días de 2009, los que representan menos del 2% de las mediciones realizadas en el año, que es la frecuencia máxima aceptable según la norma de la calidad del aire para este contaminante. También destaca que se incumplieron las normas anuales respecto a las PM_{10} y el O_3 en Irapuato; por lo tanto, es importante implementar medidas de control que reduzcan sus concentraciones ambientales, pues de lo contrario podrían incrementarse.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

13.3 Indicadores de la calidad del aire de Irapuato

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2009. Para el cálculo de los indicadores se utilizó la información proveniente de las tres estaciones automáticas de la red: Bomberos (BOM), Secundaria (SEC) y Teódula (TEO). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

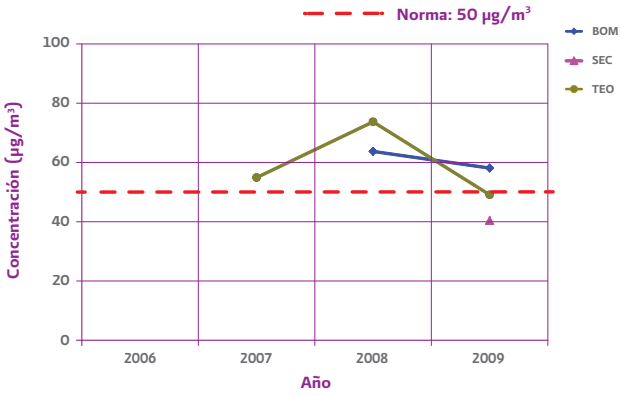
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2000-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar/obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

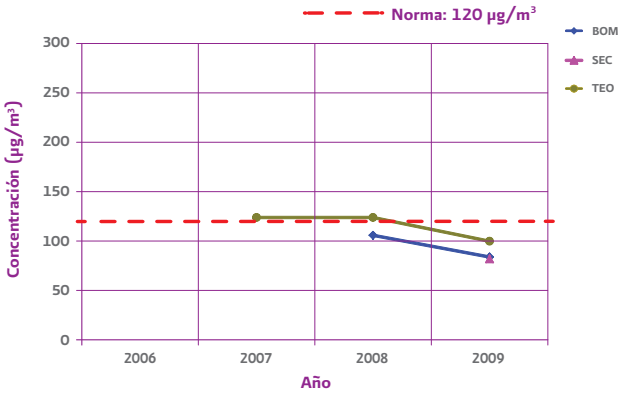
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

La figura muestra que en 2008 la norma anual se rebasó en las estaciones de monitoreo Bomberos (BOM) y Teódula (TEO), donde se pudo generar el indicador; para 2009 el problema persistió solo en la estación BOM, mientras que en las estaciones Secundaria (SEC) y TEO la situación mejoró y se dio cumplimiento a la norma.



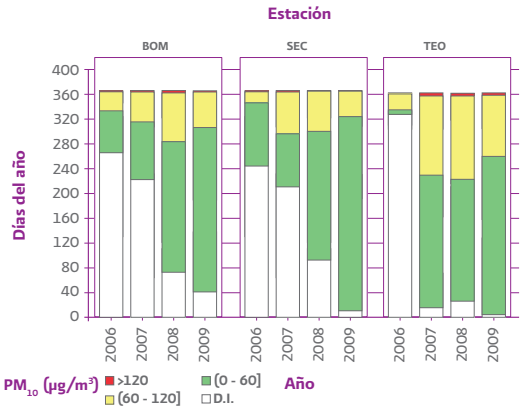
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

En esta figura se puede apreciar que en 2008 se incumplió la norma solo en la estación Teódula (TEO), y ya para 2009 se logró cumplir con la norma en todas las estaciones de monitoreo. Para los años anteriores solo fue posible generar el indicador en TEO en 2007, y éste revela que para ese año la concentración anual estimada también fue ligeramente superior a la norma.



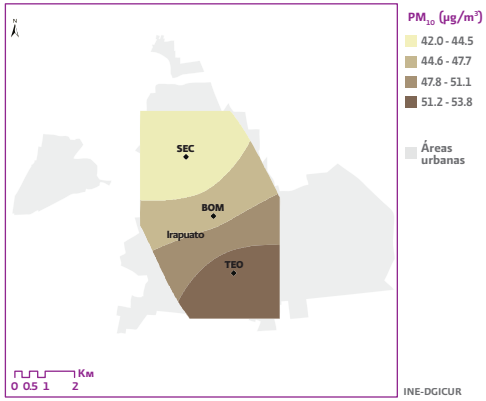
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Esta figura revela que el problema de las altas concentraciones de PM_{10} se manifiesta con mayor intensidad en la estación Teódula (TEO) que en Bomberos (BOM) y Secundaria (SEC), ya que en aquella suele registrarse una mayor cantidad de días en color rojo y amarillo. En las tres estaciones se observa, por otra parte, una ligera disminución del número de días en color amarillo para el último año respecto a los anteriores. También es de destacar que el número de días con información insuficiente ha ido disminuyendo de manera notable a través del tiempo en todas las estaciones.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

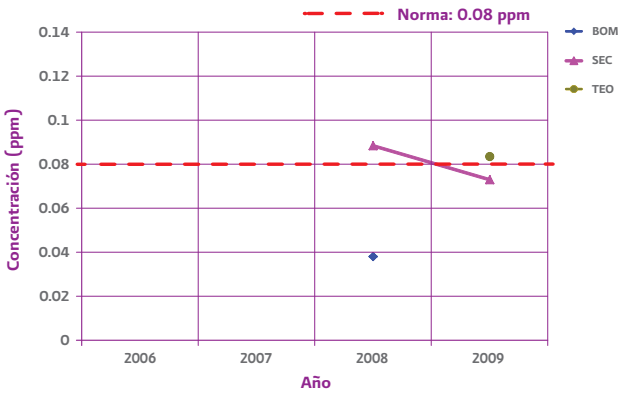
En esta figura se puede apreciar que las concentraciones más elevadas de PM_{10} suelen registrarse al sur de la ciudad, en los alrededores de la estación Teódula (TEO), con una notable atenuación a medida que se avanza hacia el norte, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación Secundaria (SEC).



Indicadores del O_3

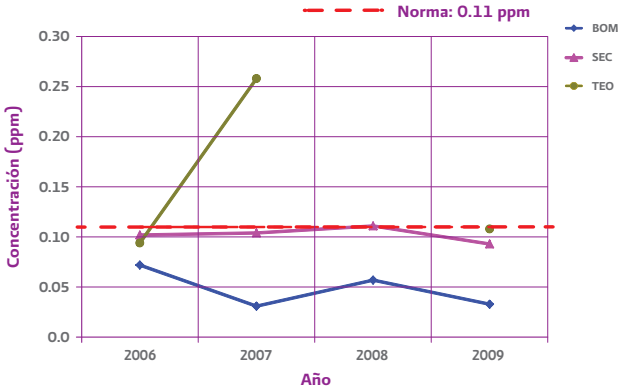
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Se presentan los valores con los que fue posible evaluar el indicador para el periodo de estudio; se observa que si bien se aprecian algunos puntos dispersos sobre el cumplimiento de la norma anual del ozono, dichos puntos revelan, sin embargo, que en las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO) la norma anual del ozono ha sido rebasada en al menos uno de los años analizados.



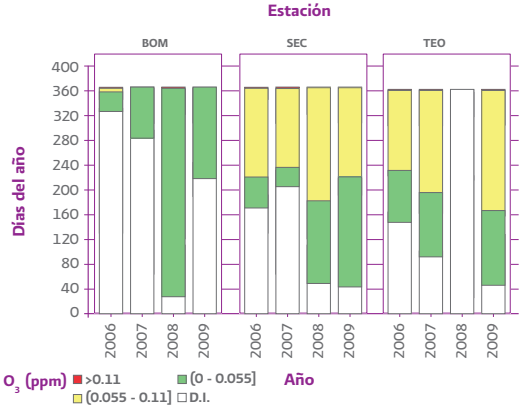
Límite horario (máximo horario)

Esta norma solo se cumple de manera permanente en la estación de monitoreo Bomberos (BOM), en tanto que en las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO) se ha rebasado en una ocasión durante el periodo analizado. Llama la atención también el hecho de que el máximo horario de ozono registrado en la estación TEO en 2007 fue superior a dos veces el valor de la norma.



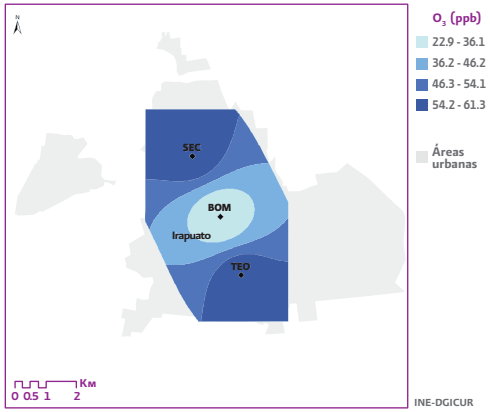
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Si bien aún son pocos los días en los que se tiene una mala calidad del aire (rojo), hay una cantidad significativa de días en color amarillo, especialmente en las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO). En la estación Bomberos (BOM) prácticamente todos los días con información disponible muestran una buena calidad del aire.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

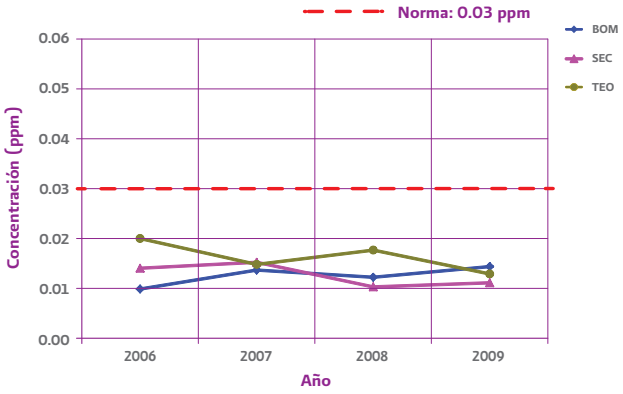
Las concentraciones más elevadas de ozono se presentan al norte y al sur de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO), respectivamente. Las concentraciones más bajas, por su parte, se observan en la zona centro, en las inmediaciones de la estación Bomberos (BOM).



Indicadores del SO_2

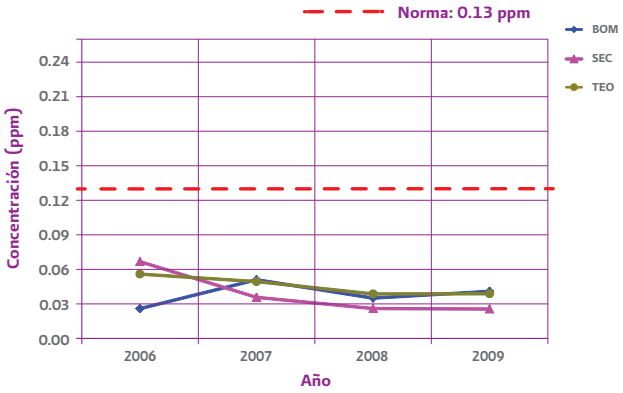
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican, en todas las estaciones y años, muy por debajo del límite normado.



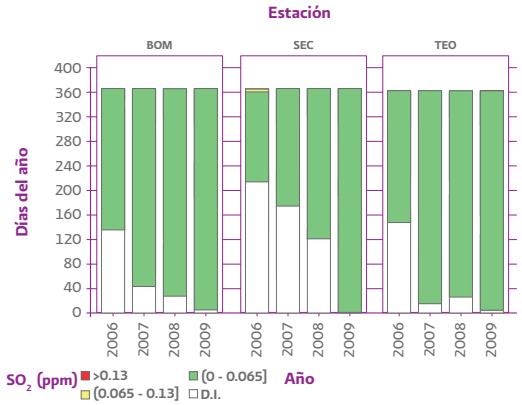
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todo el periodo analizado y en todas las estaciones de monitoreo, incluso con concentraciones inferiores a la mitad del valor normado.



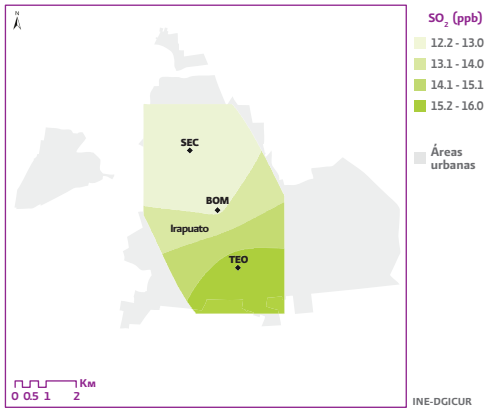
Distribución de los días con calidad del aire buena regular y mala (promedios de 24 h)

Esta figura revela que el SO_2 no representa un problema para la calidad del aire, pues prácticamente todos los días con información disponible caen en el color verde. También destaca la manera tan significativa en la que ha ido disminuyendo, a lo largo del tiempo, la cantidad de días con datos insuficientes.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios diarios de 24 h)

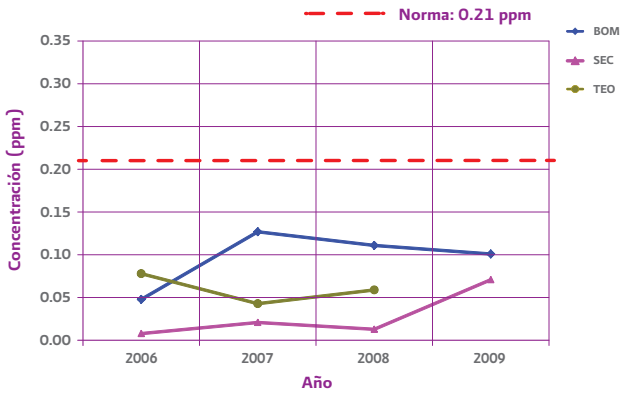
Al igual que en el caso de las partículas (PM_{10}), las concentraciones más elevadas de SO_2 suelen registrarse al sur de la ciudad, en los alrededores de la estación Teódula (TEO), con una notable atenuación a medida que se avanza hacia el norte, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación Secundaria (SEC).



Indicadores del NO_2

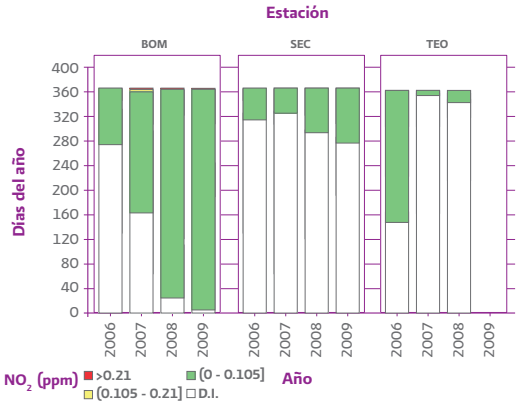
Límite horario (segundo máximo horario)

En todas las estaciones de monitoreo se observa un comportamiento diferente a lo largo del tiempo; sin embargo, el denominador común en ellas es que las concentraciones de NO_2 son permanentemente inferiores al valor de la norma. En consecuencia, también al nivel de toda la ciudad se cumple con esta norma en todo el periodo analizado.



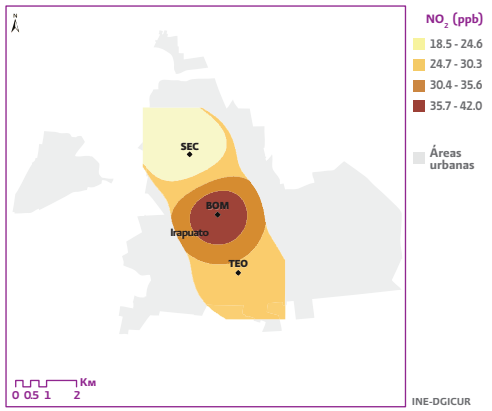
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Lo que más destaca de esta figura es la carencia de datos que permitan generar el indicador para una cantidad significativa de días en todos los años, especialmente en las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO). A pesar de ello, se puede rescatar que en general la ciudad de Irapuato no tiene problemas con la calidad del aire con respecto al NO_2, ya que la mayoría de los días para los que se puede generar el indicador se ubican en el color verde.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios)

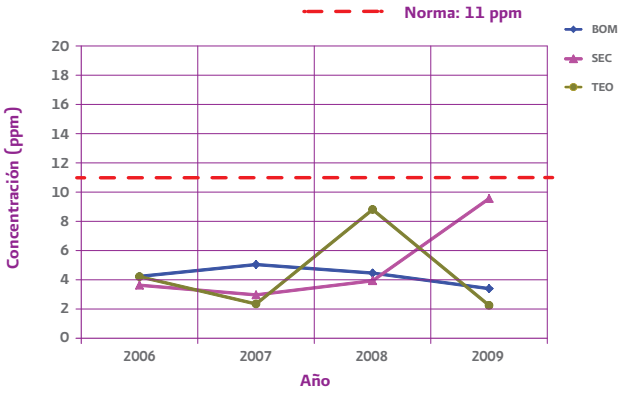
Las concentraciones más elevadas de NO_2 se observan en la zona centro, en las inmediaciones de la estación Bomberos (BOM), en tanto que las concentraciones más bajas se registran al norte y al sur de la ciudad, en las inmediaciones de las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO), respectivamente.



Indicadores del CO

Límite de 8 horas (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

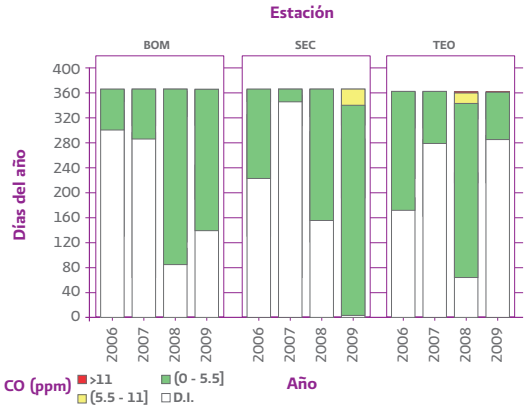
La norma de la calidad del aire para el CO se cumplió durante todo el periodo analizado en todas las estaciones de monitoreo, a pesar de que de manera ocasional se presentaron concentraciones cercanas a las 10 ppm, como se aprecia en la estación Teódula (TEO) en 2008 y Secundaria (SEC) en 2009.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8h)

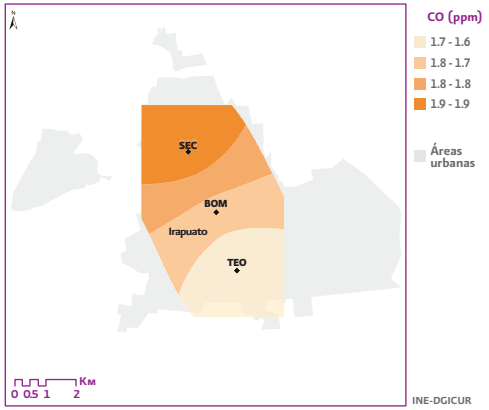
La mayoría de los días presentan una buena calidad del aire (verde), y solo en las estaciones Secundaria (SEC) y Teódula (TEO) se ha llegado a registrar una cantidad poco significativa de días en color amarillo.

Aunque por el momento el CO no representa un problema para la calidad del aire en Irapuato, resulta indispensable mejorar el desempeño de la red de monitoreo a fin de incrementar la disponibilidad de datos que permita generar el indicador correspondiente para una mayor cantidad de días por año.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En esta figura se puede apreciar que las concentraciones más elevadas de CO suelen registrarse al norte de la ciudad, en los alrededores de la estación Secundaria (SEC), con una notable atenuación a medida que se avanza hacia el sur, hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las inmediaciones de la estación Teódula (TEO).



14.

Gómez Palacio y Lerdo, Dgo.

14.1 Información general

Superficie	2859 km^2 (Municipios, 2010a)	**Actividad económica dominante**	En Gómez Palacio y Lerdo se encuentra la zona industrial más grande del estado de Durango; se fabrican, entre otros productos, partes automotrices, hilados, tejidos, ropa, jabones, aceites, galletas y pastas. Existen plantas laminadoras de mármol y empacadoras de pollo. La industria lechera muestra gran desarrollo con modernas pasteurizadoras (GED-INFDM, 2005)
Altitud	1145 msnm (INEGI, 2010f)		
Población en 2010	469 mil habitantes (INEGI, 2011b)		
Flota vehicular en 2009	113 mil vehículos (INEGI, 2010a)		
Índice de motorización	242 vehículos por cada mil habitantes		

El estado de Durango cuenta con un inventario de emisiones para los municipios de Lerdo y Gómez Palacio del año 2005; en éste destaca que los vehículos son la principal fuente de emisión de COV y CO, en tanto que las fuentes fijas lo son para partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), así como SOx y NOx (SEMARNAT, 2010).

Figura 14.1 Inventario de emisiones de Gómez Palacio y Lerdo (2005)

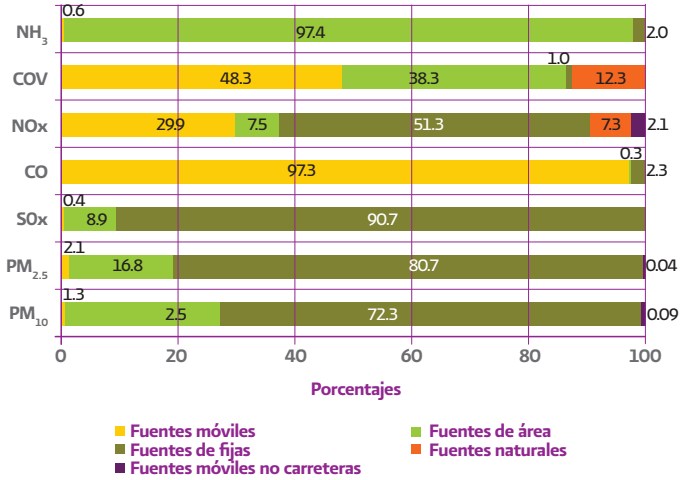
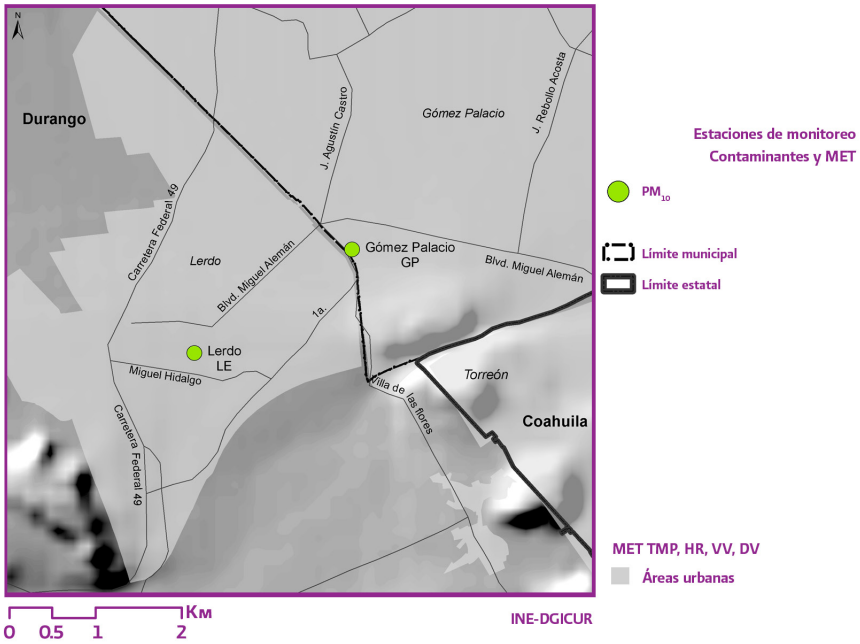


Figura 14.2 Estaciones de la RMA manual de Gómez Palacio y Lerdo analizadas en el periodo 2006-2008



El programa de monitoreo atmosférico en el estado de Durango se inició en 2003. Su red de monitoreo atmosférico cuenta con estaciones automáticas y manuales y una unidad móvil, que miden los contaminantes criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2). Sin embargo, en este apartado se incluye únicamente el análisis de la información de las PM_{10} reportadas en el periodo 2006-2008 por las dos estaciones de monitoreo manual Gómez Palacio y Lerdo. Lo anterior se debe a que, de la información reportada al INE, ésta es la única que cumple al menos tres años consecutivos de mediciones. La página http://sinaica.ine.gob.mx/rama_durango.html contiene más información sobre la red de monitoreo del estado.

Las estaciones de monitoreo manual tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire entre 2006 y 2008 se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 14.2, donde también se indican las principales carreteras y los límites municipales y estatales.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 14.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de Gómez Palacio y Lerdo en Durango.

De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo del municipio nunca ha sido sometida a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque, pues se ignora si los equipos de medición que componen la red están operando de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente", que se incluye en el cuadro 14.1, no podría ser considerada en la evaluación de desempeño de la red al no existir una auditoría; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar y llevar a cabo auditorías a la red de monitoreo, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de esta red.

Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, así como el procedimiento y la oportunidad con que se hace la validación de los datos.

Cuadro 14.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico manual de Gómez Palacio y Lerdo (2006-2008)

Parámetro evaluado	Desempeño por parámetro				Desempeño global
	Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					Requiere atención
No. de equipos de medición de PM_{10} que pasaron la auditoría más reciente					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración[b]					
Porcentaje de datos validados de PM_{10} (2006-2008)					
Procedimiento de validación de los datos					
Oportunidad en la validación de los datos					
Difusión de la información					

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
b Para muestreadores de alto volumen.

Figura 14.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2006 y distribución de la población

14.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Gómez Palacio y Lerdo

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo del periodo 2006-2008, las PM_{10} representan un problema para la calidad del aire en ambas estaciones (figura 14.3), y puede observarse que estas estaciones son aledañas a zonas densamente pobladas. Con la información disponible en el periodo analizado, solo en 2006 ambas estaciones cumplieron con los criterios de suficiencia de datos para su evaluación con respecto a las normas de las PM_{10}.

Como complemento, el cuadro 14.2 contiene el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2006), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para Gómez Palacio y Lerdo. Destaca la insuficiencia de datos en Lerdo en 2007 y 2008, así como la de Gómez Palacio en 2008, lo que no permitió evaluar dichas normas en esos años.

Cuadro 14.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Gómez Palacio y Lerdo. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2006[a]

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[b] para Gomez Palacio y Lerdo	
PM_{10}	24 horas	-	LE y GP	No se cumplió	13[c]
	Anual		LE y GP	No se cumplió	

Notas:
a Se consideró la información del año 2006, debido a que en 2007 solo la estación LE cumplió con los criterios de suficiencia de datos establecidos en la norma de las partículas, y en 2008 no se cumplió con los criterios anteriores en las dos estaciones.
b La evaluación del cumplimiento de los municipios se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
c días = muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año.

En general, destaca que en 2006 ni la norma anual ni la norma de 24 horas se cumplió en ninguna de las estaciones de monitoreo. En consecuencia, ninguna de estas normas se cumplió tampoco en los municipios de Gómez Palacio y Lerdo.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

14.3 Indicadores de la calidad del aire de Gómez Palacio y Lerdo

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2008. Para el cálculo se utilizó la información proveniente de ambas estaciones manuales de la red: Gómez Palacio (GP) y Lerdo (LE). Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a las PM_{10}: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

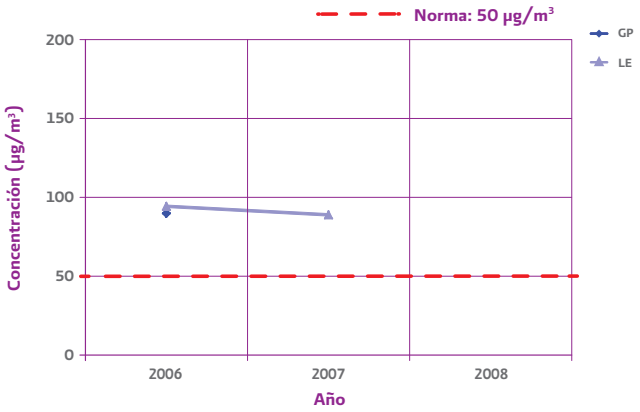
Nota importante: el mapa con la representación espacial de las concentraciones no se presenta porque se requiere de al menos tres estaciones que registren el contaminante para la interpolación.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México".

Indicadores de las PM_{10}

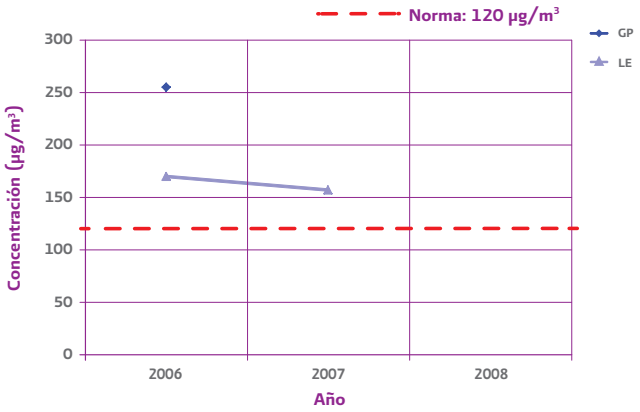
Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

Se puede apreciar con claridad la escasez de información, lo que impidió generar el indicador para todas las estaciones de monitoreo en todo el periodo analizado. Sin embargo, se puede destacar que en los pocos años en los que se ha podido generar el indicador, éste revela el incumplimiento de la norma anual, con valores promedio que superan de manera significativa el valor normado.



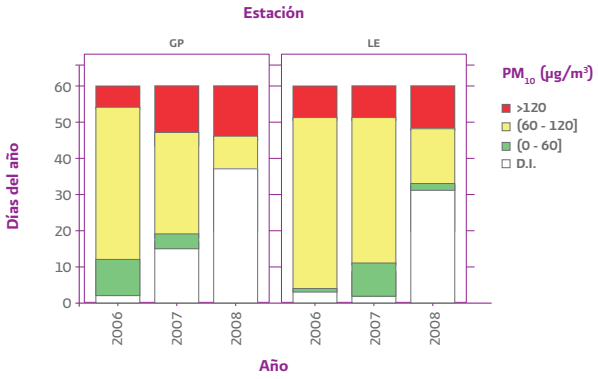
Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

Se rebasó el valor de la norma diaria de las PM_{10}, de manera simultánea, en las estaciones Lerdo (LE) y Gómez Palacio (GP) en 2006, en tanto que en 2007 solamente se pudo calcular el indicador para la estación LE, que de igual manera incumple la norma.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

Destaca la gran cantidad de días con información insuficiente, especialmente en 2008, cuando se cuenta únicamente con cerca del 30% de los muestreos. Sin embargo, a pesar de la escasez de información, se observan días con mala calidad del aire en ambas estaciones, así como una gran cantidad de días con calidad del aire regular (en amarillo), lo que sugiere la posibilidad de que en el futuro los días en rojo puedan incrementarse de manera importante.



15.

Celaya, Gto.

15.1 Información general

Superficie	553 km^2 (GEG-INFDM, 2005b)	**Índice de motorización**	263 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1752 msnm (GEG-INFDM, 2005b)		
Población en 2010	468 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La industria manufacturera, el comercio, los servicios de apoyo a los negocios, y el manejo de desechos (GEG-INFDM, 2005b)
Flota vehicular en 2009	123 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

El municipio de Celaya cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010); de éste destaca que la fuente más importante de emisión de CO, COV y NOx son los vehículos, en tanto que las fuentes de área son el origen más significativo de partículas PM_{10} y SOx, y también contribuyen a las emisiones de COV (figura15.1).

Figura 15.1 Inventario de emisiones del municipio de Celaya (2005)

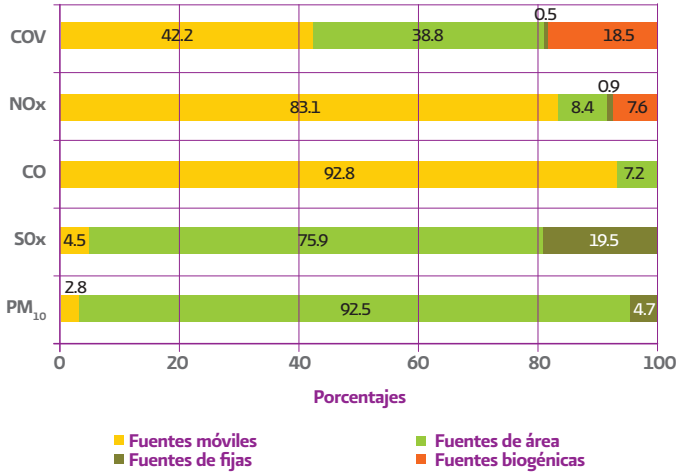
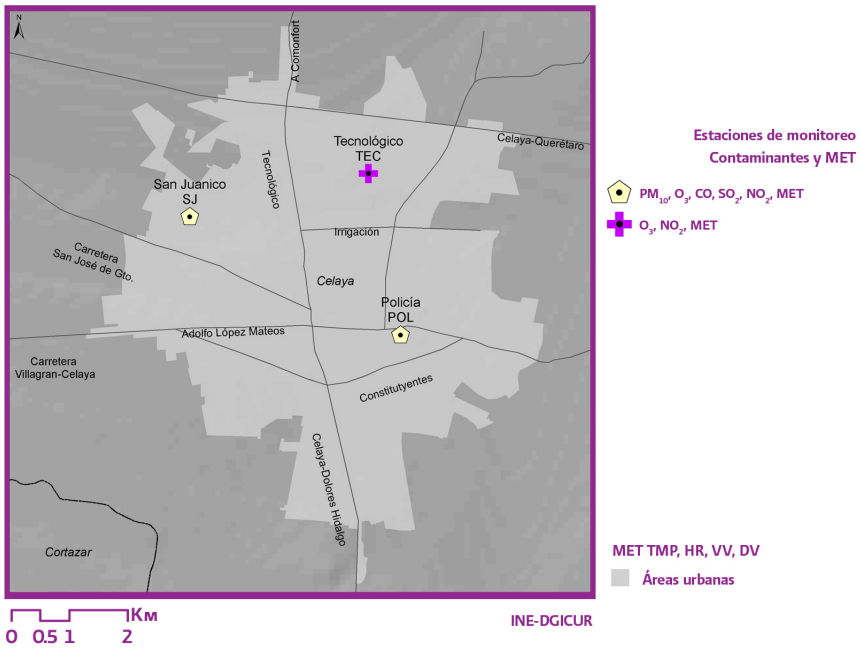


Figura 15.1 Estaciones de la RAMA-Celaya analizadas en el periodo 2006-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Celaya se inició en 2001 y cuenta con equipos automáticos. La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de Celaya (RAMA-Celaya) se incorporó al SINAICA en 2005, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-Celaya tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire son tres, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 15.1, en donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación, así como las principales carreteras. La estación San Juanico (SJ) inició operaciones en 2001; en 2002 se incorporaron las estaciones Tecnológico (TEC) y Policía (POL). El periodo de análisis considerado en este almanaque es de 2006 a 2009, periodo en el que se tiene mayor confianza en las mediciones, de acuerdo con los responsables de la red.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 15.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Celaya.

Cabe mencionar que, en lo que respecta al número de equipos de medición que aprobaron la última auditoría y a la trazabilidad de los equipos de calibración, la evaluación del desempeño se llevó a cabo con los resultados de la revisión técnica realizada en el año 2010 a la red estatal de monitoreo del estado de Guanajuato. Dicha revisión incluyó una sola estación de monitoreo de cada ciu-

dad; por lo tanto, en la ciudad de Celaya solo se revisó la estación Policía, de las tres estaciones que conforman la red de monitoreo.

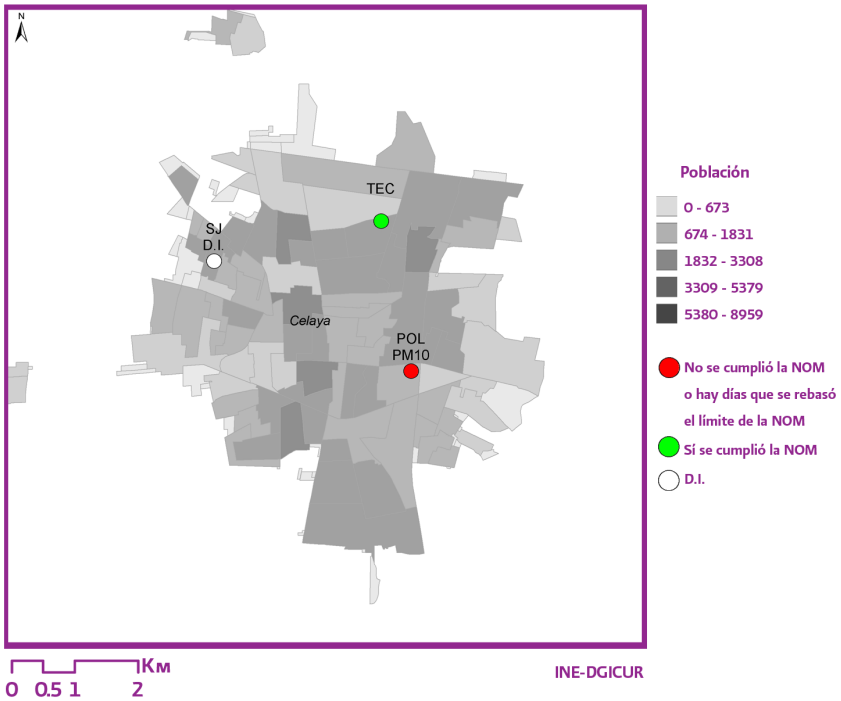
De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la red de monitoreo de Celaya solo ha sido sometida a una revisión técnica, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque. La calificación global de la red fue de "Mínimo aceptable", debido principalmente a los resultados obtenidos en la revisión técnica a la estación Policía, pues los equipos de medición para PM_{10} y O_3 no la aprobaron, mientras que los correspondientes a CO y SO_2 registraron un muy buen desempeño. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para establecer programas periódicos de revisiones técnicas que permitan evaluar la totalidad de los instrumentos que conforman la red y mejorar el trabajo que actualmente se hace para conducir su operación. Es importante adecuar los programas de control y aseguramiento de calidad para que involucren una mayor exigencia, específicamente a los equipos mencionados. Lo anterior tiene el propósito de mejorar los resultados del desempeño durante las revisiones técnicas a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes equipos de medición, en tanto que los procedimientos usados para hacer la validación y la difusión de los datos se consideran muy buenos.

Cuadro 15.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Celaya (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías				■		Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}				■	
	O_3				■	
	CO	■				
	NOx[b]					
	SO_2	■				
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}				■	
	O_3			■		
	CO				■	
	NO_2				■	
	SO_2				■	
Procedimiento de validación de los datos		■				
Oportunidad en la validación de los datos		■				
Difusión de la información		■				

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
b Equipos de medición fuera de operación.

Figura 15.2 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Desde el inicio de operaciones de esta red, las autoridades ambientales de Guanajuato han trabajado para generar información sobre la calidad del aire a través de una red de monitoreo eficaz y de una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas. Las actividades realizadas para mejorar el desempeño incluyen la calibración y categorización de sus estaciones de monitoreo y la capacitación continua del personal técnico/operativo. Asimismo, a partir de 2010 las redes de monitoreo de Guanajuato participan en el programa de revisiones técnicas de desempeño que realiza el INE. Cabe destacar que la operación y la supervisión de las estaciones de monitoreo, así como la difusión de datos de esta red están certificadas bajo el sistema ISO-9001:2008 (INE-DGCENICA, 2011).

15.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de Celaya

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo del periodo 2006-2009, los principales problemas con la calidad del aire en Celaya se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 15.2 muestra las tres estaciones automáticas de monitoreo e indica aquellas donde se presentó algún problema con la calidad del aire durante el año 2009, así como el o los contaminantes que lo motivaron. Asimismo, se observa una alta densidad de población en los alrededores de la estación de monitoreo Policía (POL), en donde además se presentaron dos días por arriba del valor normado de las PM_{10}.

Como complemento, el cuadro 15.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire del año más reciente con información disponible (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 15.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Celaya. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Celaya	
PM_{10}	24 horas	POL, SJ y TEC	-	D.I.	2[b]
	Anual		-	D.I.	
O_3	1 hora	-	-	Se cumplió	3
	Anual	POL y SJ	-	D.I.	
CO	8 horas	SJ	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	TEC	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM en Celaya por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la ciudad se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b A pesar de que no es posible evaluar la NOM, se registraron días con suficiente información para hacer el cálculo del dato base diario, y en 2 de ellos se rebasó el límite de 24 horas.

Destaca el hecho de que las normas diarias (ya sea de 1, 8 ó 24 horas) del CO, el NO_2, el SO_2 y el O_3 se cumplieron durante 2009 en cada estación de monitoreo y a nivel de toda la ciudad de Celaya. En el caso de las PM_{10}, la cantidad de información disponible impidió estimar este indicador en ambas escalas. Es importante decir que si bien el valor de la norma se rebasó en dos días de 2009, éstos representan menos del 2% de las mediciones realizadas en el año, que es la frecuencia máxima aceptable según la norma de la calidad del aire para este contaminante.

En términos de la suficiencia de información, destaca la falta de datos en las estaciones Policía (POL) y San Juanico (SJ) para evaluar el cumplimiento de la norma anual del ozono. Asimismo, se desconoce la situación de la calidad del aire con respecto a las PM_{10}, dada la escasez de información disponible. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

15.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de Celaya

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2006-2009. Para el cálculo de los indicadores se utilizó la información proveniente de las tres estaciones automáticas de la red: Policía (POL), San Juanico (SJ) y Tecnológico (TEC). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2006-2009: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

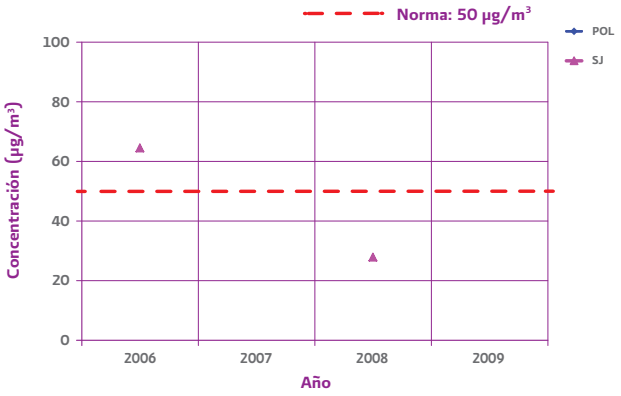
Nota importante: no se presentan los mapas correspondientes a las PM_{10}, el CO y el SO_2 porque se requiere contar con datos de al menos tres estaciones para la interpolación, y estos contaminantes solo se miden en dos estaciones de monitoreo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar/obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

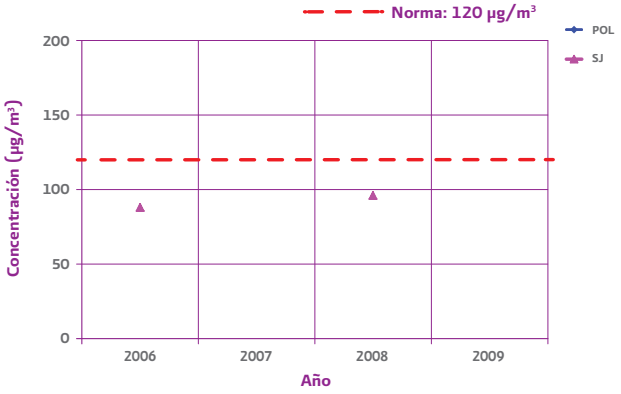
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

Lo primero que destaca en esta figura es la escasez de datos. Esto es producto de que en la estación Policía (POL) no se contó con información suficiente para generar el indicador, y en la estación Tecnológico (TEC) no se realizaron mediciones. En la estación San Juanico (SJ) solo se pudo generar el indicador para los años 2006 y 2008; en el primer año no se cumple con la norma y en el segundo sí se cumple.



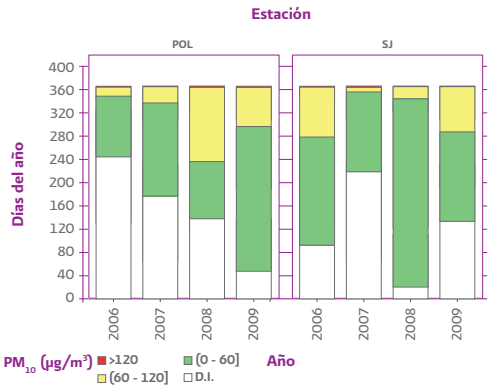
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Si bien los datos son escasos y no se pudo evaluar el cumplimiento de la norma diaria en 2007 y 2009, en aquellos años en los que ha sido posible estimar el indicador se aprecia que en la estación San Juanico (SJ) se ha cumplido la norma (en 2006 y 2008).



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

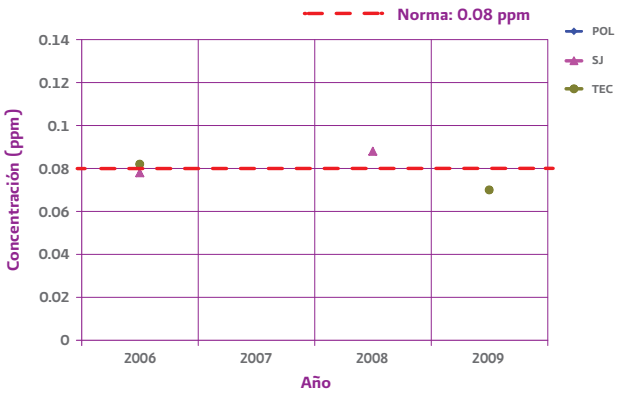
En congruencia con lo antes descrito, en esta figura se puede apreciar claramente la gran cantidad de días sin información suficiente para estimar el indicador (en blanco) en las estaciones Policía (POL) y San Juanico (SJ), a pesar de que aparentemente este problema se ha ido corrigiendo con el tiempo. Aun cuando los datos son limitados, se puede destacar que en la mayoría de los días con información disponible y suficiente dominan los que tienen una buena calidad del aire (en verde) sobre aquellos con una calidad del aire regular (en amarillo).



Indicadores del O_3

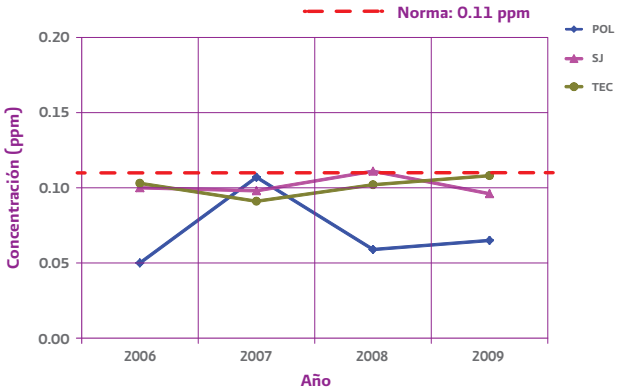
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Dada la escasez de información generada por la red de monitoreo, el indicador solo pudo ser estimado para un par de años en las estaciones San Juanico (SJ) y Tecnológico (TEC). En ambos casos se observa que en un año sí se cumple la norma y en el otro no. También se observa que en 2007 no se dispuso de información suficiente para hacer la evaluación en ninguna estación.



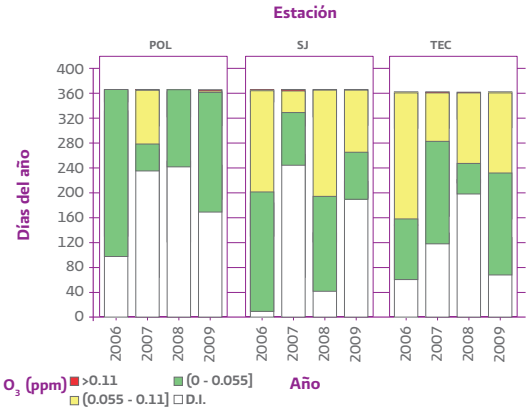
Límite horario (máximo horario)

Salvo en la estación San Juanico (SJ) en 2008, la norma horaria del ozono se cumplió en todas las estaciones de monitoreo y en todos los años analizados. La estación Policía (POL) suele registrar las concentraciones más bajas, a excepción de 2007, en tanto que en Tecnológico (TEC) y SJ se registran las más altas, muy próximas al valor normado.



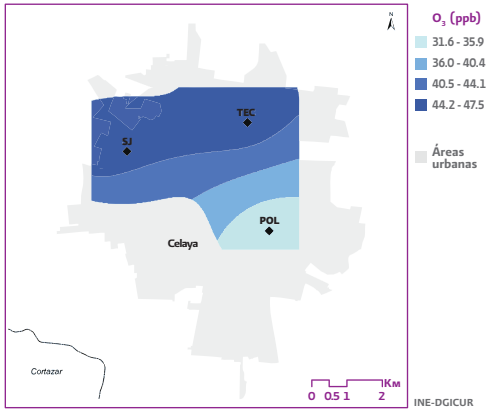
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

A pesar de la gran cantidad de días sin información suficiente para estimar el indicador (blanco), se puede apreciar que hay menos días regulares con respecto al ozono en las inmediaciones de la estación Policía (POL) que en San Juanico (SJ) y Tecnológico (TEC), donde hay una cantidad importante de días en color amarillo. De hecho, se puede apreciar un ligero incremento en el número de días con calidad del aire regular (en amarillo) en la estación TEC en los últimos tres años. Sin embargo, dada la escasez de información no es posible determinar una tendencia definida.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

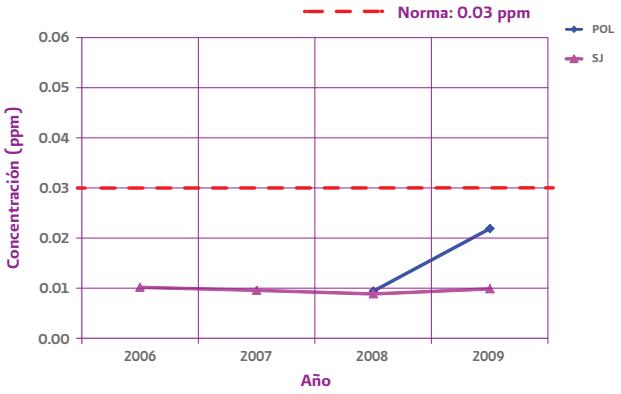
Las concentraciones más elevadas de ozono se registran en la zona norte de Celaya, en las inmediaciones de las estaciones San Juanico (SJ) y Tecnológico (TEC), con una atenuación hacia el sur, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación Policía (POL).



Indicadores del SO_2

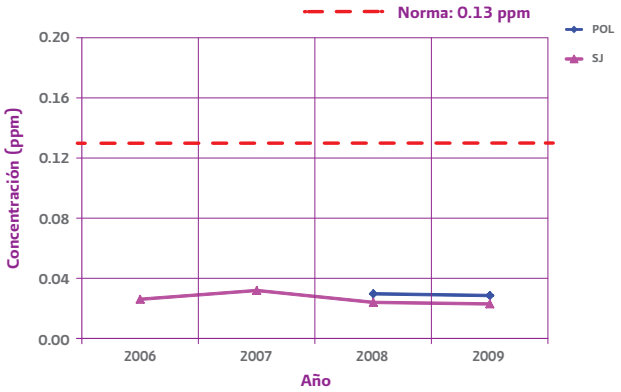
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma anual del SO_2 se cumplió en todo el periodo de análisis en todas las estaciones de monitoreo. De hecho, en la figura se observa que los promedios anuales de este contaminante se ubican, en todas las estaciones y años con información disponible, muy por debajo del límite normado, aunque se observa un repunte en 2009 en la estación Policía (POL).



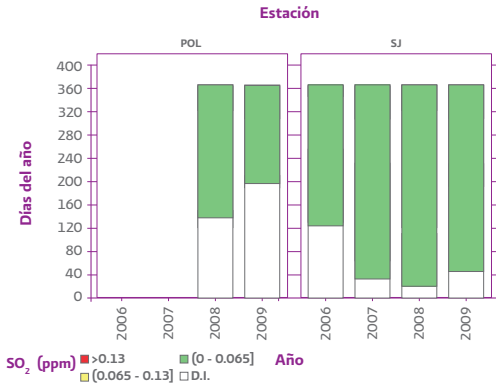
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que con la norma anual, la norma diaria del SO_2 se cumplió en todo el periodo analizado y en las dos estaciones de monitoreo con información disponible, incluso con concentraciones inferiores a la mitad del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

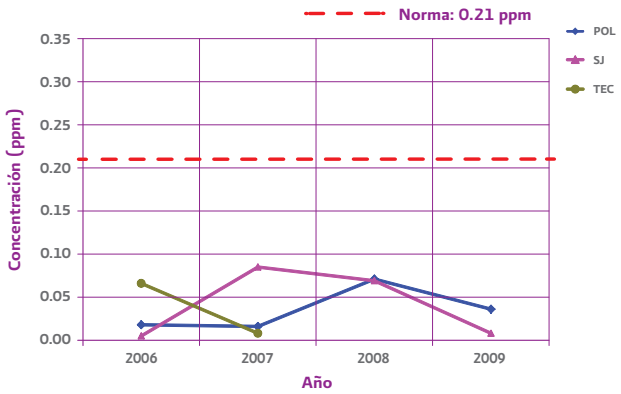
Esta figura revela que en Celaya dominan de manera clara los días con buena calidad del aire con respecto al SO_2, pues prácticamente todos los días con información disponible caen en el color verde. También destaca la reducción paulatina de la cantidad de días con datos insuficientes en la estación San Juanico (SJ), pero también el aumento de días con datos insuficientes en la estación Policía (POL).



Indicadores del NO_2

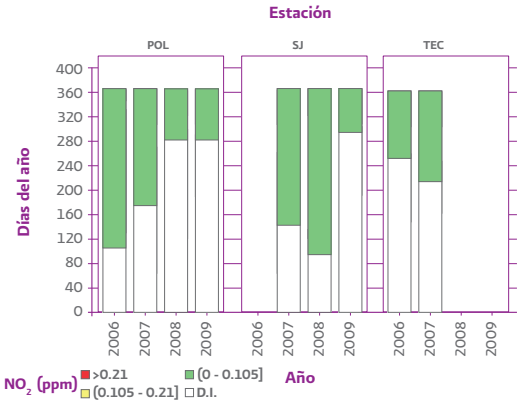
Límite horario (segundo máximo horario)

Se observa que en todas las estaciones y en todos los años en los que fue posible calcular este indicador se cumplió la norma del NO_2. En estos casos, las concentraciones son incluso inferiores a la mitad del valor normado.



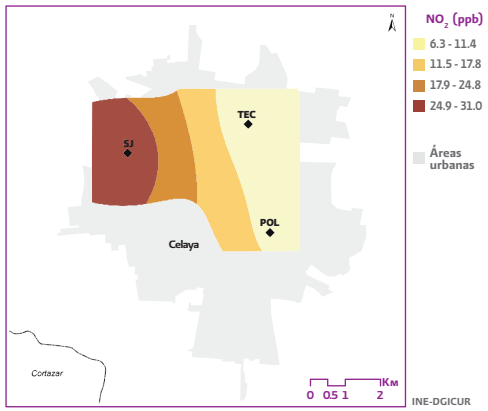
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Es claro que se debe buscar mejorar el desempeño de la red de monitoreo a fin de poder reducir la cantidad de días con información insuficiente para generar el indicador correspondiente a este contaminante. Por ejemplo, 2009 es el año con el menor número de días en los que se pudo estimar el indicador en las estaciones Policía (POL) y San Juanico (SJ), en tanto que en Tecnológico (TEC) no se realizaron mediciones. Sin embargo, se puede apreciar que los días con información disponible son principalmente días con concentraciones bajas de NO_2.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios)

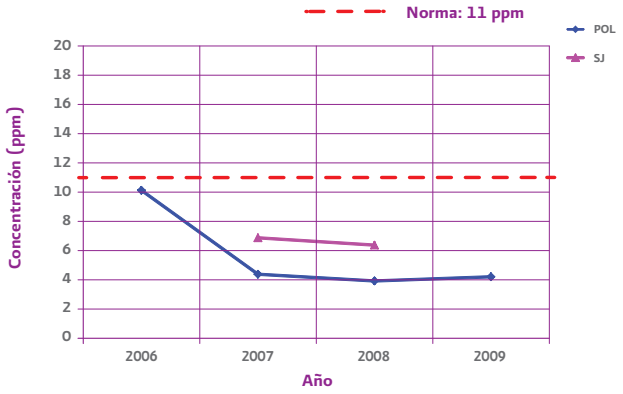
Las concentraciones más altas de NO_2 suelen ocurrir en las inmediaciones de la estación San Juanico (SJ), y a partir de este punto se registra una atenuación en dirección al este, hasta registrar las concentraciones más bajas en las estaciones Tecnológico (TEC) y Policía (POL).



Indicadores del CO

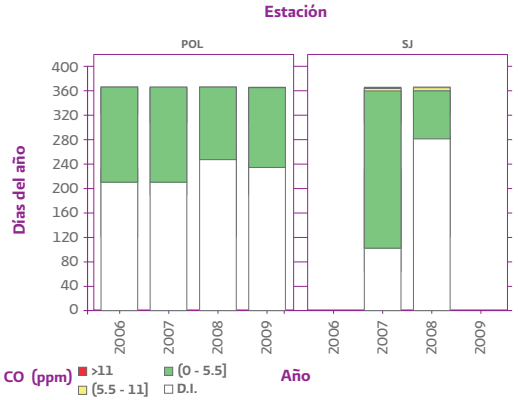
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Esta figura revela con toda claridad que el CO no representa un problema para la calidad del aire en la ciudad de Celaya, pues en todos los años y en todas las estaciones de monitoreo con mediciones se cumple con la norma. Incluso, se observa una ligera tendencia a la baja.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Es claro que se debe buscar mejorar el desempeño de la red de monitoreo a fin de poder reducir la cantidad de días con información insuficiente para generar el indicador, pues en 2009 solo se tuvo información suficiente para alrededor del 25% de los días en la estación Policía (POL), y no se midió este contaminante en San Juanico (SJ). Sin embargo, se puede apreciar que los días con información disponible son principalmente días con concentraciones bajas de CO.



16.

Salamanca, Gto.

16.1 Información general

Superficie	774 km^2 (GEG, 2007)	**Índice de motorización**	169 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1721 msnm (GEG, 2007)		
Población en 2010	261 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	Agrícola e industrial. Dominan los sectores eléctrico y petrolero, aunque también están presentes las industrias química, metalúrgica, del cemento, de alimentos y textil (GEG, 2007)
Flota vehicular en 2009	44 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

La ciudad de Salamanca cuenta con un inventario de emisiones que se actualiza periódicamente. En el más reciente, del año 2006 (GEG, 2007), destaca la industria por su mayor contribución a las emisiones de SO_2, NOx y PM_{10} en la región. El sector transporte, por su parte, es la principal fuente de emisión de COV y CO (figura 16.1).

Figura 16.1 Inventario de emisiones de la ciudad de Salamanca (2006)

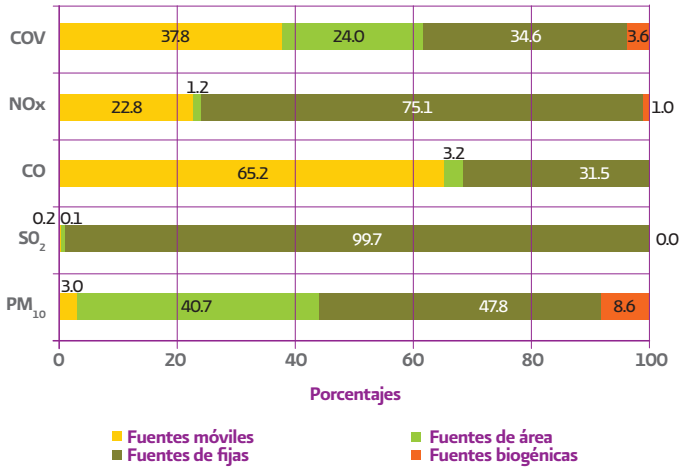
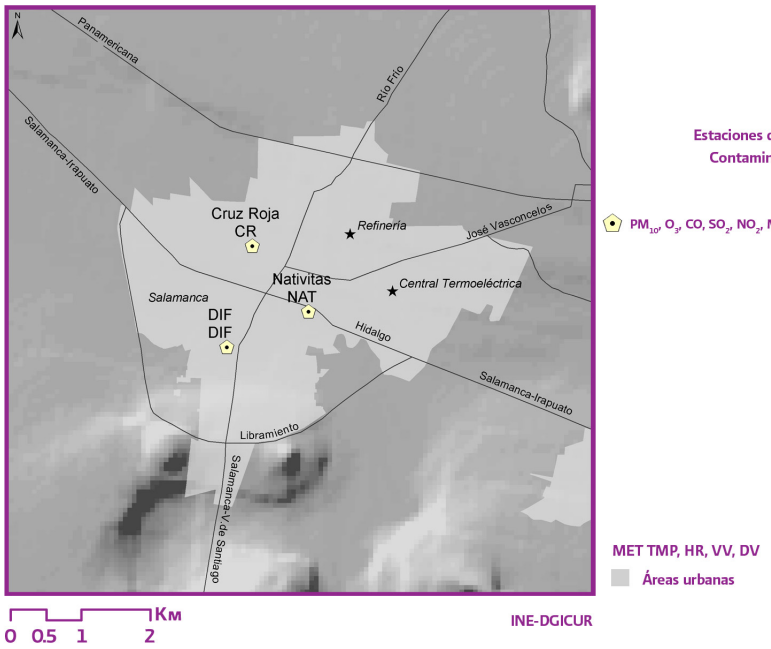


Figura 16.2 Estaciones de la RAMA-Salamanca analizadas en el periodo 2006-2009



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Salamanca se inició en 1999. Las estaciones automáticas de monitoreo Cruz Roja, DIF y Nativitas iniciaron operaciones en agosto de 1999, agosto de 2000 y marzo de 2002, respectivamente (GEG, 2007). La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información sobre la red de monitoreo actual. La red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de Salamanca (RAMA-Salamanca) se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Las estaciones de la RAMA-Salamanca tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de 2000 a 2009 son tres, y se ubican de acuerdo con el mapa de la figura 16.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en cada estación. También se incluyen las principales carreteras y la ubicación de dos de las más importantes fuentes de emisión en la región, la Refinería Antonio M. Amor y la Central Termoeléctrica de Salamanca, que en 2006 aportaron en conjunto el 99% de las emisiones de SO_2 en Salamanca, de acuerdo con el inventario de emisiones (GEG, 2007).

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 16.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Salamanca.

Cabe mencionar que, en lo que respecta al número de equipos de medición que aprobaron la última auditoría y a la trazabilidad de los equipos de calibración, la evaluación del desempeño se llevó a cabo con los resultados de la revisión técnica realizada en el año 2010 a la red estatal de monitoreo del estado de Guanajuato. Dicha revisión incluyó una sola estación de monitoreo de cada ciudad; por lo tanto, en la ciudad de Salamanca solo se revisó la estación Cruz Roja, de las tres estaciones que conforman la red de monitoreo.

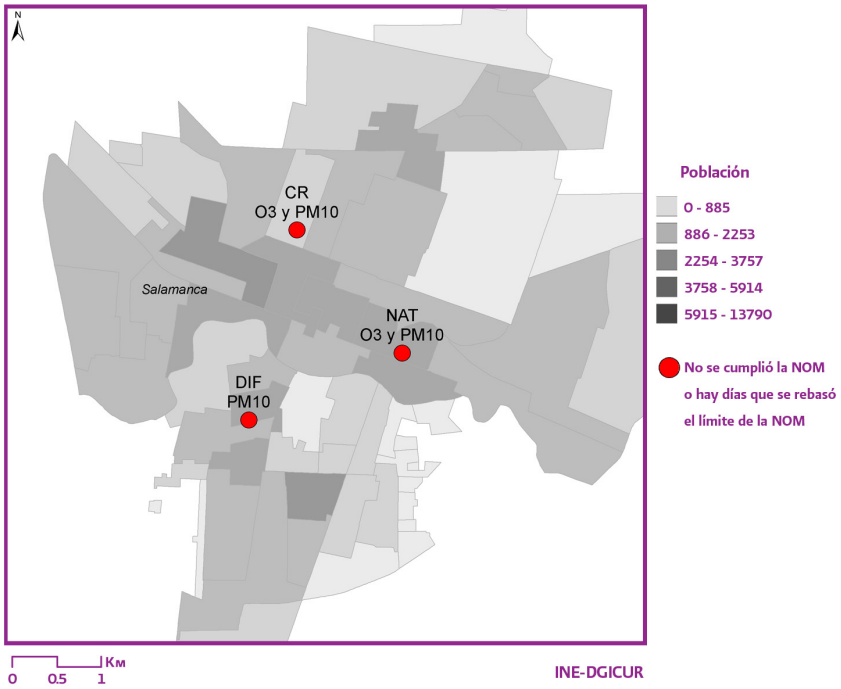
En el cuadro se puede apreciar que, en materia de validación y difusión de la información, los equipos de monitoreo tienen un desempeño que va de bueno a muy bueno, con un porcentaje de datos validados que se recuperan superior al 75% para PM_{10}, O_3, CO y SO_2, excepto para el NO_2, y el manejo que se hace de ellos para validarlos es muy bueno tanto en términos de procedimiento como de oportunidad. Sin embargo, es claro que aún hay áreas de oportunidad que deben ser atendidas para lograr un mejor desempeño de la estación Cruz Roja e incrementar la confiabilidad de los datos que genera, tales como la adecuación de los programas de control y aseguramiento de la calidad para orientarlos a una mayor exigencia operativa, en especial de los equipos de medición del NOx y las PM_{10}.

Cuadro 16.1 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ciudad de Salamanca (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2 (2000-2009)[b]					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos						
Difusión de la información						

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
b Debido a que sí se cuenta con datos de SO_2 de todo el periodo que considera este almanaque, el porcentaje de datos validados de SO_2 que se muestra en el cuadro corresponde al periodo 2000-2009. Entre 2006 y 2009, el porcentaje de datos validados de este contaminante fue muy bueno.

Figura 16.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2009 y distribución de la población



Desde el inicio de operaciones de esta red, el gobierno del estado de Guanajuato trabaja en actividades orientadas a sentar las bases para llevar a cabo un buen monitoreo en Salamanca y en una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas. Se han llevado a cabo diversas actividades, que incluyen:

- La calibración de los equipos de medición de las estaciones de monitoreo se llevó a cabo entre 1999 y 2002, utilizando un sistema de calibración del INE. Esta actividad tuvo el propósito de detectar fallas en el funcionamiento de los instrumentos de medición y de estandarizar sus mediciones.
- La capacitación periódica del personal técnico/operativo. El Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEEG) participa año con año en los cursos de capacitación que imparte el INE en materia de medición de la calidad del aire y manejo y análisis de datos. Además los técnicos de la red han recibido cursos de operación y mantenimiento por parte del personal del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal.
- Campañas de intercomparación de mediciones. Con el propósito de validar la información que se generaba en la estación Cruz Roja en 2006, se llevó a cabo una campaña de mediciones en paralelo, entre las unidades móviles del IEEG y el INE. Los resultados presentaron valores con una alta correlación.
- Revisiones técnicas de desempeño. Se han llevado a cabo en dos ocasiones: la primera a finales de 2007, cuando se revisaron 2 de las 3 estaciones (Cruz Roja y Nativitas), y la más reciente en septiembre de 2010 (únicamente se revisó la estación Cruz Roja), ambas realizadas por el INE a petición del IEEG.

Además, también se han realizado otras actividades, como estudios complementarios de calidad del aire, inventarios de emisiones, estudios de modelación de dispersión de contaminantes y la categorización de las estaciones.

Finalmente, cabe mencionar que las actividades de operación y supervisión de la estación de monitoreo, así como la difusión de los datos, están certificadas bajo el sistema ISO-9001:2008 (INE-DGCENICA, 2011).

16.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de Salamanca

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red de monitoreo, los principales problemas con la calidad del aire en la ciudad de Salamanca se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. La figura 16.3 muestra las estaciones que presentaron algún problema con la calidad del aire durante 2009, así como el o los contaminantes que originaron esta situación.

Es importante destacar que el análisis de los datos sobre PM_{10}, O_3, CO y NO_2 corresponde únicamente al periodo de 2006 a 2009, a diferencia del SO_2, que se reporta para el periodo de 2000 a 2009; esto se debe a que en dichos periodos se tiene mayor confianza en las mediciones, de acuerdo con los responsables de la red.

Como complemento, el cuadro 16.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2009), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma y un indicador para toda la ciudad, así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 16.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Salamanca
Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para Salamanca	
PM_{10}	24 horas	-	-	Se cumplió	9[b]
	Anual		Cruz Roja, DIF y Nativitas	No se cumplió	
O_3	1 hora	-	Cruz Roja y Nativitas	No se cumplió	2
	Anual	Cruz Roja y Nativitas	-	D.I.	
CO	8 horas	-	-	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	-	-	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	-	-	Se cumplió	0
	Anual	-	-	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la ciudad se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b A pesar de que en nueve días se rebasó el límite de 120 µg/m³, la norma de 24 horas de las PM_{10} se cumplió debido a que éstos caen en la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM, del 2% de mediciones en un año.

Si bien destaca el hecho de que las normas de la calidad del aire para el SO_2, el CO y el NO_2 se cumplen en todas las estaciones de monitoreo en 2009, es claro que las PM_{10} y el O_3 requieren atención, pues al menos una de sus normas (diaria o anual), o incluso en algunos casos las dos, son rebasadas tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel de ciudad en al menos uno de los años analizados.

Destaca también que durante 2009 ninguna de las estaciones presenta un solo día con concentraciones de SO_2 superiores a la norma de este contaminante. La tendencia a la baja observada de las concentraciones de SO_2, especialmente desde 2003 a 2009, muy probablemente sea consecuencia de las diferentes medidas de control que se han venido instrumentando

en la región, particularmente la del sector energético, como parte del Convenio de Coordinación y Concertación para la Ejecución del Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire 2003-2006 (GEG, 2007). De las acciones sobresalen la operación de la Central Termoeléctrica de Salamanca con bajo factor de planta y uso de gas natural, y en el caso de la Refinería Antonio M. Amor, el autoconsumo de combustibles con menor cantidad de azufre, la optimización de las plantas recuperadoras de azufre existentes, y la construcción de una nueva planta de estas mismas características.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

16.3 Indicadores de la calidad del aire de Salamanca

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire correspondientes al SO_2 (de 2000 a 2009) y a los demás contaminantes (de 2006 a 2009). Para el cálculo de los indicadores se utilizó la información de las tres estaciones automáticas de la red: Cruz Roja (CR), DIF (DIF) y Nativitas (NAT). Se incluyen tres indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y por estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

   Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

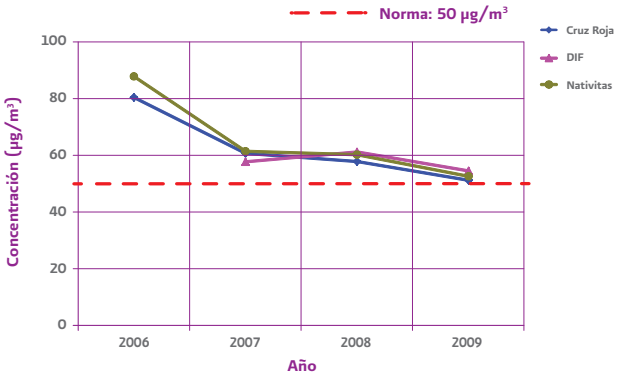
3) Mapa con la representación espacial de las concentraciones promedio en el periodo 2006-2009 y 2000-2009 para el SO_2: resultado de la interpolación espacial de los datos registrados puntualmente en las estaciones de monitoreo. El mapa muestra una superficie continua de concentraciones representadas mediante tonalidades de color. Los colores de mayor intensidad representan las concentraciones más altas, y los de menor intensidad, las más bajas. En cada caso se indica qué dato se utiliza como base para el cálculo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

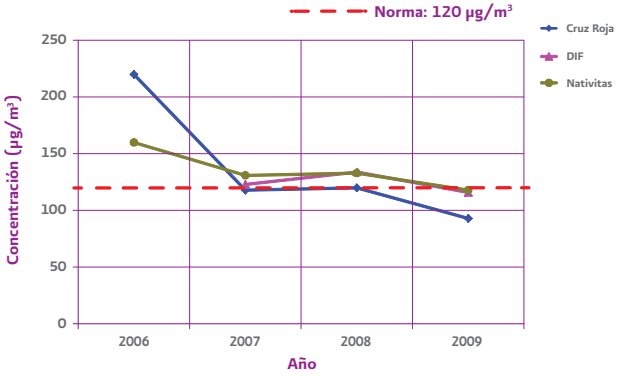
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

A pesar de la notable disminución de las concentraciones promedio anuales de PM_{10}, esta norma se incumplió en todas las estaciones de monitoreo de Salamanca, en todo el periodo analizado.



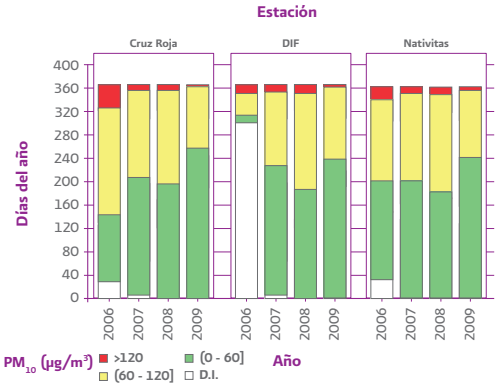
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Se observa una tendencia general a la baja en las concentraciones diarias de PM_{10}, que lleva al cumplimiento de la norma en todas en las estaciones de monitoreo en 2009. De manera más particular destaca que en la estación Cruz Roja se han registrado concentraciones inferiores a la normada en los tres años más recientes, a pesar de que en 2006, en esta misma estación, se registró la concentración más alta de PM_{10} en Salamanca.



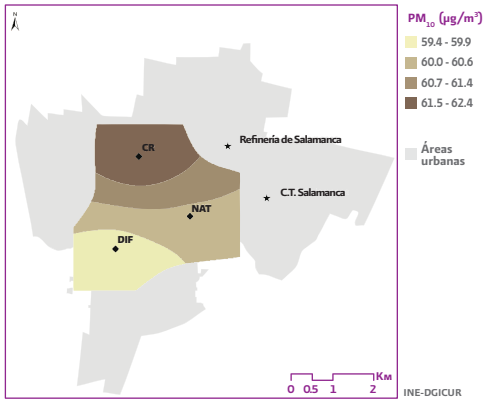
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

En todas las estaciones y en todos los años se registraron días con concentraciones de partículas superiores al valor de la norma (en rojo), y fue Nativitas el sitio con el mayor número de días con esta condición en 2009. En todas las estaciones se observa también un número significativo de días en amarillo. No obstante, en todas las estaciones se aprecia una tendencia a la baja en la proporción del número de días malos.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de 24 h)

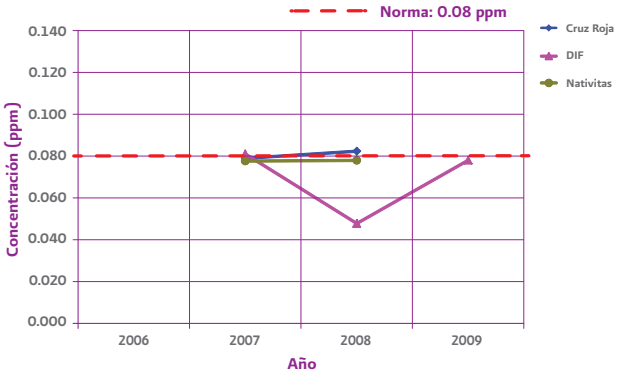
En general se aprecia que las concentraciones más altas de PM_{10} se registran en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo Cruz Roja (CR), y se presenta una marcada atenuación hacia el sur de la ciudad, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación de monitoreo DIF. Es importante decir que el criterio de suficiencia utilizado en el indicador de la norma anual es más estricto que el utilizado para este indicador, por lo tanto las concentraciones más altas se obtuvieron en CR a pesar de que la estación de Nativitas ha alcanzado valores más altos, en el periodo reportado.



Indicadores del O_3

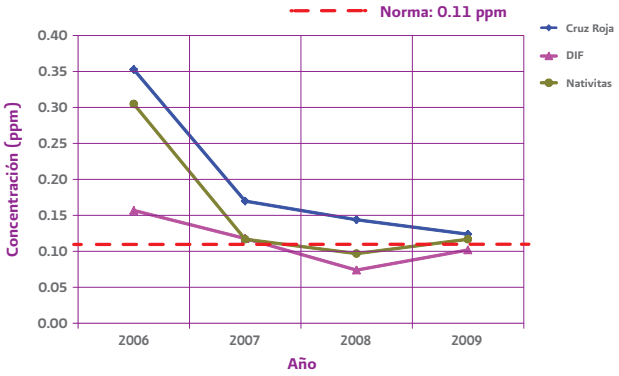
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

De la gráfica se aprecia que solo en la estación Nativitas las concentraciones del quinto máximo se mantienen por debajo del valor normado en los dos años en los que se contó con información suficiente para llevar a cabo el análisis, en tanto que en las estaciones DIF y Cruz Roja el quinto máximo es superior al valor de la norma al menos en uno de los años analizados.



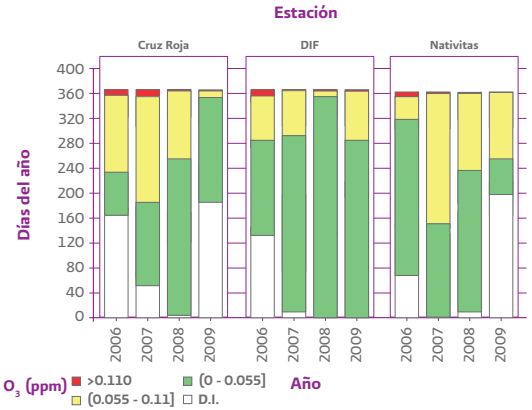
Límite horario (máximo horario)

Se puede apreciar que hay una notable tendencia a la baja, de 2006 a 2009, en las concentraciones máximas de ozono registradas en las tres estaciones de monitoreo, aunque a pesar de ello solo en la estación de monitoreo DIF se logra cumplir con el valor de la norma en los dos últimos años de análisis. Destaca también que en Cruz Roja suelen registrarse las concentraciones más altas, y que en ninguno de los años analizados se logra cumplir con la norma horaria del ozono.



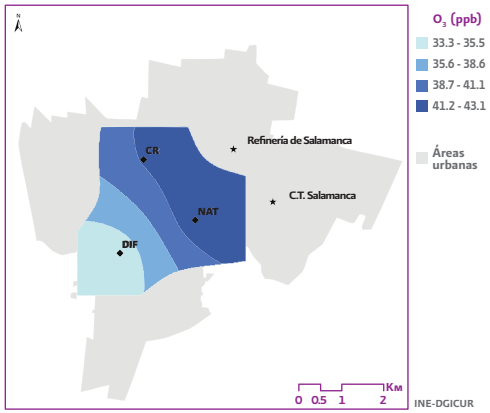
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

En Cruz Roja se registraron días con concentraciones superiores a la normada en todos los años analizados, a pesar de que se observa una clara tendencia decreciente en este indicador. En la estación DIF también se observa una franca mejoría en el tiempo, al grado de que en 2008 y 2009 ya no se registran valores en color rojo.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

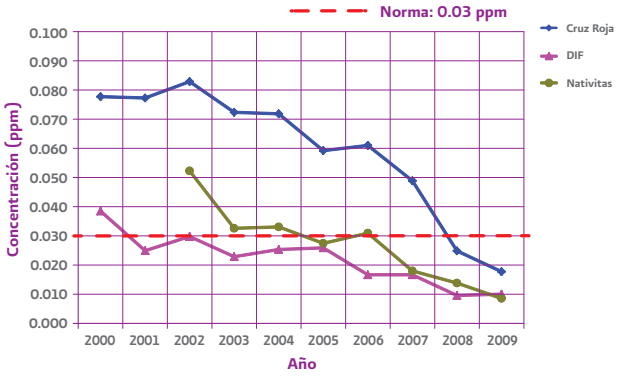
En general se aprecia que las concentraciones más altas de ozono se registran en la zona noreste, alrededor de las estaciones de monitoreo Cruz Roja y Nativitas; se presenta una marcada atenuación hacia el suroeste de la ciudad, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación de monitoreo DIF.



Indicadores del SO_2

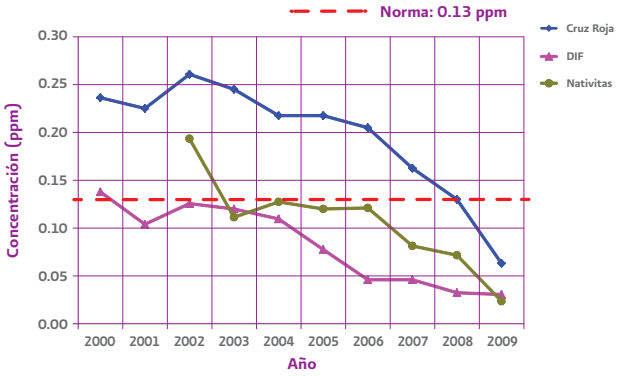
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

De la gráfica se puede apreciar una notable tendencia a la baja tanto a nivel de estación de monitoreo como para toda la ciudad, y en los dos últimos años se llega al cumplimiento de la norma anual en todas las estaciones de monitoreo. Destaca también que históricamente es en Cruz Roja donde se presentan las concentraciones más altas (y llegan de 2000 a 2004 a ser en ocasiones superiores al doble del valor normado).



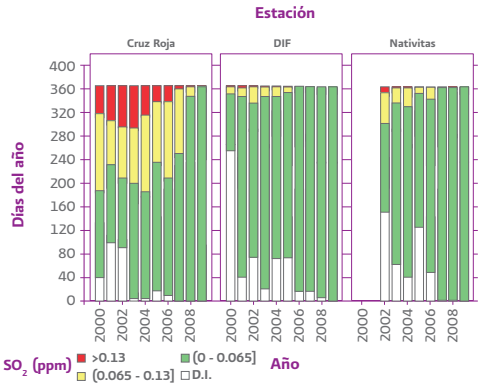
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que en el caso de la norma anual, en todas las estaciones de monitoreo se aprecia, desde 2001, una notable tendencia a la baja que conduce al cumplimiento simultáneo de la norma en todas las estaciones de monitoreo en 2009. En los años previos, solo en las estaciones DIF y Nativitas se cumplió la norma desde 2003 a la fecha, en tanto que en Cruz Roja se incumplió en todos los años.



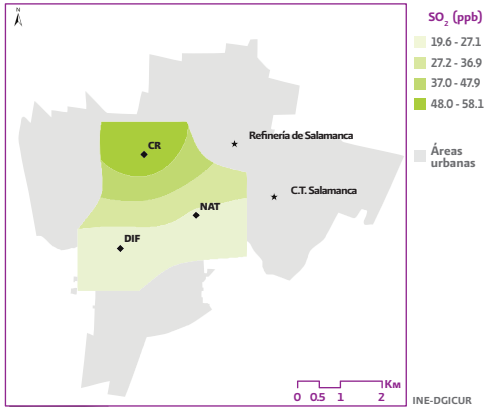
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

Cruz Roja es la estación de monitoreo que presenta un mayor número de días con concentraciones por encima del valor de la norma (en rojo) desde 2000 y hasta 2008. A pesar de ello, se observa una disminución de la frecuencia de estos valores desde el año 2004. Asimismo, en esta estación se presenta la mayor cantidad de días en amarillo durante todo el periodo analizado, lo que indica con toda claridad que el problema con el SO_2 había sido más severo en la zona norte de la ciudad. En DIF y Nativitas el problema es bastante menos severo, especialmente desde 2003, ya que hay muy pocos días en amarillo o rojo.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios de 24 h)

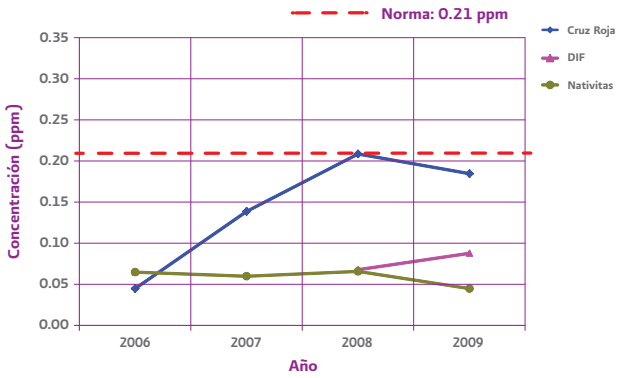
En general se aprecia que las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo Cruz Roja, y se presenta una marcada atenuación hacia el sur de la ciudad, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de las estaciones de monitoreo DIF y Nativitas.



Indicadores del NO_2

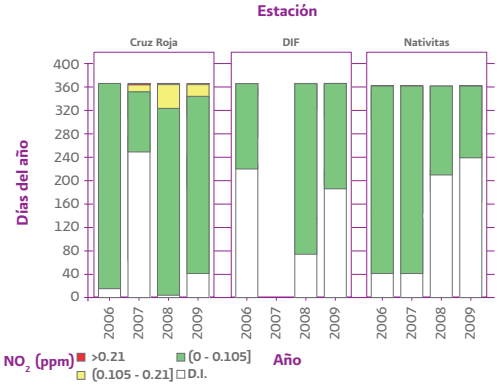
Límite horario (segundo máximo horario)

Esta norma se cumple en todas las estaciones de monitoreo en todo el periodo analizado. Sin embargo, destaca un notable incremento en las concentraciones registradas en la estación Cruz Roja durante los dos años más recientes, que se aproximan mucho a la zona de incumplimiento, por lo que será necesario vigilar de manera cercana esta tendencia en el futuro.



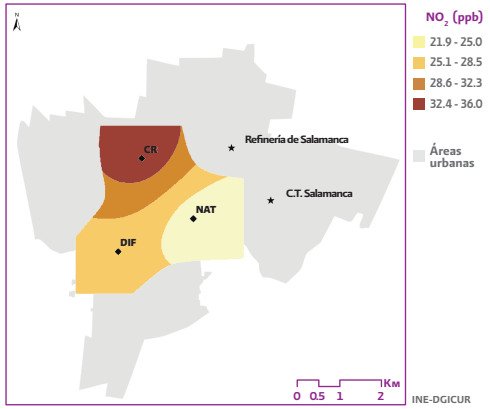
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

Solo se observó un registro con una concentración superior al valor normado, y éste ocurrió en 2008 en la estación Cruz Roja. Destaca también que el grueso de los días de cada año en todas las estaciones de monitoreo cae en el color verde.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los máximos diarios)

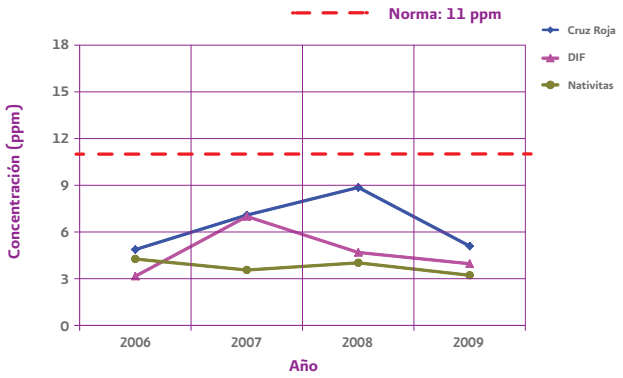
En general se aprecia que las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo Cruz Roja, y se presenta una marcada atenuación hacia el sur de la ciudad en la estación DIF, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación Nativitas, al este de la ciudad.



Indicadores del CO

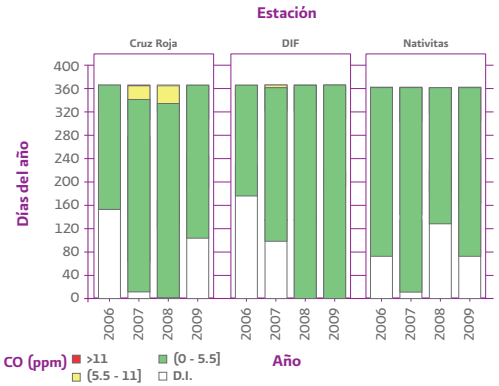
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

En todas las estaciones de monitoreo este indicador se ha mantenido por debajo del valor que exige la norma en todos los años analizados.



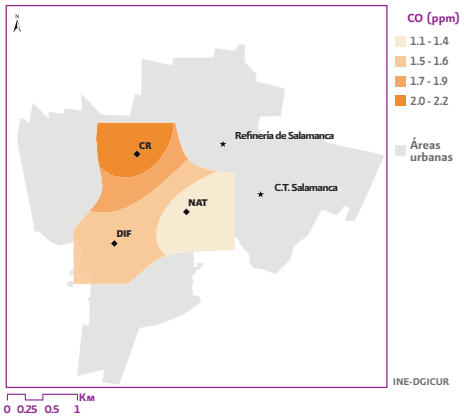
Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Se puede observar que en la mayor parte de los días de cada año, los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas del CO son inferiores a 5.5 ppm (en color verde), lo que claramente indica que el CO no representa, por ahora, un problema para la calidad del aire en la ciudad de Salamanca.



Representación espacial de las concentraciones (promedio de los promedios anuales de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

En general se aprecia que las concentraciones más altas de este contaminante se registran en la zona norte, alrededor de la estación de monitoreo Cruz Roja, y se presenta una marcada atenuación hacia el sur de la ciudad en la estación DIF, hasta alcanzar las concentraciones más bajas alrededor de la estación de monitoreo NAT, al este de la ciudad.



17.

Silao, Gto.

17.1 Información general

Superficie	538 km^2 (INEGI, 2010g)	**Índice de motorización**	155 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	1780 msnm (INEGI, 2010g)		
Población en 2010	173 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	Lla industria manufacturera, el comercio, los servicios de apoyo a los negocios, y el manejo de desechos (INEGI, 2004a)
Flota vehicular en 2009	27 mil (INEGI, 2010a)		

El municipio de Silao cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010); de éste destaca que las fuentes de área son las que más contribuyen a las emisiones de SOx y partículas PM_{10}, mientras que la fuente más importante de emisión de CO son los vehículos (figura 17.1).

Figura 17.1 Inventario de emisiones del municipio de Silao (2005)

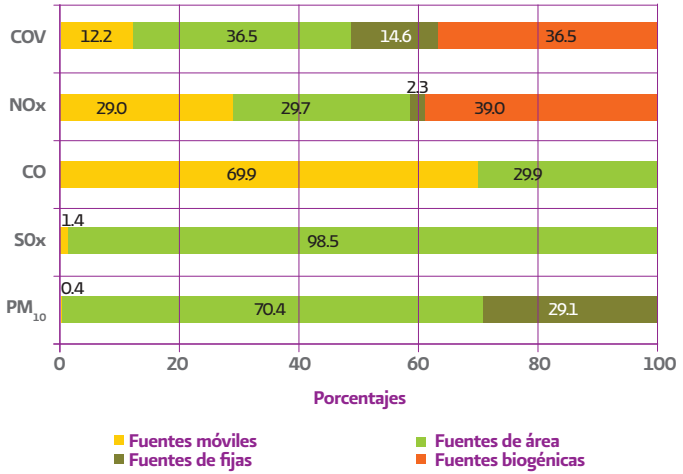
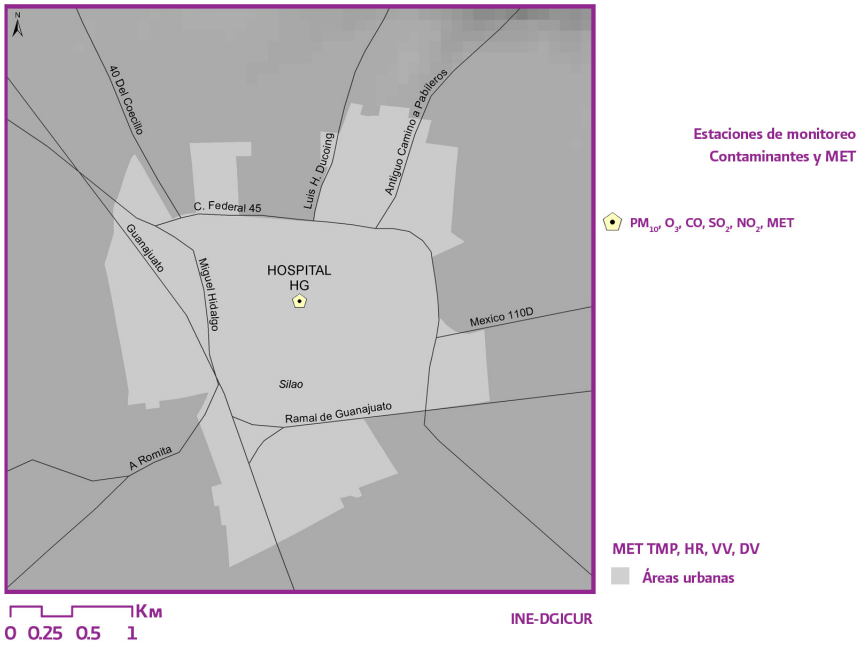


Figura 17.2 Estación de monitoreo atmosférico de la ciudad de Silao analizada en el periodo 2006-2009



La ciudad de Silao cuenta con una estación de monitoreo con equipos automáticos, e inició operaciones en el mes de noviembre del año 2006. La página http://calidadaire.guanajuato.gob.mx contiene información actual sobre la estación de monitoreo. La estación de monitoreo atmosférico de la ciudad de Silao se incorporó al SINAICA en el mismo año en que inició operaciones, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real. En la figura 17.2 se muestra el mapa con la ubicación de la estación de monitoreo. En el mapa también se indican los contaminantes y parámetros meteorológicos que se miden en dicha estación, así como las principales carreteras. El periodo de análisis considerado en este almanaque es de 2007 a 2009 debido a que, aunque las mediciones de los contaminantes se iniciaron en noviembre de 2006, en ese año se cuenta con muy poca información para la generación de los indicadores anuales.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 17.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de la ciudad de Silao. De acuerdo con la información disponible se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, la estación de monitoreo de Silao nunca ha sido sometida a ningún tipo de auditoría o revisión técnica, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque, pues se ignora si los equipos de medición que componen la estación están operando de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que aprobaron la auditoría más reciente", que se incluye

en el cuadro 17.1, no podría ser considerada en la evaluación del desempeño de la red al no existir una auditoria o revisión técnica; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar y llevar a cabo auditorías o revisiones técnicas a la estación de monitoreo, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. En 2010, durante los trabajos realizados a la red estatal de monitoreo del estado de Guanajuato, el INE no llevó a cabo la revisión técnica de desempeño de la estación de Silao por insuficiencia de recursos y tiempo.

Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para conducir la operación de la estación. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño de la red, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los equipos de medición de CO, en tanto que los procedimientos usados para hacer la validación y la difusión de los datos se consideran muy buenos.

Cuadro 17.1. Desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de la ciudad de Silao (2006-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías						Mínimo aceptable
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NOx					
	SO_2					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración						
Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}					
	O_3					
	CO					
	NO_2					
	SO_2					
Procedimiento de validación de los datos						
Oportunidad en la validación de los datos						
Difusión de la información						

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

La estación de Silao desde sus inicios ha estado trabajando en actividades para sentar las bases del monitoreo en la localidad y en una búsqueda de mejora de sus prácticas operativas; dichas actividades incluyen las siguientes: calibración de la estación de monitoreo, categorización y capacitación continua del personal técnico/operativo. Asimismo, está certificada bajo el sistema ISO-9001:2008 respecto a la operación y la supervisión de las estaciones de monitoreo, así como la difusión de datos (INE-DGCENICA, 2011).

17.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en la ciudad de Silao

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la estación de monitoreo sobre el periodo 2006-2009, los principales problemas con la calidad del aire de Silao se relacionan con altas concentraciones de PM_{10} y O_3. El cuadro 17.3 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire del año más reciente con información disponible (2009), así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI.

Cuadro 17.3 Diagnóstico de la calidad del aire en Silao. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2009

Contaminante	Norma	Cumplimiento de la norma	Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
PM_{10}	24 horas	Se cumplió	2[a]
	Anual	No se cumplió	
O_3	1 hora	No se cumplió	1
	Anual	Se cumplió	
CO	8 horas	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	S.M.	S.M.
SO_2	24 horas	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	

Notas:
a A pesar de que en dos días se rebasó el límite de 120 µg/m³, la norma de 24 horas de las PM_{10} se cumplió, debido a que éstos caen en la frecuencia de tolerancia especificada en la NOM, del 2% de mediciones en un año.
S.M.= Sin medición.

Destaca el hecho de que, salvo para el ozono y las PM_{10}, las normas del CO y el SO_2 se cumplieron en 2009. En el caso de las PM_{10} es importante decir que si bien el valor de la norma se rebasó en dos días de 2009, éstos representan menos del 2% de las mediciones realizadas en el año, que es la frecuencia máxima aceptable según la norma de la calidad del aire para este contaminante. En cuanto a las normas anuales, solo la de las PM_{10} no se cumplió en 2009. En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire en la zona a lo largo del periodo de análisis.

17.3 Indicadores de la calidad del aire de la ciudad de Silao

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados, por cada contaminante, en el periodo 2007-2009. Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a cada contaminante: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año y para la estación de monitoreo.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
    a) no excedieron el valor diario normado (verde),
    b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
    c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
    d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

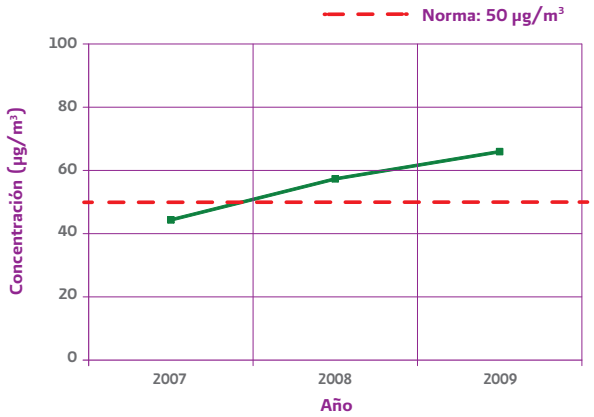
No se presentan los mapas correspondientes de distribución espacial porque se requiere de al menos tres estaciones para la interpolación, y estos contaminantes solo se registran en una estación de monitoreo.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22. Asimismo, los datos utilizados en los cálculos se pueden consultar/obtener, desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

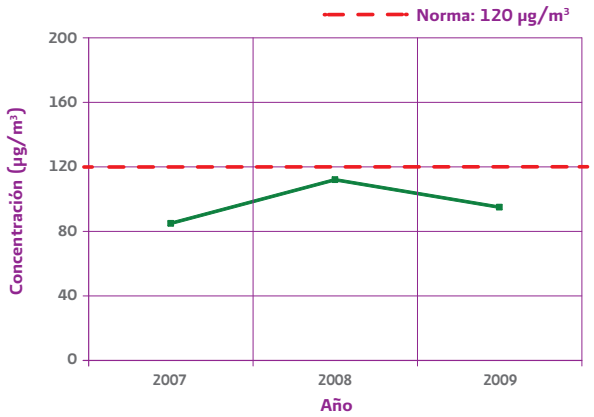
Límite anual (promedio anual de los promedios de 24 h)

La norma anual para las PM_{10} ha sido rebasada en los dos últimos años, cada vez con una mayor diferencia respecto al valor normado.



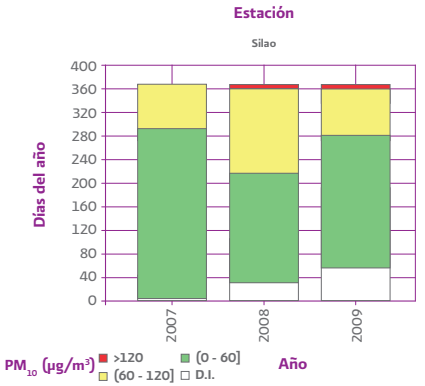
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Contrariamente a lo que se observa con la norma anual, la norma diaria se ha cumplido en los tres años, aunque solo en dos de esos tres años la concentración registrada fue claramente menor al valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

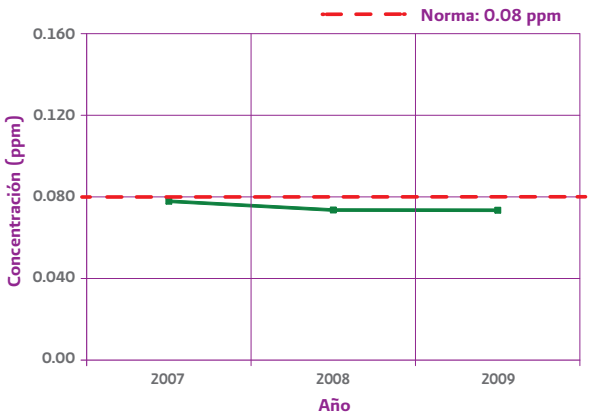
Es claro que en Silao dominan los días con una buena calidad del aire (en verde), aunque es significativa la cantidad de días con calidad del aire regular (amarillo). Solo han ocurrido días con mala calidad del aire (rojo) en 2008 (3) y 2009 (2).



Indicadores del O_3

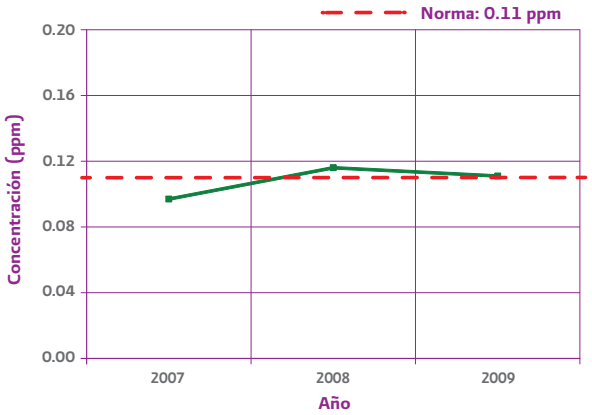
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

La norma anual del ozono se ha cumplido en la ciudad de Silao en los tres años, aunque el indicador se encuentra muy cerca del límite normado.



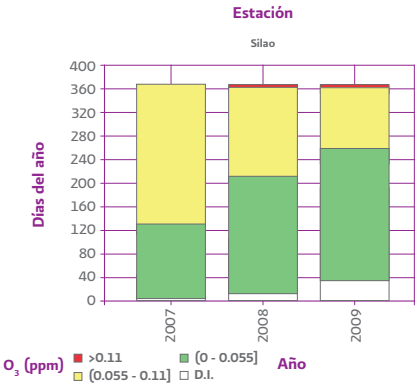
Límite horario (máximo horario)

La norma horaria del ozono se incumplió en 2008 y 2009; sin embargo, los valores que excedieron el límite no fueron muy superiores.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

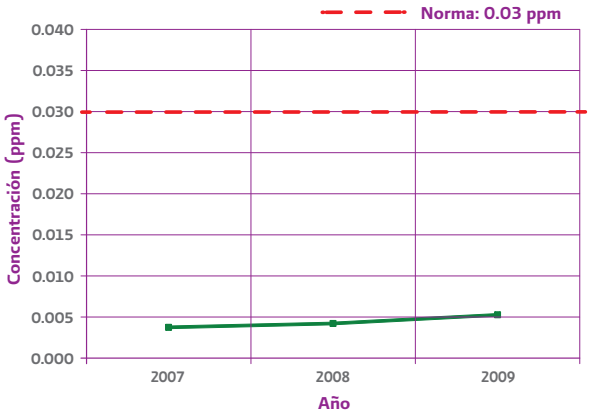
En todos los años dominan los días con calidad del aire que va de buena (verde) a regular (amarillo), y en general hay una tendencia creciente en el número de días en color verde. Igualmente destaca la reducción del número de días con datos insuficientes para generar el indicador. En el periodo de análisis solo se han registrado dos días con mala calidad del aire debido al ozono (rojo), y éstos ocurrieron en 2008 y 2009 a razón de un día por año.



Indicadores del SO_2

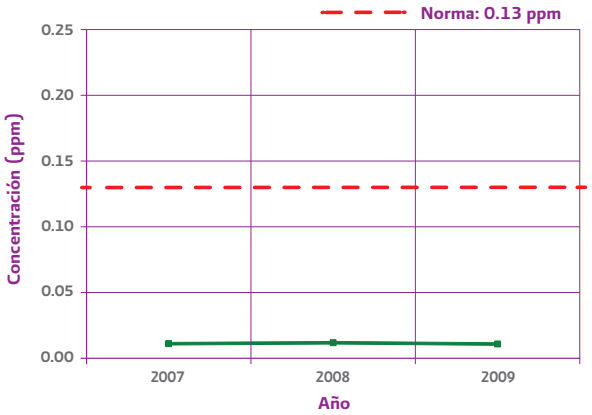
Límite anual
(promedio anual de las concentraciones horarias)

La norma anual de este contaminante se cumple con holgura en todos los años.



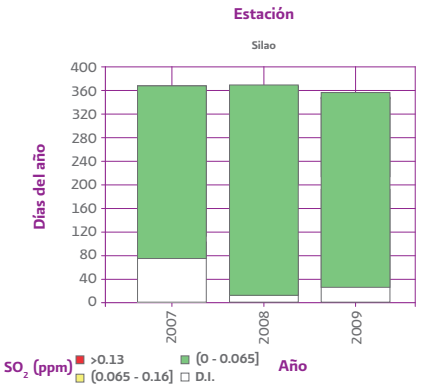
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Al igual que en el caso de la norma anual, la norma diaria del bióxido de azufre se cumple en todo el periodo analizado. Las concentraciones del segundo máximo de 24 horas, en todos los años, son equivalentes a aproximadamente el 10% del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

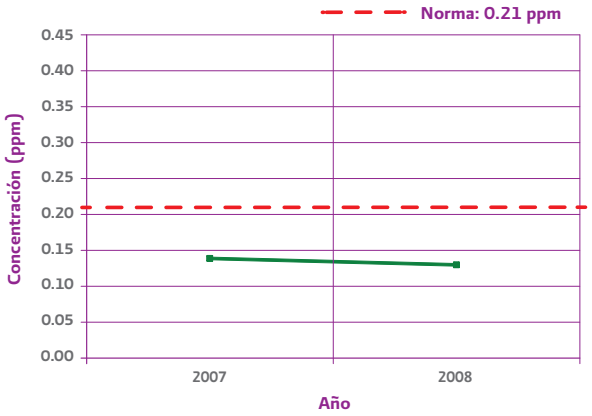
En la ciudad de Silao predominan los días con una buena calidad del aire (verde) con respecto al bióxido de azufre. Destaca también la mejora que se observa, a través del tiempo, en el número de días con información suficiente para generar este indicador.



Indicadores del NO_2

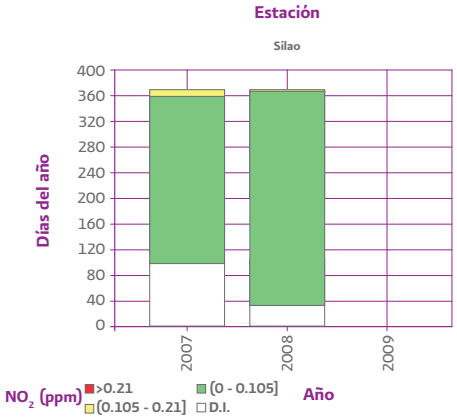
Límite horario (segundo máximo horario)

En los dos años con información se ha cumplido la norma de la calidad del aire vigente para el NO_2.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

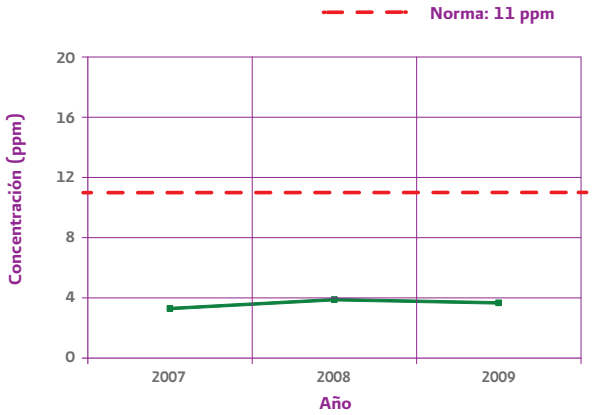
Si bien se observa que hasta 2008 predominó una buena calidad del aire con respecto al NO_2, destaca el hecho de que no se midió este contaminante en 2009, a pesar de que se observó una mejoría en términos de la cantidad de días con información suficiente para estimar el indicador.



Indicadores del CO

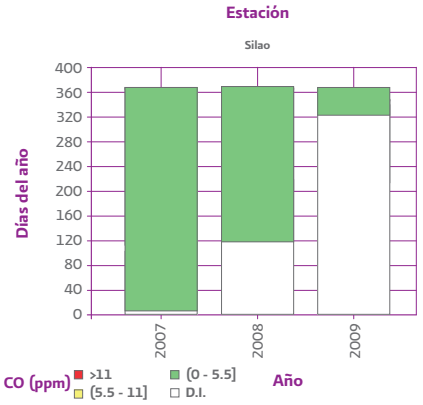
Límite de 8 horas (segundo máximo del promedio móvil de 8 hs)

En todos los años las concentraciones registradas son significativamente menores a la que estipula la norma de la calidad del aire para este contaminante.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Es claro que se debe buscar mejorar el desempeño de la red de monitoreo a fin de poder reducir la cantidad de días con información insuficiente para generar el indicador, pues en 2009 solo se tuvo información suficiente para alrededor del 10% de los días. Sin embargo, se puede apreciar que los días con información disponible son principalmente días con concentraciones bajas de CO.



18.

Tecate, B.C.

18.1 Información general

Superficie	3641 km² (INEGI, 2006a)	**Índice de motorización**	526 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	540 msnm (INEGI, 2006a)		
Población en 2010	101 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	La actividad económica fundamental es la industria cervecera y la industria maquiladora, y en menor grado la agricultura, la ganadería, el comercio y los servicios (GEBC-INFDM, 2005b)
Flota vehicular en 2009	53 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

Es oportuno mencionar que si bien recientemente se le confirió la denominación de Zona Metropolitana de Tijuana a los municipios que comprenden Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito (SEDESOL *et al.,* 2007), en el presente almanaque se reporta el diagnóstico de la calidad del aire para cada uno de estos municipios; esto se debe a que, con la cobertura actual de las estaciones, la información de la calidad del aire representa características fisiográficas diferentes, así como dinámicas urbanas distintas, por lo que resulta inadecuado que las estaciones ubicadas en diferentes municipios se traten como una sola red de monitoreo; por lo tanto, se elaboró un capítulo individual para cada municipio.

Tecate cuenta con un inventario de emisiones del año 2005 (SEMARNAT, 2010). De éste destaca que los vehículos automotores contribuyen con casi la totalidad de las emisiones de CO y NOx, y son la principal fuente de emisiones de COV, mientras que las fuentes de emisión predominantes de PM_{10} son las fuentes de área, en tanto que de SOx son las fuentes fijas (figura 18.1).

Figura 18.1 Inventario de emisiones de Tecate (2005)

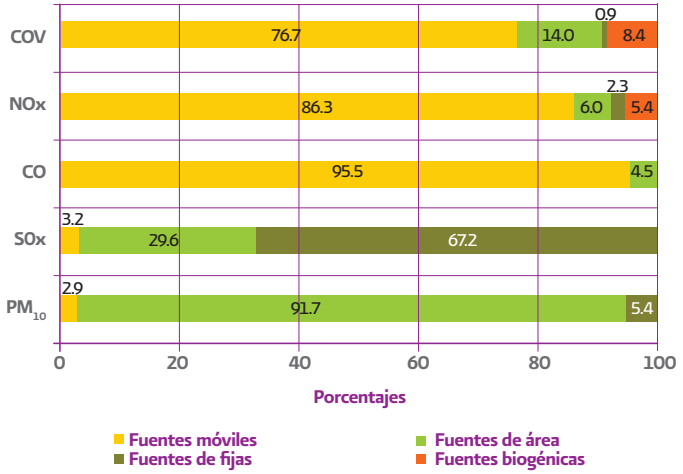
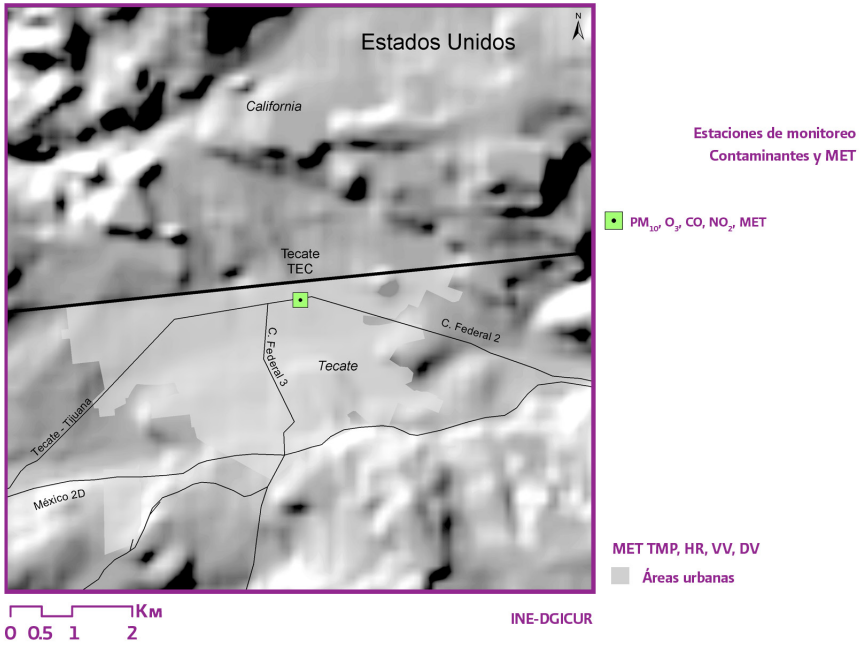


Figura 18.2 Estación de monitoreo de Tecate



Tecate cuenta con una estación de monitoreo ubicada de acuerdo con el mapa de la figura 18.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros que mide dicha estación. Las mediciones de O_3, CO y NO_2 se realizan con equipo automático, y las de PM_{10} con equipo manual. La estación de monitoreo inició sus operaciones en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con ayuda financiera de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, sus siglas en inglés), la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB, sus siglas en inglés), y la entonces SEMARNAP. La operación de la estación se llevaba a cabo a través la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos, y era financiada por la USEPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades de la USEPA hacia el gobierno del estado de Baja California en México, este último ya administra la operación y el mantenimiento de la red, (INE, 2010). La página de Internet http://aire.bajacalifornia.gob.mx/site.cfm?site=8551&date=02/10/2011&graph=1&table=0&c=Tecate contiene información sobre el estado actual del monitoreo. La estación se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real (INE, 2010).

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 18.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de Tecate.

De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender y corregir las causas que provocan la baja recuperabilidad de datos validados para los cuatro parámetros que se miden, así como el procedimiento de la validación de los datos. En general, la atención de estos problemas incrementaría tanto la cantidad de la información disponible como su calidad, y con ello se abriría la posibilidad de dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos. Asimismo, debido a los cambios administrativos que ha sufrido esta estación, era de esperarse que se presentaran variaciones en su desempeño.

Cuadro 18.1 Desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de Tecate (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]	■				
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[c]	PM_{10} [c]			■		
	O_3			■		
	CO			■		
	NO_2			■		
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos				■		
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
c Para las PM_{10} el porcentaje de datos validados corresponde a 2000-2009, mientras que para los demás contaminantes, a 2000-2008.

18.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Tecate

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la estación de monitoreo sobre el periodo de 2000 a 2009 para PM_{10} y de 2000 a 2008 para el resto de los contaminantes (O_3, CO y NO_2), los principales problemas con la calidad del aire en Tecate se relacionan con el O_3 y las PM_{10}.

El cuadro 18.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire para el año más reciente con información disponible (2008), así como el número de días en los que se rebasaron los valores normados. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI. Los datos validados de la calidad del aire que fueron analizados en este almanaque se obtuvieron tanto de la base de datos de la Agencia de Protección del Ambiente de California en la página web http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm, como de las autoridades estatales de Baja California.

Si bien se dispone de información sobre las PM_{10} hasta 2009, el diagnóstico que se muestra en el cuadro 18.2 corresponde al año más reciente (2008) para el que se cuenta con información de todos los contaminantes que se miden en esta estación. Esto se debe a que al momento de elaborar este documento los responsables de la estación no habían reportado al INE la información validada de 2009 para los demás contaminantes.

Cuadro 18.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Tecate. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Cumplimiento de la norma	Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
PM_{10} [a]	24 horas	D.I.	4[b]
	Anual	D.I.	
O_3	1 hora	Se cumplió	0
	Anual	D.I.	
CO	8 horas	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	Se cumplió	0

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la norma se realizó con la información de los muestreos manuales. Si bien hay información de 2009, se reporta 2008 para referir el mismo año de evaluación con respecto a los demás contaminantes.
b Muestreos de 24 horas.

Resalta del cuadro 18.2 la insuficiencia de datos para evaluar el cumplimiento de las normas para las PM_{10}

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire a lo largo de todo el periodo de análisis.

18.3 Indicadores de la calidad del aire de Tecate

A continuación se presentan dos indicadores de la calidad del aire estimados para el O_3, el CO y el NO_2 en el periodo 2000-2008, y para las PM_{10} en el periodo 2000-2009. Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas de calidad del aire: se muestra un gráfico por contaminante donde se aprecian las concentraciones reportadas para cada año del periodo con respecto al nivel especificado en la norma de calidad del aire correspondiente.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de las concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
    a) las concentraciones no excedieron el valor diario normado (verde),
    b) las concentraciones no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
    c) las concentraciones excedieron el valor diario normado (rojo), o
    d) no se cuenta con información suficiente para determinar si las concentraciones excedieron el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año.

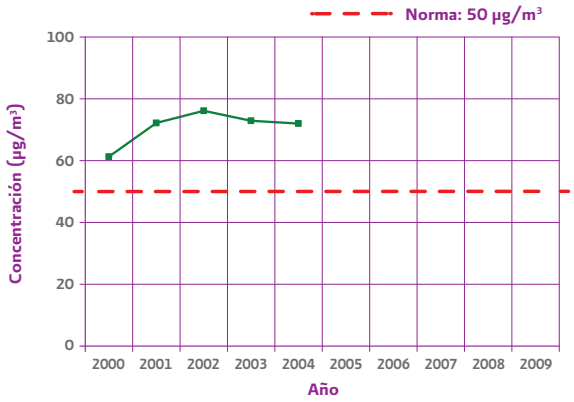
El mapa con la representación espacial de las concentraciones no se presenta porque se requiere de al menos tres estaciones que registren el contaminante para la interpolación.

La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, NO_2 y CO.

Indicadores de las PM_{10}

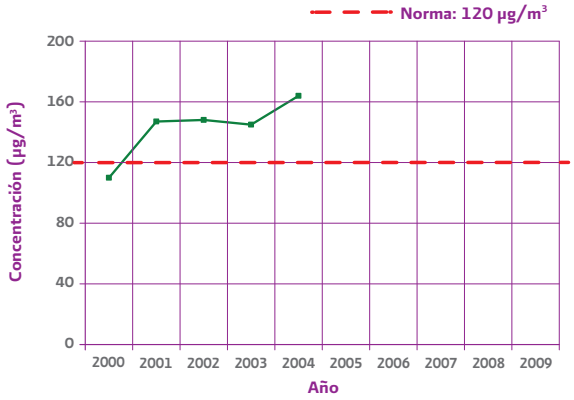
Límite anual (promedio anual)

En los años para los cuales ha sido posible calcular este indicador (de 2000 a 2004) no se ha cumplido la norma anual correspondiente a este contaminante. Se aprecia la insuficiencia de información para generar este indicador a partir de 2005.



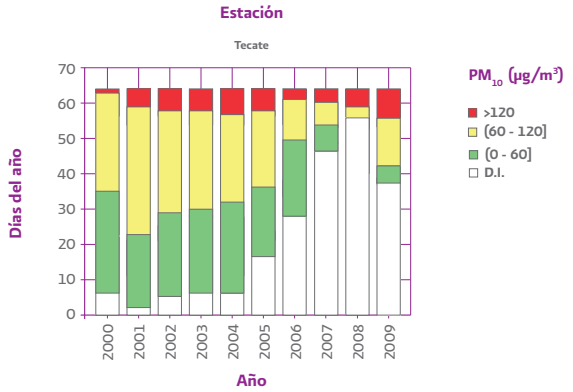
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Al igual que sucede con la norma anual, no es posible calcular el indicador del cumplimiento de la norma de 24 horas para este contaminante en los años más recientes del periodo (de 2005 a 2009). Unicamente se cuenta con información para los primeros cinco años del periodo y, salvo en 2000, el indicador se encuentra por arriba de la norma.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

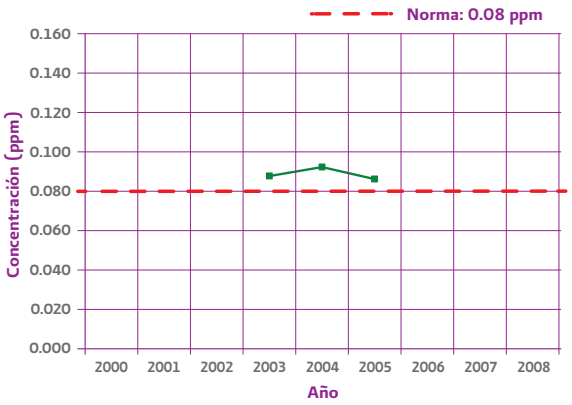
Aun cuando no ha sido posible calcular los indicadores del cumplimiento de las normas para los cinco años recientes, es posible apreciar que existe un cierto número de días con concentraciones por arriba del valor establecido en la norma, número que fluctúa en cada uno de los años analizados. Asimismo, resalta la insuficiencia de datos para generar este indicador, que ha ido en aumento a partir del año 2005.



Indicadores del O_3

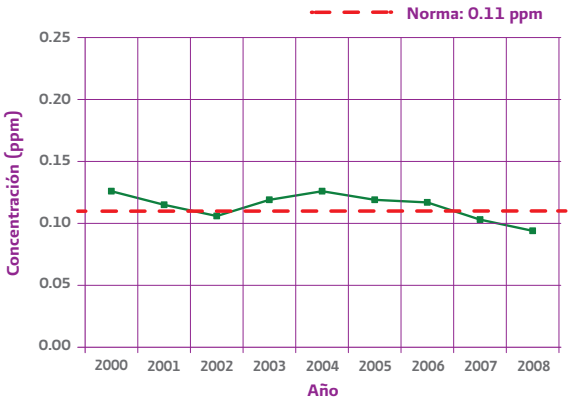
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

En todo el periodo analizado para este contaminante (2000-2008), solo ha habido información suficiente para calcular este indicador para tres años (2003-2005). En estos tres años, el valor registrado ha estado ligeramente por arriba del valor normado. Con esta información no es posible conocer el estado reciente que guarda el cumplimiento de la norma en la única estación de monitoreo.



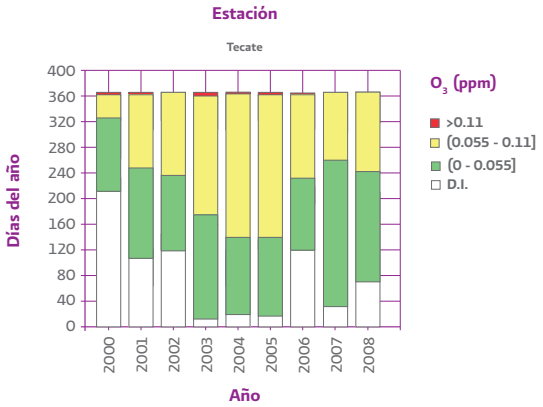
Límite horario (máximo horario)

Para el caso de la norma horaria, sí se ha contado con datos para cada uno de los años del periodo de análisis. Como se puede observar, en 2000 y 2001, así como de 2003 a 2006, se registraron valores ligeramente por arriba de la norma. Aun cuando en los dos últimos años, 2007 y 2008, el valor registrado se encuentra por debajo del normado, no es posible aún determinar una tendencia.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

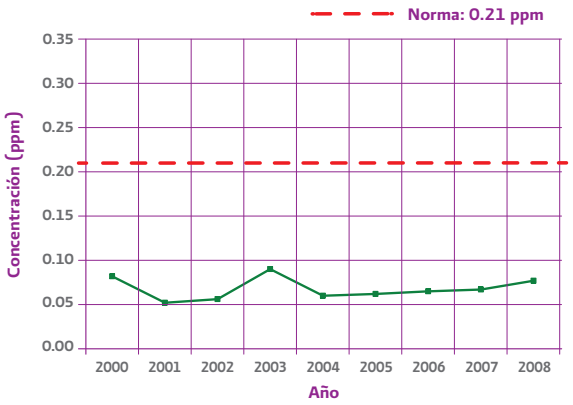
En el periodo de análisis destacan 13 días con valores que superan el valor normado del ozono y que se distribuyen en los mismos años en los que no se ha cumplido con la norma horaria. Así, en 2000 hubo 1 día, 2 días en 2001, 4 días en 2003, 2 días en 2004, 2 en 2005 y 2 en 2006. Aun cuando en los dos últimos años reportados no se tienen días con concentraciones por arriba del valor normado, no es posible determinar alguna tendencia.



Indicadores del NO_2

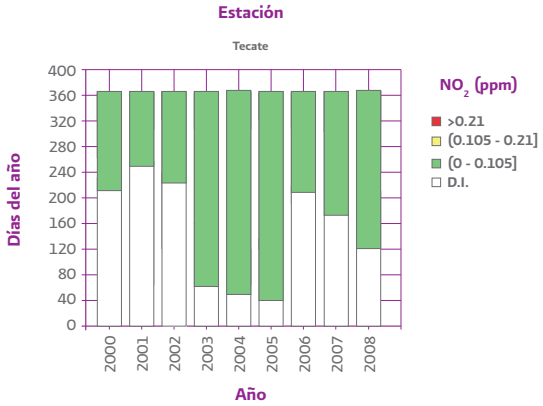
Límite horario (segundo máximo horario)

De acuerdo con la información disponible para todo el periodo, se aprecia que los valores reportados se encuentran por debajo del valor normado, con un pico o un alza en las concentraciones en el año 2003.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

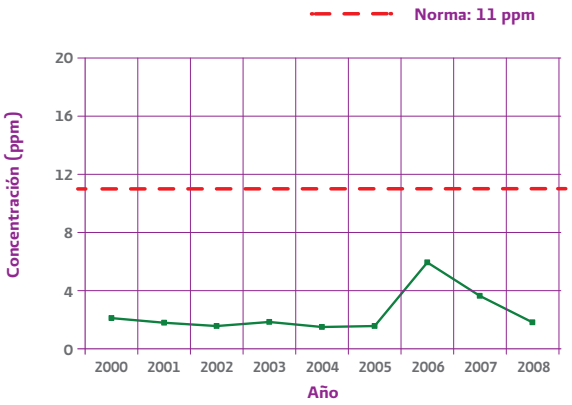
Al igual que para el CO, se aprecia la falta de información en los primeros tres y últimos tres años del periodo. Con la información disponible, no se reportan días con concentraciones cercanas o por arriba del valor normado para este contaminante.



Indicadores del CO

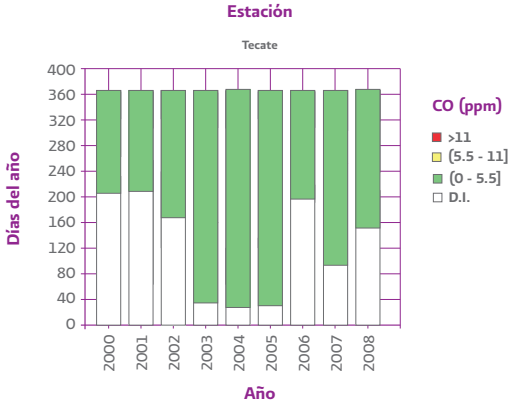
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

Para el caso del CO, de acuerdo con la información disponible para todo el periodo, se aprecia que los valores reportados se encuentran por debajo del valor normado, y aun cuando en el año 2006 se presenta un pico o un alza en las concentraciones de este contaminante, no parece haber una tendencia que indique que se podría incumplir con esta norma.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aun cuando se aprecia la falta de datos disponibles para un elevado número de días en los primeros y los últimos años del periodo, los días en los que sí se cuenta con información señalan que la mayoría de las concentraciones de este contaminante se encuentran por debajo de la mitad del valor normado.



19.

Playas de Rosarito, B.C.

19.1 Información general

Superficie	513 km² (GEBC, 2010c)	**Índice de motorización**	497 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	10 msnm (INEGI, 2010c)		
Población en 2010	91 mil habitantes (INEGI, 2011b)	**Actividad económica dominante**	Por sus condiciones naturales, la actividad económica dominante es el turismo, seguida del comercio y la pesca (GEBC-INFDN, 2005a)
Flota vehicular en 2009	45 mil vehículos (INEGI, 2010a)		

Es oportuno mencionar que si bien recientemente se le confirió la denominación de Zona Metropolitana de Tijuana a los municipios que comprenden Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito (SEDESOL *et al.*, 2007), en el presente almanaque se reporta el diagnóstico de la calidad del aire para cada uno de estos municipios; esto se debe a que, con la cobertura actual de las estaciones, la información de la calidad del aire representa características fisiográficas diferentes, así como dinámicas urbanas distintas, por lo que resulta inadecuado que las estaciones ubicadas en estos municipios se traten como una sola red de monitoreo; por lo tanto, se elaboró un capítulo individual para cada municipio.

Playas de Rosarito cuenta con un inventario de emisiones reciente del año 2005 (SEMARNAT, 2010). De éste destaca que los vehículos automotores contribuyen con casi la totalidad de las emisiones de CO, son la principal fuente de emisiones de los COV, y contribuyen con alrededor de la mitad de las emisiones de NOx, mientras que las fuentes de emisión predominantes de PM_{10} son las fuentes de área, en tanto que para el SOx son las fuentes fijas (figura 19.1).

Figura 19.1 Inventario de emisiones de Playas de Rosarito (2005)

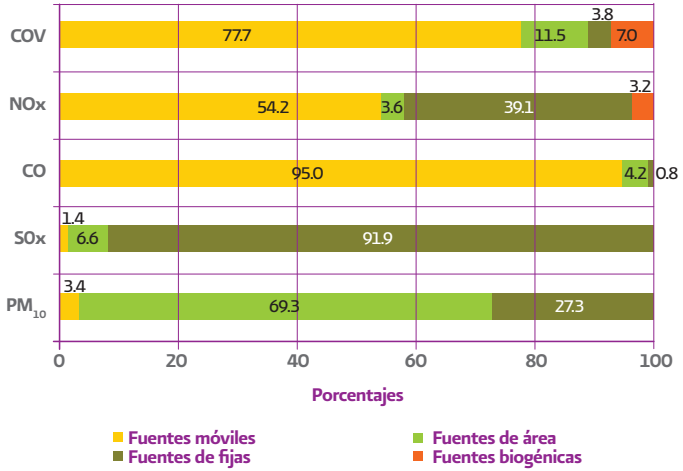
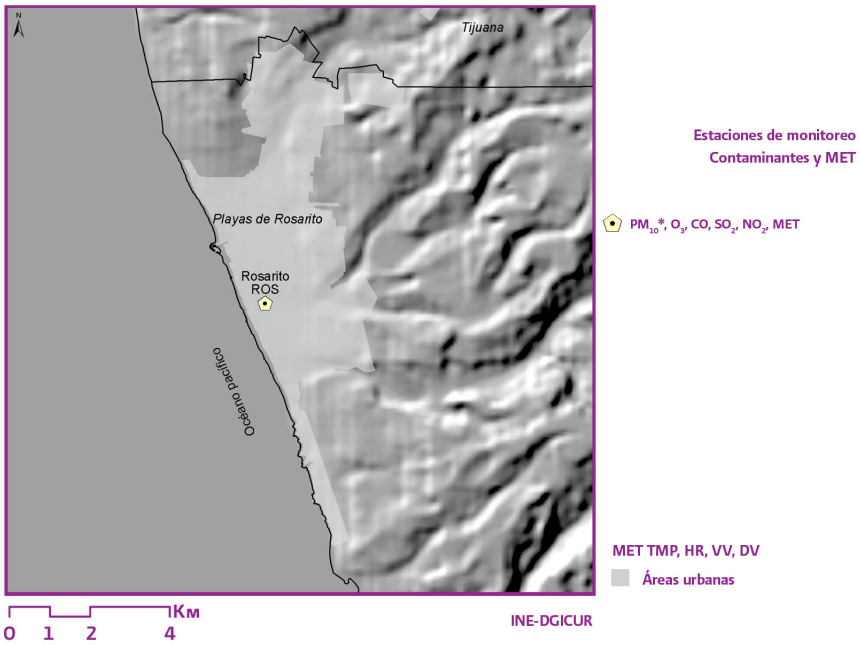


Figura 19.2 Estación de monitoreo de Playas de Rosarito



*Las PM_{10} se miden con equipo automático y manual; con equipo automático se miden a partir de 2003.

Playas de Rosarito cuenta con una estación de monitoreo ubicada de acuerdo con el mapa de la figura 19.2, donde también se indican los contaminantes y parámetros que mide dicha estación. Las mediciones de PM_{10} se realizan tanto con equipo automático como manual; para los demás contaminantes (O_3, CO, SO_2 y NO_2) se realiza con equipo automático. La estación de monitoreo inició sus operaciones en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con ayuda financiera de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, sus siglas en inglés), la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB, su siglas en inglés), y la entonces semarnap. La operación de la estación se llevaba a cabo a través la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos y era financiada por la USEPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades de la USEPA hacia el gobierno del estado de Baja California en México, este último ya administra la operación y el mantenimiento de la red (INE, 2010). La página de Internet http://aire.bajacalifornia.gob.mx/site.cfm?site=8537&date=02/10/2011&graph=1&table=0&c=Playas contiene información sobre el estado actual del monitoreo. La estación se incorporó al SINAICA en 2004, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 19.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de Playas de Rosarito.

De acuerdo con la información disponible más reciente, la red de monitoreo tiene un desempeño general bueno; sin embargo, es necesario atender varias áreas de oportunidad importantes. Por ejemplo, los equipos de medición de PM_{10} y NO_2 deben ser atendidos para lograr aprobar de manera satisfactoria las auditorías a las que sean sometidos, y con ello incrementar la confiabilidad de la información que generan. Igualmente útil resultará identificar y corregir las causas que provocan la baja recuperabilidad de datos validados para las PM_{10} y el NO_2, así como la oportunidad en la validación de los datos. En general, la atención de estos problemas incrementaría tanto la cantidad de información disponible como su calidad, y con ello se abriría la posibilidad de dar un uso más confiable a los análisis derivados de dichos datos. Asimismo, debido a los cambios administrativos que ha sufrido esta estación, era de esperarse que se presentaran variaciones en su desempeño.

Cuadro 19.1 Desempeño de la estación de monitoreo atmosférico de Playas de Rosarito (2000-2009)

Parámetro evaluado		Desempeño por parámetro				Desempeño global
		Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías		■				Bueno
No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]				■	
	O_3	■				
	CO	■				
	NO_2				■	
	SO_2	■				
Trazabilidad[b] de los equipos de calibración		■				
Porcentaje de datos validados (2000-2009)[c]	PM_{10}			■		
	O_3		■			
	CO		■			
	NO_2			■		
	SO_2		■			
Procedimiento de validación de los datos			■			
Oportunidad en la validación de los datos				■		
Difusión de la información		■				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
c Para las PM_{10} el porcentaje de datos validados corresponde al periodo 2000-2009; para los demás contaminantes corresponde a 2000-2008.

19.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Playas de Rosarito

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la estación de monitoreo sobre el periodo de 2000 a 2009 para PM_{10}, y de 2000 a 2008 para el resto de los contaminantes (O_3, CO, SO_2 y NO_2), en Playas de Rosarito no se presentan problemas de incumplimiento de las normas de los contaminantes monitoreados, excepto en el caso de las PM_{10}. A pesar de que en los últimos años la información sobre este contaminante es limitada, se han registrado días en los que se rebasa el valor diario normado.
Si bien se dispone de información de las PM_{10} para el análisis de los indicadores hasta 2009 (que se presenta en el apartado siguiente), el diagnóstico que se muestra en el cuadro 19.2 corresponde al año más reciente (2008) para el cual se cuenta con información para todos los contaminantes que se miden en esta estación. Esto se debe a que al momento de elaborar este documento los responsables de la estación no habían reportado al INE la información validada de 2009 para los demás contaminantes.

El cuadro 19.2 contiene, para cada uno de los contaminantes normados, el diagnóstico de la calidad del aire del año más reciente con información disponible (2008), así como el número de días en los que se rebasó el valor de la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se encuentran en el anexo VI. Los datos validados de la calidad del aire que fueron analizados en este almanaque se obtuvieron tanto de la base de datos de la Agencia de Protección del Ambiente de California en la página web http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm, como de las autoridades estatales de Baja California.

En el caso de Rosarito, en donde se miden las PM_{10} con ambos equipos, es importante señalar que para evaluar las NOM de este contaminante se utilizó exclusivamente la información proveniente del equipo manual, y para el resto de los contaminantes, los datos de los equipos automáticos; esto, en congruencia con los procedimientos usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire[1] (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

Del cuadro destaca que durante 2008 no fue posible evaluar el cumplimiento de los valores de la norma de las PM_{10} por insuficiencia de datos.

En la siguiente sección se presentan más detalles sobre la evaluación del cumplimiento de las diferentes normas de la calidad del aire a lo largo de todo el periodo de análisis.

1 La USEPA generalmente utiliza los datos provenientes de los equipos manuales en la evaluación del cumplimiento de los valores normados de las PM debido a que se considera que estos datos tienen mayor precisión y menor sesgo, por las condiciones controladas de temperatura y humedad que se usan en el laboratorio para asegurar la calidad de dichas mediciones.

Cuadro 19.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Playas de Rosarito. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Cumplimiento de la norma	Número de días en los que se rebasó el valor de la norma
PM_{10} [a]	24 horas	D.I.	1[b]
	Anual	D.I.	
O_3	1 hora	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	
CO	8 horas	Se cumplió	0
NO_2	1 hora	Se cumplió	0
SO_2	24 horas	Se cumplió	0
	Anual	Se cumplió	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM por falta de datos
a La evaluación del cumplimiento de la norma se realizó con la información de los muestreos manuales. Si bien hay información suficiente en 2009, se reporta 2008 para referir el mismo año de evaluación con respecto a los demás contaminantes.
b Muestreo de 24 horas.

19.3 Indicadores de la calidad del aire de Playas de Rosarito

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire estimados para el O_3, el CO, el SO_2 y el NO_2 en el periodo 2000-2008, y para las PM_{10} en el periodo 2000-2009. Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas de la calidad del aire: se muestra un gráfico por contaminante donde se aprecian las concentraciones reportadas para cada año del periodo con respecto al nivel especificado en la norma de la calidad del aire correspondiente.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del periodo analizado. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de las concentraciones diarias de cada año que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
   a) las concentraciones no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) las concentraciones no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) las concentraciones excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se cuenta con información suficiente para determinar si las concentraciones excedieron el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año.

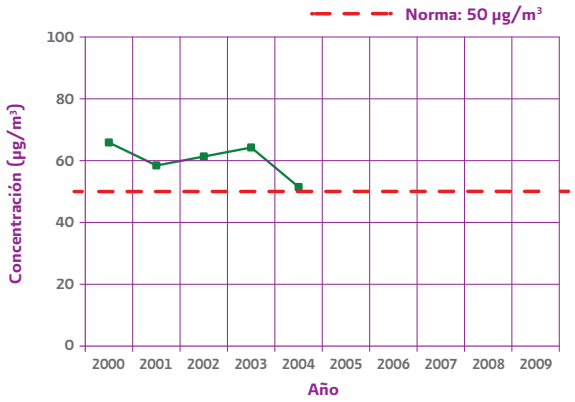
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos pueden consultarse desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México". El orden de presentación de los contaminantes es PM_{10}, O_3, SO_2, NO_2 y CO.

Nota importante: el mapa con la representación espacial de las concentraciones no se presenta porque se requiere de al menos tres estaciones que registren el contaminante para la interpolación.

Indicadores de las PM_{10}

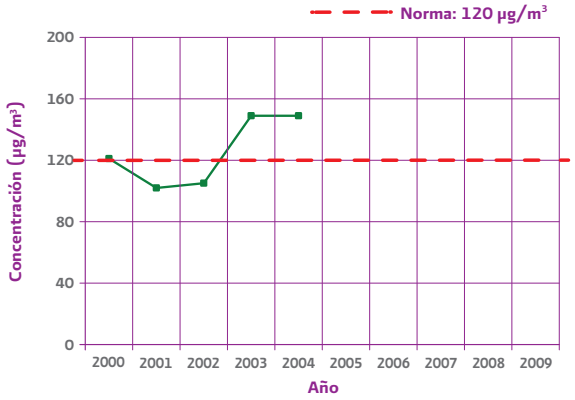
Límite anual (promedio anual)

Se aprecia que únicamente se cuenta con datos para los primeros años del periodo, y en ninguno de ellos se cumplió con la norma. A partir del año 2005 no se cuenta con información sobre el cumplimiento de la norma dado que no hay datos suficientes.



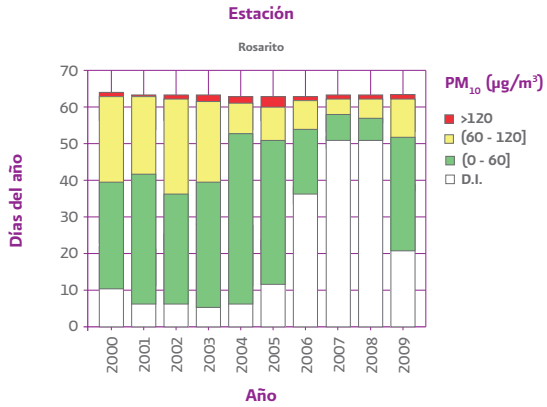
Límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 h)

Se cuenta con datos suficientes para la evaluación solo durante los primeros años del periodo. Se puede observar que únicamente en 2001 y en 2003 se ha cumplido la norma, pero no se puede hacer el diagnóstico a partir del año 2005 dado que no hay datos suficientes.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

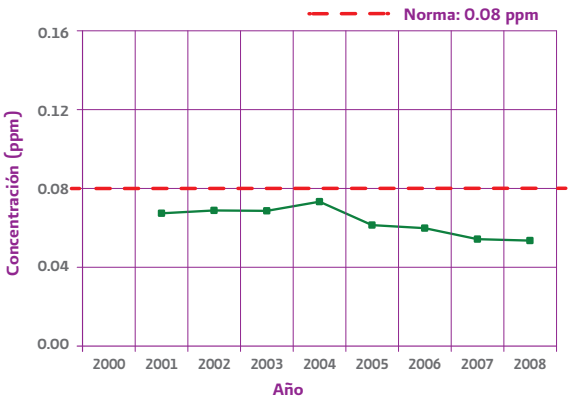
Aun cuando por falta de datos no se puede determinar si se cumplen las normas en los últimos cinco años, es posible apreciar que existen algunos días en los que las concentraciones de este contaminante se encuentran por arriba del valor normado. Destacan, por la falta de datos, los años 2006 a 2008, aunque en 2009 se puede apreciar una ligera recuperación en este sentido.



Indicadores del O_3

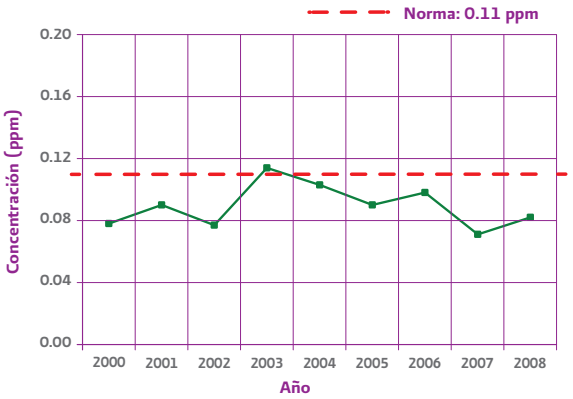
Límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h)

Durante el primer año del periodo no se contó con información suficiente para determinar si se cumplió la norma. A partir del año 2001 se está en cumplimiento, pero se observa que el valor es muy cercano al límite, y a partir de 2005 se observa una ligera tendencia a la baja.



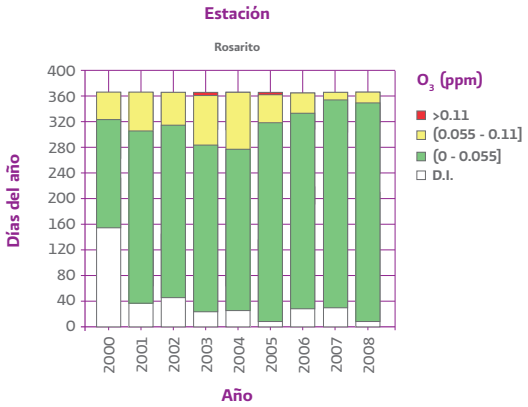
Límite horario (máximo horario)

Se cuenta con datos para evaluar el cumplimiento de la norma horaria en todo el periodo. Se observa que únicamente en el año 2003 no se cumplió la norma, y en el resto del periodo el indicador ha fluctuado, pero siempre por debajo del valor normado.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de 1 h)

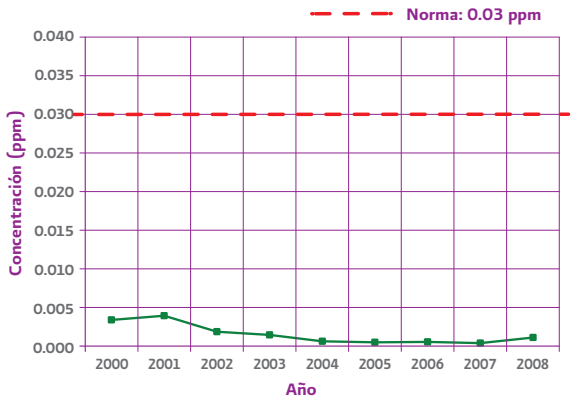
Se observa que existe una buena disponibilidad de datos y, aun cuando se aprecian algunos días en los que las concentraciones se acercan al valor de la norma horaria, el único año en el que se reportó un día por arriba del valor normado fue 2003.



Indicadores del SO_2

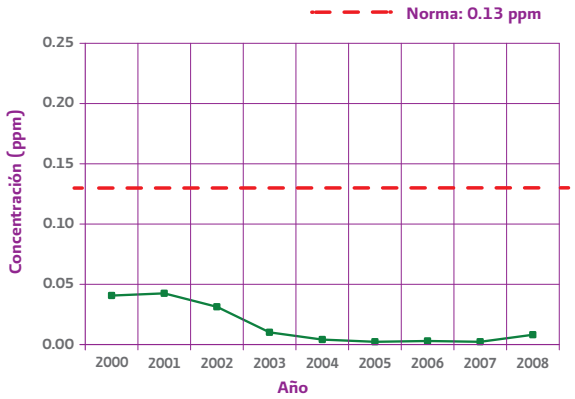
Límite anual (promedio anual)

En todo el periodo se cumple con la norma, ya que los valores reportados para este indicador se encuentran muy por debajo del valor normado. De hecho los valores son muy cercanos a cero, sobre todo a partir del año 2004.



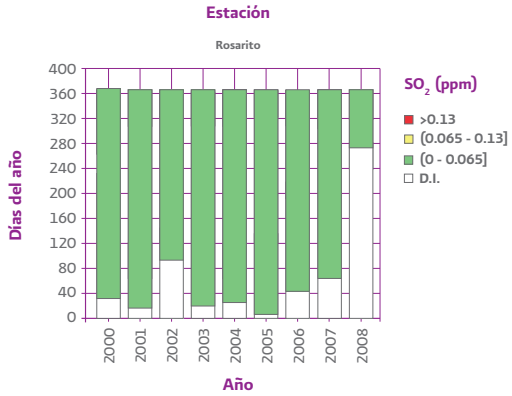
Límite de 24 horas
(segundo máximo de los promedios de 24 h)

Se aprecia que en todo el periodo se ha estado en cumplimiento ya que, al igual que para el caso de la norma anual, los valores son muy cercanos a cero, sobre todo a partir del año 2004.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (promedios de 24 h)

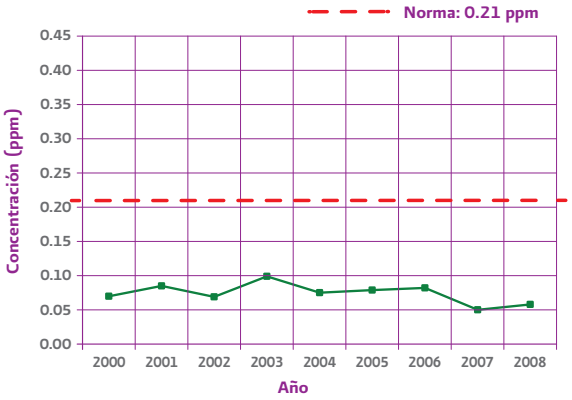
Aun cuando en el último año del periodo se aprecia una mayor cantidad de datos faltantes (casi el 75%), con la información disponible no se aprecia ningún día en el que la concentración se haya reportado por arriba o cerca del valor normado.



Indicadores del NO_2

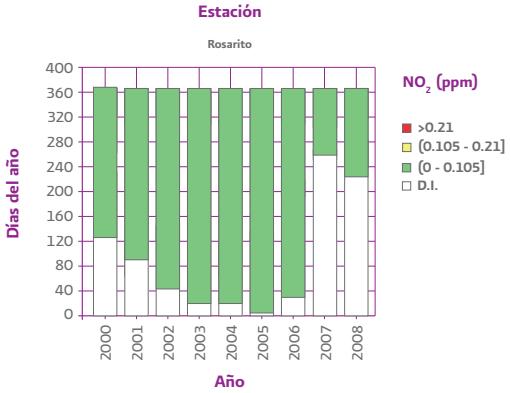
Límite horario (segundo máximo horario)

En todo el periodo de análisis el indicador se ubica muy por debajo del valor de la norma.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios)

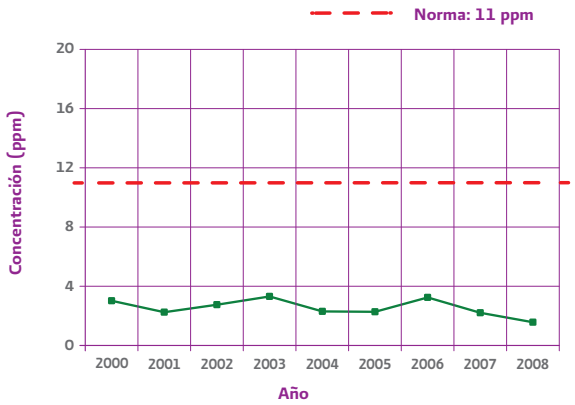
En los últimos dos años del periodo se aprecia una mayor cantidad de datos faltantes (cerca del 60% en 2008); sin embargo, con la información disponible no se aprecia ningún día en el que la concentración se haya reportado por arriba o cerca del valor normado.



Indicadores del CO

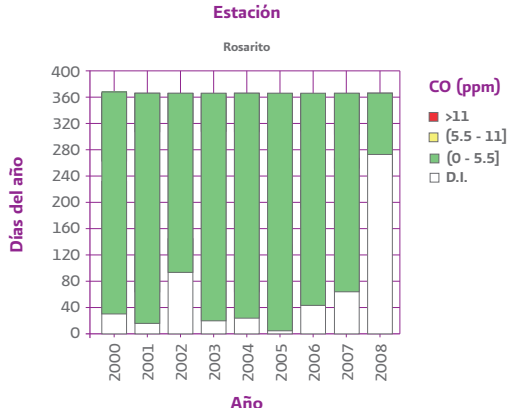
Límite horario (segundo máximo del promedio móvil de 8 h)

En todo el periodo de análisis el indicador se ubica muy por debajo del valor de la norma.



Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (máximos diarios de los promedios móviles de 8 h)

Aun cuando en los últimos años del periodo se aprecia que existe una mayor cantidad de datos faltantes (casi el 75% en 2008), con la información disponible no se aprecia ningún día en el que la concentración se haya reportado por arriba o cerca del valor normado.



20.

Tabasco, Tab.

20.1 Información general

Municipios	Cárdenas, Centro (Villahermosa) y Comalcalco	**Flota vehicular en 2009**	Cárdenas: 33.5 mil vehículos (INEGI, 2010a) Centro (Villahermosa): 195 mil vehículos (INEGI, 2010a) Comalcalco: 27.4 mil vehículos (INEGI, 2010a)
Superficie	Cárdenas: 2053 km^2 (INEGI, 2005) Centro (Villahermosa): 1707 km^2 (INEGI, 2004b) Comalcalco: 767 km^2 (INEGI, 2006b)	**Índice de motorización**	Cárdenas: 135 vehículos por cada mil habitantes Centro (Villahermosa): 305 vehículos por cada mil habitantes Comalcalco: 142 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	Cárdenas: 10 msnm (INEGI, 2009b) Centro (Villahermosa): 20 msnm (INEGI, 2009b) Comalcalco: 10 msnm (INEGI, 2009b)	**Actividad económica dominante**	Los tres municipios pertenecen a la Región Económica Grijalva, que se caracteriza por el crecimiento industrial y comercial. La actividad económica que más aporta a la región es el sector de servicios, seguido por el comercio. Otra actividad importante es la extracción de petróleo (INEGI, 2009b)
Población en 2010	Cárdenas: 248 mil habitantes (INEGI, 2011b) Centro (Villahermosa): 640 mil habitantes (INEGI, 2011b) Comalcalco: 193 mil habitantes (INEGI, 2011b)		

Las estaciones de monitoreo ubicadas en el estado de Tabasco se analizan en un mismo capítulo, aunque de manera independiente, pues comparten características similares en términos de la información registrada y de su administración, pero están tan distantes una de otra que no llegan a conformar una conurbación[1]. Por esta razón, no fue posible estimar un indicador para toda la región y en consecuencia la información de este estado no se incluyó en el capítulo 1 en el que se compara la calidad del aire de las ciudades.

El inventario de emisiones más reciente para los tres municipios corresponde al año 2005 (SEMARNAT, 2010), y en él se revela que las biogénicas son las principales fuentes de emisión de COV, como las fuentes móviles lo son para las emisiones de CO. Para el resto de los contaminantes varía la importancia relativa de cada fuente de emisión en los diferentes municipios. Por ejemplo, mientras que las emisiones de NOx en Cárdenas y Comalcalco provienen primordialmente de las fuentes biogénicas, en el municipio Centro son generadas en una mayor proporción por las fuentes fijas. Por otra parte destaca que las principales emisoras de PM_{10} en Centro y Comalcalco son las fuentes de área, mientras que en Cárdenas las partículas provienen, en su mayoría, de las fuentes fijas (figura 20.1).

1 Conurbación: es la continuidad física y demográfica que formen o tiendan a formar dos o más centros de población (Artículo 1° del Capítulo primero de la Ley General de Asentamientos Urbanos. DOF del 5 de agosto de 1994 – vigente al 4 de noviembre de 2010).

Figura 20.1 Inventarios de emisiones de los municipios de Cárdenas, Centro y Comalcalco (2005)

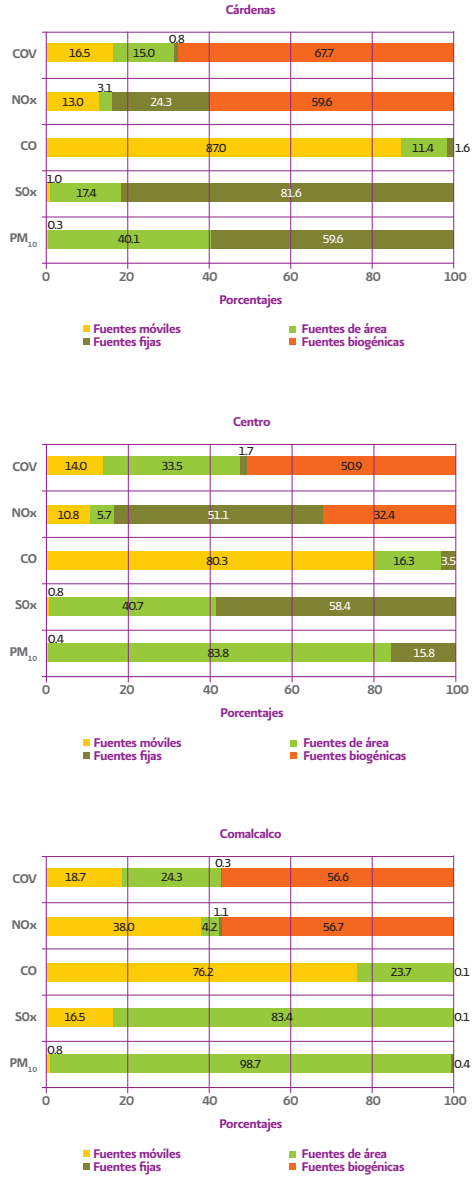
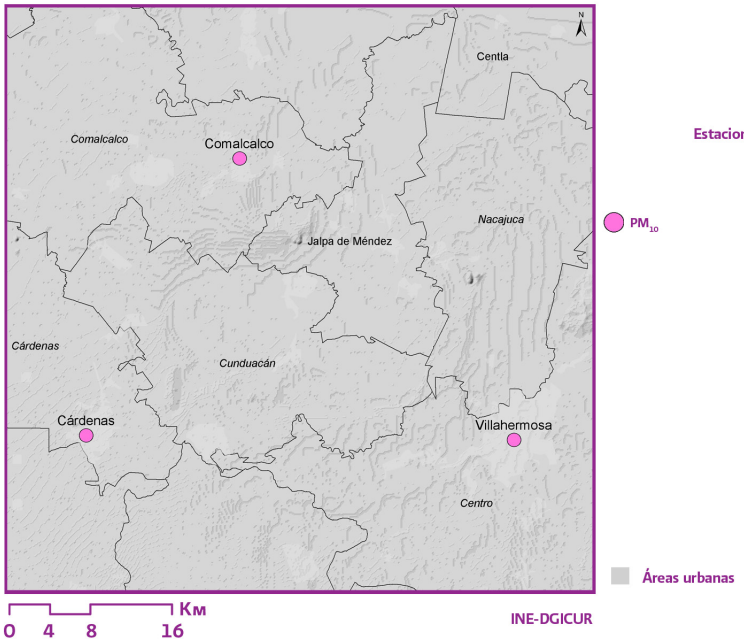


Figura 20.2 Estaciones de la red manual de monitoreo atmosférico de Tabasco analizadas en el periodo 2003-2007



El monitoreo de contaminantes atmosféricos en el estado de Tabasco se inició en 1999, cuando el Gobierno del estado adquirió analizadores automáticos para la medición de O_3, CO, SO_2, y NOx, los que fueron instalados en la ciudad de Villahermosa (municipio Centro). Por otra parte, el monitoreo manual de PM_{10} se inició en el 2001 con tres estaciones de monitoreo, cada una de las cuales fue ubicada en los municipios de Cárdenas, Centro (Villahermosa) y Comalcalco, y en 2006 se le adicionó una más en el municipio de Tenosique; estas estaciones conforman la red manual de monitoreo atmosférico de PM_{10} de Tabasco (RMMA-Tabasco). La página http://sinaica.ine.gob.mx/rama_tabasco.html contiene más información sobre el sistema de monitoreo actual, y en la página http://sernapam.tabasco.gob.mx/monitoreoaire.php se puede consultar información sobre las concentraciones de los diferentes contaminantes para los años 2008 y 2009. La red automática se incorporó al SINAICA en 2007, y desde entonces transmite sus datos a dicho sistema en tiempo casi real.

Es importante destacar que en este documento solo se incluye el análisis de la información sobre las PM_{10} proveniente de tres de las cuatro estaciones manuales de la RMMA-Tabasco, que están ubicadas de acuerdo con el mapa de la figura 20.2 en los municipios de Cárdenas, Centro y Comalcalco, en el periodo de 2003 a 2007. Esto se debe a que es la única información que cumple con el criterio de inclusión de este almanaque (contar con al menos tres años consecutivos de información)[2].

2 Cabe mencionar que se reportó al INE información de las mediciones de PM_{10} con equipo automático de los años 2008 y 2009 de la estación ubicada en la ciudad de Villahermosa; sin embargo, dicha información no se incluye porque no cumple con el criterio de inclusión, y además porque los datos que se proporcionaron corresponden a datos diarios agregados que no permiten calcular los indicadores con los mismos criterios que se usaron para las demás ciudades.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabilidad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 20.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de los equipos de muestreo ubicados en los municipios de Cárdenas, Centro y Comalcalco.

Es importante decir que los tres equipos de muestreo tuvieron resultados idénticos al aplicarles la evaluación del desempeño ilustrada en el cuadro. De acuerdo con la información disponible, se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, los equipos de monitoreo de estos tres municipios nunca han sido sometidos a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque, pues se ignora si los muestreadores están operando de manera satisfactoria. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de los muestreadores. Con respecto a las demás variables, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes muestreadores y la oportunidad con que se hace la validación de los datos, en tanto que los procedimientos usados para hacer la difusión de los datos se consideran adecuados.

Cuadro 20.1 Desempeño de los muestreadores de PM_{10} en Cárdenas, Centro y Comalcalco (2003-2007)

Parámetro evaluado	Desempeño por parámetro				Desempeño global
	Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					Requiere atención
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración[b]					
Porcentaje de datos validados de PM_{10} (2003-2007)					
Procedimiento de validación de los datos					
Oportunidad en la validación de los datos					
Difusión de la información					

Notas:

a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).

b Para muestreadores de alto volumen.

20.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en los municipios de Cárdenas, Centro y Comalcalco

De acuerdo con el análisis de la información reportada para las tres estaciones de monitoreo manual consideradas en este documento del periodo 2003 a 2007, y a pesar de la escasa información con la que se cuenta, se detectaron problemas con la calidad del aire debidos a las PM_{10} en los primeros años del periodo evaluado.

Es importante mencionar que en ninguna de las estaciones de monitoreo, en ninguno de los años analizados, se contó con información suficiente que permitiera evaluar el cumplimiento de las normas diaria y anual de las PM_{10}, por lo que el único indicador que se presenta es el correspondiente a la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a dicho contaminante. Esta información se presenta para cada uno de los años del periodo analizado y para cada una de las estaciones de monitoreo: Cárdenas, Comalcalco y Villahermosa. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas cumplen alguna de las siguientes condiciones:

a) no excedieron el valor diario normado (verde),
b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

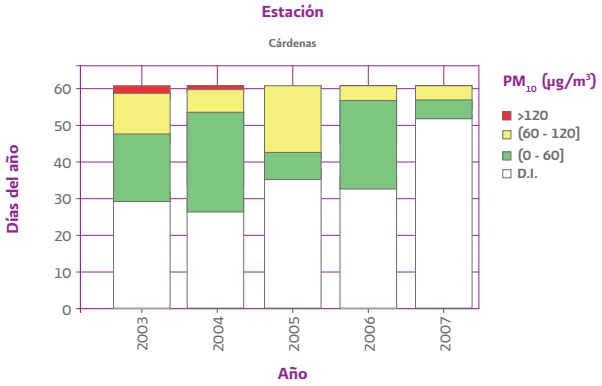
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México".

Nota importante: el mapa con la representación espacial de las concentraciones de PM_{10} no se presenta porque la distancia entre las estaciones es mayor a 12 km (ver figura 20.2), lo que impide generar una interpolación confiable.

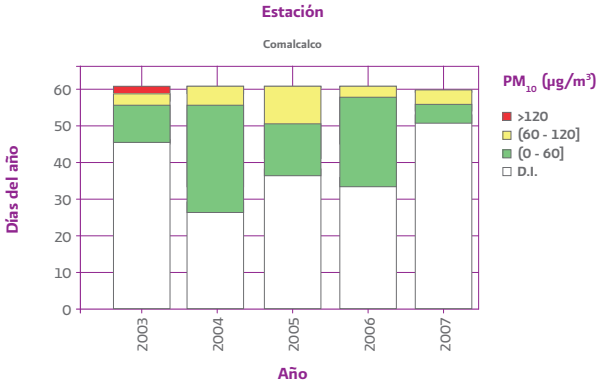
Indicadores de las PM_{10}

Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h)

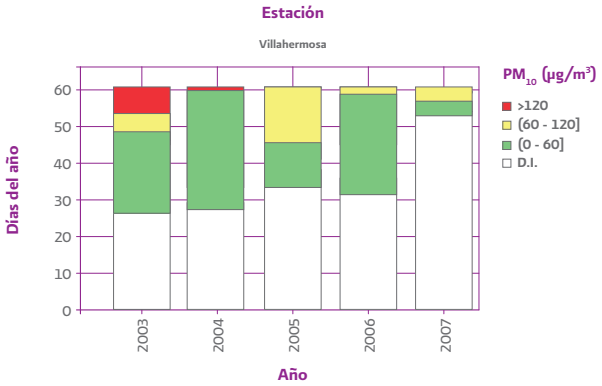
En Cárdenas todos los años, al menos el 50% de los muestreos no arrojó información suficiente para generar el indicador, mientras que en 2007 el porcentaje ascendió al 85%. La información disponible pareciera sugerir que en el municipio de Cárdenas la calidad del aire va mejorando a través del tiempo, pues dejan de registrarse días con mala calidad del aire (en rojo) a partir de 2005. Sin embargo, con tan escasa información es imposible establecer de manera confiable el estado de la calidad del aire respecto a este contaminante en Cárdenas.



En Comalcalco todos los años, al menos el 40% de los muestreos no arrojó información suficiente para generar el indicador, mientras que en 2007 el porcentaje ascendió al 85%. En Comalcalco solo se registraron algunos días con concentraciones de PM_{10} que indican una mala calidad del aire (en rojo) en 2003, lo que pareciera indicar que a partir de 2004 hubo una mejoría. Sin embargo, con la escasa información de los últimos años es imposible establecer de manera confiable el estado de la calidad del aire respecto a este contaminante en Comalcalco.



En la estación de Villahermosa el porcentaje de información disponible es similar al de las demás estaciones. En ella se registró la mayor cantidad de días con mala calidad del aire a causa de las PM_{10} (en rojo), particularmente en 2003. A partir de 2005 solo se registran días en color amarillo y verde, lo que pareciera indicar que hubo una mejoría. Sin embargo, con la escasa información con que se cuenta es imposible establecer de manera confiable el estado de la calidad del aire respecto a este contaminante en Villahermosa.



21.

Zona Metropolitana de Tula y Tepeji del Río de Ocampo, Hgo.

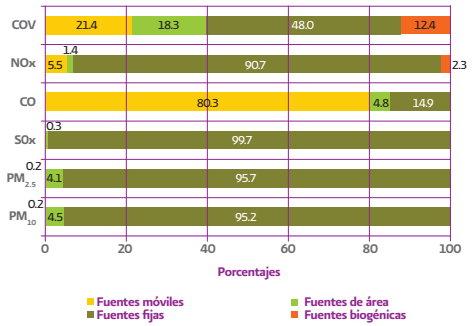
21.1 Información general

Municipios	La Zona Metropolitana de Tula está conformada por cinco municipios: Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende (SEDESOL *et al.*, 2007) Tepeji del Río de Ocampo	**Flota vehicular en 2009**	Zona Metropolitana de Tula: 60 mil vehículos (INEGI, 2010a) Tepeji del Río de Ocampo: 32 mil vehículos (INEGI, 2010a)
Superficie	Zona Metropolitana de Tula: 592 km^2 (SEDESOL *et al.*, 2007) Tepeji del Río de Ocampo: 353 km^2 (INEGI, 2009c)	**Índice de motorización**	Zona metropolitana de Tula: 376 vehículos por cada mil habitantes Tepeji del Río de Ocampo: 389 vehículos por cada mil habitantes
Altitud	Zona Metropolitana de Tula: 2063 msnm (INEGI, 2009c) Tepeji del Río de Ocampo: 2150 msnm (INEGI, 2009c)	**Actividad económica dominante**	Tanto en la Zona Metropolitana de Tula como en el municipio de Tepeji del Río de Ocampo las actividades económicas dominantes son la industria, los servicios y la agropecuaria, aunque cada una de ellas tiene una importancia relativa diferente en cada zona (GEHGO- SEDECO, 2010)
Población en 2010	Zona Metropolitana de Tula: 206 mil habitantes (INEGI, 2011b) Tepeji del Río de Ocampo: 81 mil habitantes (INEGI, 2011b)		

Las estaciones de monitoreo de estas poblaciones se analizan en conjunto, a pesar de la distancia que las separa, pues comparten características similares en términos de la información registrada y de su administración, ya que todas las estaciones pertenecen a la red de monitoreo atmosférico del estado de Hidalgo (REHIMAT), administrada por el gobierno del estado de Hidalgo. Sin embargo, dada la escasez de información, tanto en la zona metropolitana de Tula como en el municipio de Tepeji del Río de Ocampo, solamente fue posible estimar los indicadores de PM_{10} relacionados con norma en dos años distintos (2006 y 2008), por lo que se dificulta observar una tendencia para esta región; por tal motivo, la información de estas localidades no se incluyeron en el capítulo 1 en el que se compara la calidad del aire de las ciudades.

El inventario de emisiones más reciente tanto para la Zona Metropolitana de Tula como para el municipio de Tepeji del Río corresponde al año 2005 (SEMARNAT, 2010). En el inventario de la Zona Metropolitana de Tula se incluyen solamente las emisiones de tres municipios: Atitalaquia, Tlaxcoapan y Tula de Allende, los que corresponden a la definición anterior de dicha zona. En estos inventarios se observa que mientras en la Zona Metropolitana de Tula las fuentes fijas contribuyen abundantemente a las emisiones de la mayoría de los contaminantes, en el municipio de Tepeji del Río las fuentes de área son predominantes. Solo las emisiones de CO en el primer caso, y de CO y NOx en el segundo, tienen como principal fuente a los automóviles (figura 21.1).

Figura 21.1 Inventarios de emisiones de la ZM de Tula y de Tepeji del Río de Ocampo, 2005



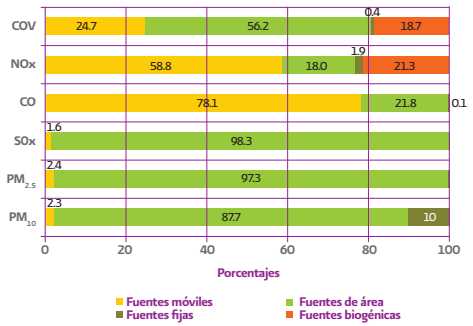
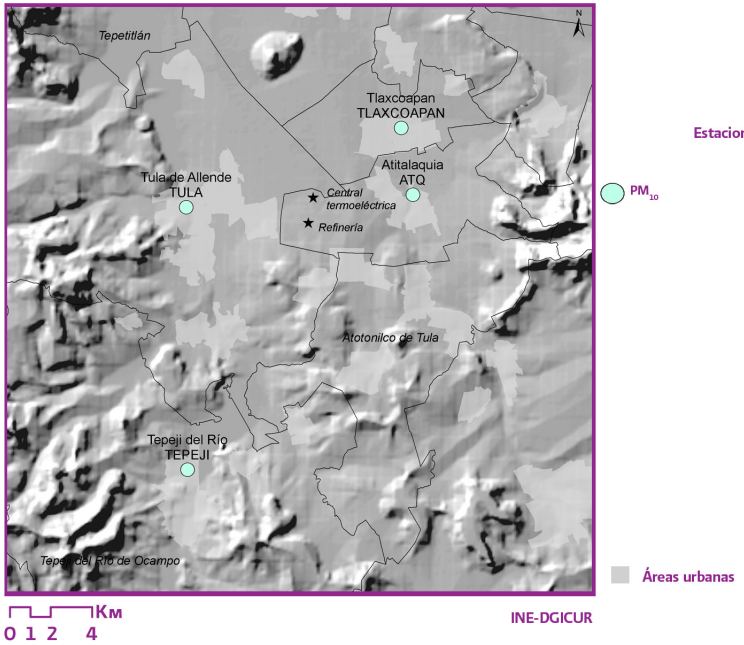


Figura 21.2 Estaciones de la red manual de monitoreo de partículas de la ZM de Tula y de Tepeji del Río de Ocampo analizadas en el periodo 2005-2008



La REHIMAT está compuesta por una red manual, una red automática y una unidad móvil. El monitoreo con equipos manuales para medir las PST y las PM_{10} se inició en febrero del año 2004, y el monitoreo automático empezó a operar en 2006. La red manual se incorporó al SINAICA en 2005, y desde entonces sus datos están disponibles en dicho sistema.

En este documento solo se incluye el análisis de la información de las PM_{10} para el periodo 2005-2008 de cuatro de las seis estaciones que conforman la red manual, debido a que estos datos cumplieron con el criterio de inclusión de este almanaque (contar con al menos tres años de información consecutiva)[1].

Tres de las estaciones manuales se encuentran ubicadas en sendos municipios de la Zona Metropolitana de Tula (Atitalaquia, Tlaxcoapan y Tula de Allende), y una más en el municipio de Tepeji del Río de Ocampo. Si bien únicamente se cuenta con un año de información de la estación de Tepeji del Río, ésta se incluyó en este documento porque se encuentra en la trayectoria de los vientos que frecuentemente transportan los contaminantes generados en el corredor industrial de Tula-Tepeji a los alrededores del poblado de Tepeji, y porque es la estación de la REHIMAT más próxima a la Zona Metropolitana del Valle de México.

El mapa de la figura 21.2 muestra la ubicación de las estaciones, así como los contaminantes que miden.

Como apoyo para interpretar la información analizada y como sustento para establecer programas de mantenimiento y mejoramiento de la red, es de suma importancia conocer el grado de desempeño de la red de monitoreo en términos de la confiabili-

1 Cabe mencionar que también se proporcionó al INE información agregada diaria de una estación automática (máximos, mínimos y promedios); sin embargo, este tipo de datos no permiten generar los indicadores de acuerdo con los criterios que se describen en el capítulo 22, por lo que no se incluyó su análisis en este documento.

dad de los datos empleados para el análisis de las tendencias de la calidad del aire. En este sentido, con base en la metodología descrita en la sección 1 del capítulo 22, el cuadro 21.1 presenta el resumen de la evaluación del desempeño de la red manual de monitoreo atmosférico de la Zona Metropolitana de Tula y del muestreador de partículas localizado en Tepeji del Río.

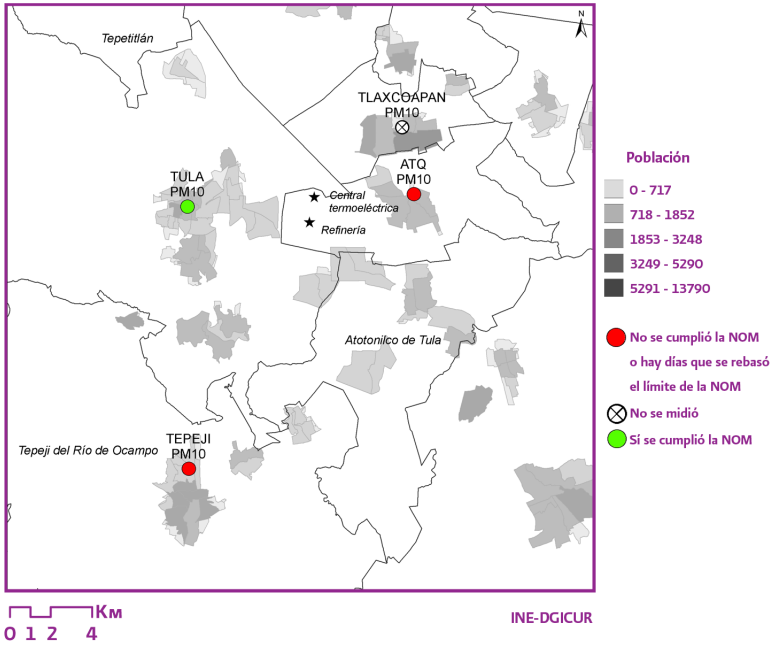
De acuerdo con la información disponible, se puede destacar que, desde su puesta en operación y hasta la fecha, ninguno de los muestreadores ha sido sometido a ningún tipo de auditoría, situación que impacta negativamente en su desempeño de acuerdo con las características del indicador usado en este almanaque, pues se ignora si éstos operan de manera satisfactoria. En este contexto, es importante destacar que en un sentido estrictamente técnico y cuantitativo la variable "No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente", que se incluye en el cuadro 21.1, no podría ser considerada en la evaluación de desempeño de la red al no existir una auditoría; sin embargo, se consideró oportuno definir cualitativamente el desempeño de la red en cuanto a esta variable con "Requiere atención" para resaltar la necesidad de programar y llevar a cabo auditorías, pues solo de esta forma se tendrá certeza de la calidad de la información que se está generando. Esto sin duda abre una gran ventana de oportunidad para mejorar el trabajo que actualmente se hace para gestionar la operación de los equipos de medición de PM_{10}. Con respecto a las demás variables que describen el desempeño, se puede observar que también se debe mejorar el porcentaje de datos validados que se recuperan de los diferentes muestreadores localizados en la Zona Metropolitana de Tula, así como los procedimientos usados para hacer la validación y la difusión de la información generada por todos los equipos de medición, sea que éstos se ubiquen en la Zona Metropolitana de Tula o en Tepeji del Río.

Cuadro 21.1 Desempeño de la red manual de monitoreo de partículas de la ZM de Tula y de Tepeji del Río de Ocampo (2005-2008)

Parámetro evaluado	Desempeño por parámetro				Desempeño global
	Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					Requiere atención
No. de equipos de medición de PM_{10} que pasaron la auditoría más reciente					
Trazabilidad[a] de los equipos de calibración[b]					
Porcentaje de datos validados de PM_{10} en la ZM de Tula (2005-2008)					
Porcentaje de datos validados de PM_{10} en Tepeji del Río de Ocampo (2008)[c]					
Procedimiento de validación de los datos					
Oportunidad en la validación de los datos					
Difusión de la información					

Notas:
a Trazabilidad: "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010).
b Para muestreadores de alto volumen.
c La medición de las PM_{10} en Tepeji del Río de Ocampo empezó en 2008.

Figura 21.3 Principales problemas con la calidad del aire en 2008 y distribución de la población



21.2 Diagnóstico general de la calidad del aire en Hidalgo

De acuerdo con el análisis de la información reportada por la red manual de la Zona Metropolitana de Tula y el muestreador ubicado en Tepeji del Río, las PM_{10} representan un problema para la calidad del aire en algunos municipios. La figura 21.3 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo e indica en cuáles de ellas las PM_{10} representaron un problema durante 2008[2].

Como complemento, el cuadro 21.2 contiene, para las PM_{10}, el diagnóstico de la calidad del aire elaborado con la información disponible del año más reciente (2008), e incluye las estaciones de monitoreo donde no se cumplió con la norma. Las normas utilizadas como referencia para la construcción de este cuadro se pueden consultar en el anexo VI.

Destaca el hecho de que durante 2008 la norma anual de las PM_{10} se incumplió en Tepeji del Río. A nivel de la ZM de Tula no fue posible hacer una evaluación del estado de la calidad del aire para ese año con respecto a las PM_{10} debido a la escasez de información disponible.

2 Se tuvo acceso a información de enero y mitad de febrero de 2009, la cual no se incluyó debido a que no cumplía con los criterios de suficiencia de información para generar los indicadores para el análisis.

Cuadro 21.2 Diagnóstico de la calidad del aire en Hidalgo. Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM, 2008

Contaminante	Norma	Evaluación del cumplimiento de la NOM			Número de días[b] en los que se rebasó el valor de la norma
		Estaciones que no cumplieron con el criterio de suficiencia de información	Estaciones donde no se cumplió con la NOM	Diagnóstico[a] para la ZM de Tula y Tepeji del Río	
PM_{10}	24 horas	Tlaxcoapan	-	D.I.	1
	Anual		Tepeji	D.I.	

Notas:
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento de la NOM por falta de datos.
a La evaluación del cumplimiento de la ZM de Tula y el municipio de Tepeji del Río se determina con el valor más alto de los valores del indicador (percentil 98, quinto máximo, promedio anual, etc.) que se obtuvieron para cada una de las estaciones de monitoreo. El procedimiento para su cálculo se describe en la sección 3 del capítulo 22.
b días = muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días del año.

21.3 Indicadores de la calidad del aire de la ZM de Tula y el municipio de Tepeji del Río

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire, con respecto a las PM_{10}, estimados para el periodo 2005-2008. Para el cálculo se utilizó la información de las tres estaciones manuales de la red: Tula de Allende (TULA), Atitalaquia (ATQ) y Tlaxcoapan, pertenecientes a la Zona Metropolitana de Tula y Tepeji del Río (Tepeji). Se incluyen dos indicadores, a saber:

1) Indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas correspondientes a las PM_{10}: se muestran gráficos del cumplimiento a través del tiempo y con respecto a los niveles especificados en las normas para cada año, por estación de monitoreo. No se presenta el indicador de la Zona Metropolitana de Tula debido a que la información es insuficiente.

2) Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala: se presenta esta información para todos los años del período analizado, por cada estación de monitoreo. Cada barra representa un año, y los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas cumplen alguna de las siguientes condiciones:

   a) no excedieron el valor diario normado (verde),
   b) no excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo),
   c) excedieron el valor diario normado (rojo), o
   d) no se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los espacios sin barra de color indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación.

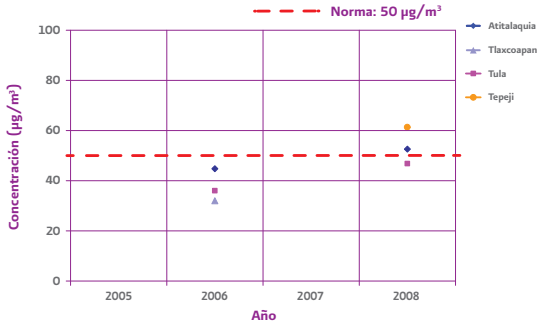
La metodología para obtener estos indicadores se describe en la sección 3 del capítulo 22, y los datos utilizados para la realización de los cálculos desglosados por estación de monitoreo, en el disco compacto que acompaña a esta publicación o en la página http://www.ine.gob.mx/dica, subtema "La calidad del aire en México".

Nota importante: el mapa con la representación espacial de las concentraciones de PM_{10} no se presenta porque las distancias entre las estaciones es mayor a 12 km (ver figura 21.2), lo que impide generar una interpolación confiable.

Indicadores de las PM_{10}

Límite anual (promedio anual de los muestreos de 24 h)

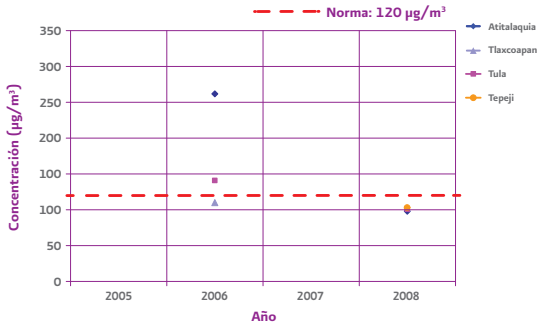
Lo primero que destaca en esta figura es la escasez de datos, de tal forma que solo se pudo estimar el indicador para los años 2006 y 2008. Se aprecia que solo las estaciones Atitalaquia y Tepeji registraron incumplimiento de la norma anual en 2008, pero el resto de las estaciones para las que se pudo generar el indicador muestran promedios anuales inferiores al valor normado tanto en 2006 como en 2008.

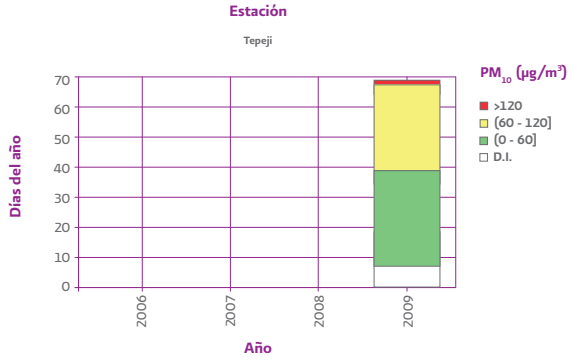


Límite de 24 horas (percentil 98 de los muestreos de 24 h)

La norma diaria de las PM_{10} se incumplió en 2006 en las estaciones Atitalaquia y Tula, que se encuentran en la Zona Metropolitana de Tula.

Llama la atención el valor tan alto registrado en Atitalaquia en 2006, equivalente a poco más del doble del valor normado.





Distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala (muestreos de 24 h) [a]

Destaca la mejoría en la suficiencia de datos entre 2005 y 2008 en las estaciones Atitalaquia y Tula. Sin embargo, es indispensable contar con la información de 2009 para conocer si esta mejoría se mantuvo.

La información disponible revela que la estación Tula ha registrado días con mala calidad del aire (rojo) durante más años que las demás estaciones. En Atitalaquia, por otro lado, parece que la calidad del aire ha mejorado a partir de 2006, aunque es difícil decirlo a ciencia cierta por la escasez de información.

En Tlaxcoapan se registraron días con mala calidad del aire en 2006 y 2007, pero no se midió en 2008, por lo que no es posible hacer un diagnóstico de la situación actual.

Para Tepeji solo se cuenta con información de monitoreo para el año 2008, y ésta pone de manifiesto que se registran días con mala calidad del aire (rojo), a pesar de que la mayoría de los días con muestreos indican que predominan los días con calidad del aire buena (verde) y regular (amarillo).

a Las barras de datos correspondientes a 2008 comprenden más días debido a que en este año se realizó una mayor cantidad de muestreos que en los años previos.

22.

Métodos, procedimientos y criterios para analizar la calidad del aire en México

Los indicadores presentados en los capítulos anteriores son resultado de la aplicación de varios procedimientos, herramientas y metodologías. A continuación se describen el procedimiento y los criterios utilizados para evaluar el desempeño de las redes de monitoreo atmosférico; el procedimiento para revisar y limpiar las bases de datos validadas; y finalmente, la metodología utilizada para generar los indicadores que permiten analizar las tendencias temporales y la distribución espacial de las concentraciones de los contaminantes del aire en las distintas ciudades.

1. Criterios y procedimientos para evaluar el desempeño de las redes de monitoreo atmosférico

Para evaluar el desempeño de las redes de monitoreo se consideraron tres aspectos fundamentales: el aseguramiento de la calidad, el manejo de los datos y la difusión de la información. Esta evaluación, excepto por el porcentaje de datos validados, fue proporcionada por la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA) a través de la Dirección de Investigación en Monitoreo Atmosférico y Caracterización Analítica de Contaminantes. Cada uno de los tres aspectos mencionados con antelación se define a través de varios parámetros o criterios de evaluación, que a continuación se describen.

1.1 Aseguramiento de la calidad de los datos

- *Frecuencia con la que se realizan auditorías a la red de monitoreo atmosférico.* La importancia de este parámetro radica en que mediante una auditoría se realiza una evaluación del desempeño de los equipos de medición; ésta consiste en determinar la diferencia en la respuesta entre los equipos auditados y los estándares de los equipos de referencia, propiedad del Instituto Nacional de Ecología (INE). La meta principal de un programa de auditoría es identificar errores en el sistema que puedan resultar en datos inválidos o sospechosos. De acuerdo con protocolos nacionales e internacionales, se recomienda llevar a cabo al menos una auditoría externa del desempeño de los equipos de medición al año (MEODTS, 2008; INE-DGCENICA, 2010a). En el caso de México, las redes se someten a revisiones técnicas o auditorías que pueden ser efectuadas por el CENICA, la EPA, otras redes o equipos técnicos internos. Todas estas revisiones son útiles para mejorar el desempeño de las redes. Así, para evaluar las redes conforme a este criterio, se definieron las siguientes categorías y las puntuaciones correspondientes:

Categoría	Puntuación	Desempeño
Se realizan auditorías/revisiones técnicas cada año	1	Muy bueno
Se realiza una auditoría/revisión técnica cada dos o tres años	0.8	Bueno
Las auditorías/revisiones técnicas se realizan, pero no de manera regular	0.6	Mínimo aceptable
No se realizan auditorías/revisiones técnicas	0	Requiere atención

- *Número de equipos de medición que aprobaron la auditoría más reciente.* Para cada equipo probado existe un porcentaje de desviación aceptable en su respuesta; cuando éste se excede, los equipos no se encuentran en condiciones aceptables de medición. Por lo tanto, se definieron las categorías que se muestran a continuación, así como los puntajes y la calificación del desempeño correspondientes a cada categoría.

Categoría	Puntuación	Desempeño
90%–100% de los equipos	1	Muy bueno
70%–89% de los equipos	0.8	Bueno
50%–69% de los equipos	0.6	Mínimo aceptable
Menos del 50% de los equipos	0	Requiere atención

El porcentaje se define a partir del número total de equipos de medición que se auditaron, que a su vez depende del número de contaminantes que se miden en cada estación de monitoreo y del número de estaciones. De acuerdo con el protocolo nacional, se recomienda auditar el total de los equipos de medición de cada contaminante en aquellas redes de monitoreo que lo midan hasta en cuatro estaciones, y al menos el 25% de los equipos en aquellas que lo midan en más de cinco (INE-DGCENICA, 2010a). A partir de los equipos de medición auditados se infiere, para el total de equipos de medición en el sistema de monitoreo, el número de equipos de medición que se encuentran en condiciones aceptables de medición. Mientras mayor sea dicho número, mayor es la confiabilidad de las mediciones.

- *Trazabilidad de los equipos de calibración.* De acuerdo con el documento MP-CA006 de la política de trazabilidad de la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA), la trazabilidad se define como "la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición" (EMA, 2010). Los resultados de las mediciones realizadas en un sistema de monitoreo deben ser trazables, esto es, se debe poder relacionarlas directamente con las unidades patrón del Sistema Internacional de unidades (SI). El que un resultado sea trazable implica que ha sido obtenido en un laboratorio trazable, aplicando instrumentos trazables y un método trazable. Diversos requerimientos normativos de la calidad determinan la necesidad de mantener la trazabilidad con los patrones nacionales e internacionales. Ahora bien, la trazabilidad existe únicamente cuando se presentan evidencias rigurosamente científicas, continuas y apropiadas a cada aplicación, que muestran que la medición está produciendo resultados documentados con valores de incertidumbre estimados y declarados. La importancia de este parámetro radica en que, si no hay trazabilidad, no se puede garantizar que las mediciones sean fidedignas, debido a que no se tendría una estimación de qué tan inciertas son las mediciones. En este caso, se definieron dos categorías que se muestran a continuación:

Categoría	Puntuación	Desempeño
Los equipos son trazables	1	Muy bueno
Los equipos no son trazables	0	Requiere atención

1.2 Manejo de los datos

- *Porcentaje de datos validados.* Para cada uno de los contaminantes se calculó el porcentaje de datos reportados como validados por las redes de monitoreo atmosférico, considerando todos los equipos de medición independientemente de que hayan sido sometidos a una auditoría o revisión técnica. Por lo tanto, una red podría evaluarse como que *requiere atención* en los conceptos relacionados con las auditorías y revisiones técnicas y, sin embargo, tener un alto porcentaje de datos validados. Se entiende por *datos validados* aquellos datos que han sido sometidos a un proceso de validación por los responsables de las redes de monitoreo (como se define en la sección siguiente), de manera que pueden ser utilizados en la generación de indicadores de la calidad del aire. Dicho parámetro es relevante para calcular los indicadores en los que se aplican criterios de suficiencia de información, en par-

ticular para evaluar el cumplimiento de las NOM referentes a la salud. Se recomienda que para cada contaminante se recupere como mínimo el 95% de los datos horarios y el 75% de los datos diarios (Ministry for the Environment, 2009). Las categorías definidas para evaluar este parámetro son:

Categoría	Puntuación	Desempeño
90%–100%	1	Muy bueno
75%–89%	0.8	Bueno
50%–74%	0.6	Mínimo aceptable
Menos del 50%	0	Requiere atención

- *Grado de validación*. La validación de los datos se refiere al proceso de confirmar que los valores registrados en las estaciones de monitoreo correspondan a las concentraciones reales de los contaminantes. De acuerdo con el *Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire* publicado por el INE (INE-DGCENICA, 2010b), para que se considere completa la validación de los datos, ésta debe comprender la limpieza, la verificación y la confirmación de los datos[1]. De esta manera, es posible evaluar la concordancia entre los procedimientos operativos y los métodos de medición, y se pueden identificar y señalar todos aquellos valores que no representen situaciones reales en la medición de la calidad del aire, y aquellos que fueron producto de errores o de actividades programadas en el sistema de medición. Asimismo, mediante una validación completa es posible identificar eventos extraordinarios que afecten directamente a los datos generados por la estación de medición. En este sentido, el *grado de validación* se refiere a cuáles actividades se llevan a cabo por los encargados de las redes para validar la información. Es muy importante que se lleven a cabo los tres procesos; de no ser así, no se tiene la certeza de que las mediciones sean reales. Así, las categorías que se definieron para evaluar este parámetro son:

Categoría	Puntuación	Desempeño
Se llevan a cabo los tres procesos: *limpieza (L), verificación (V)* y *confirmación (C) de los datos*	1	Muy bueno
Se llevan a cabo los procesos de *limpieza (L)* y *verificación (V) de los datos*	0.8	Bueno
Unicamente se realiza la *limpieza (L) de los datos*	0.6	Mínimo aceptable
No se validan los datos	0	Requiere atención

- *Oportunidad en la validación de los datos.* Este parámetro se definió considerando el tiempo que tardan los responsables de las redes de monitoreo en realizar el proceso completo de validación de sus datos. Su importancia radica en la oportunidad para realizar sin mucho retraso el diagnóstico de la calidad del aire que respira la población, la evaluación casi inmediata al ocurrir episodios de contaminación, y la disponibilidad a tiempo de información confiable para los tomadores de decisiones. Las categorías para evaluar las redes de monitoreo en cuanto a este parámetro son:

Categoría	Puntuación	Desempeño
Los datos se validan el mismo día que se generan	1	Muy bueno
Los datos se validan entre uno y 14 días después de que se generan	0.8	Bueno
Los datos se validan entre 15 y 30 días después de que se generan	0.6	Mínimo aceptable
Los datos se validan más de 30 días después de que se generan	0	Requiere atención

1.3 Difusión de la información

Si bien son de suma importancia el aseguramiento de la calidad y el manejo de los datos generados en las estaciones de monitoreo, éstos carecen de sentido si no se difunde la información recopilada y validada. La medición de contaminantes atmosféricos en estacio-

1 Para efectos de este almanaque la etapa de confirmación de datos se refiere al proceso que realizan los responsable de las redes para comprobar la veracidad de las mediciones.

Cuadro 22.1 Evaluación del desempeño de las redes de monitoreo atmosférico. Puntajes, ponderación y equivalencia en colores

Parámetro evaluado			Desempeño por parámetro				Ponderación para el desempeño global
			Muy bueno (1)	Bueno (0.8)	Mínimo aceptable (0.6)	Requiere atención (0)	
Aseguramiento de la calidad	Frecuencia de las auditorías		Cada año	Cada 2 a 3 años	Sin regularidad	No se hace	15%
	No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente	PM_{10}	90%-100%	70%-89 %	50%-69%	Menos del 50%	15%
		$PM_{2.5}$					
		O_3					
		CO					
		NOx					
		SO_2					
	Trazabilidad de los equipos de calibración		1	N.A.	N.A.	0	25%
Manejo de los datos	Porcentaje de datos validados (2000-2009)	PM_{10}	90%-100%	75%-89%	50%-74%	Menos del 50%	15%
		$PM_{2.5}$					
		O_3					
		CO					
		NO_2					
		SO_2					
	Procedimiento de validación de los datos		L, V y C	L,V	L	Ninguno	15%
	Oportunidad en la validación de los datos		El mismo día	Más de un día y menos de 15 días	De 15 a 30 días	Más 30 días	10%
Difusión de la información			Externo/ interno	Interno/ regular	En caso de contingencia	No se reporta	5%

Notas:
N. A. = no se aplica.
L = Limpieza, V = Verificación y C = Confirmación.

nes de monitoreo tiene como propósito principal que la población y los tomadores de decisiones conozcan la calidad del aire que respiran (INE-DGCENICA, 2010c; Ministry for the Environment, 2009). En este caso, el parámetro se definió con base en la frecuencia con la que los responsables de las redes de monitoreo difunden la información que generan y la forma en que lo hacen (Internet, libros, folletos, etc.), mediante las siguientes categorías:

Categoría	Puntuación	Desempeño
Difusión con frecuencia regular, a clientes internos y externos	1	Muy bueno
Difusión con frecuencia regular, a clientes internos	0.8	Bueno
Difusión solo en caso de contingencia	0.6	Mínimo aceptable
No se difunde la información	0	Requiere atención

Las puntuaciones obtenidas para cada parámetro se ponderaron, de acuerdo con su importancia relativa, y se sumaron para obtener el *desempeño global de la red* (ver cuadro 22.1). Al final, se asignó una cualidad al desempeño global de acuerdo con el siguiente puntaje:

Puntos	Desempeño global de la red
90–100	Muy bueno
75–89	Bueno
50–74	Mínimo aceptable
Menos de 50	Requiere atención

Para facilitar la interpretación de la evaluación cuantitativa, se utilizó una escala de colores para cada nivel de desempeño: verde para *muy bueno*, amarillo para *bueno*, naranja para *mínimo aceptable* y rojo para *requiere atención*.

En el cuadro 22.2 se muestra como ejemplo el desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la zona metropolitana de Mexicali. Cabe mencionar que en los capítulos solo se muestra la calificación cualitativa.

En la zona metropolitana de Mexicali se auditaron seis estaciones (cuatro automáticas y dos manuales) y 19 equipos de monitoreo (12 automáticos y 7 manuales).

2. Procedimiento para la revisión y la limpieza de las bases de datos

Los datos generados por las redes de monitoreo que se utilizaron para generar los indicadores presentados en este almanaque fueron sometidos a un proceso de tres etapas de revisión y limpieza en la DGICUR del INE[2], lo que contempló la eliminación de los datos no validados, así como la revisión del comportamiento temporal de los contaminantes. La secuencia seguida para la limpieza de las bases de datos se describe a continuación y se ilustra en la figura 22.1.

- Limpieza de las bases de datos: se eliminaron aquellos valores etiquetados con banderas[3] como *no válidos* por los responsables de las redes, entre otras razones por fallas en el sistema eléctrico o de comunicación, por fallas en los equipos de medición, y por operaciones de calibración o mantenimiento de equipos.
- Eliminación de los datos negativos o nulos: estos datos se consideran no válidos, pues la mayoría de los equipos de monitoreo cuentan con *límites inferiores de detección*[4] que son mayores que cero.

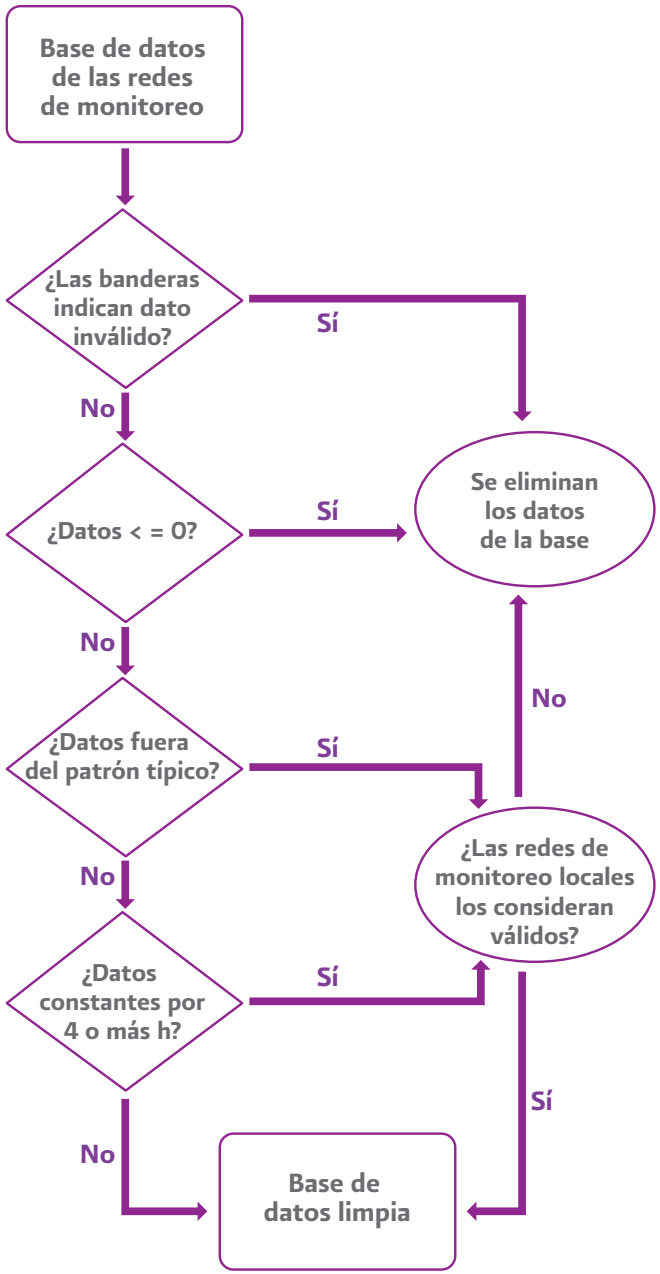
Cuadro 22.2 Desempeño de la red de monitoreo atmosférico de la ZM de Mexicali, Baja California (2000-2009)

Parámetro evaluado			Desempeño por parámetro				Desempeño global
			Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Aseguramiento de la calidad	Frecuencia de las auditorías		15.0				Bueno (82.5)
	No. de equipos de medición que pasaron la auditoría más reciente (2009)	PM_{10} [a]	2.5				
		$PM_{2.5}$ [b]				0.0	
		O_3	2.5				
		CO			1.5		
		NO_2			1.5		
		SO_2	2.5				
	Trazabilidad de los equipos de calibración		25.0				
Manejo de los datos	Porcentaje de datos validados (2000-2009)[c]	PM_{10} [a]			1.5		
		$PM_{2.5}$ [b]			1.5		
		O_3			1.5		
		CO			1.5		
		NO_2			1.5		
		SO_2			1.5		
	Procedimiento de validación de los datos			12.0			
	Oportunidad en la validación de los datos				6		
Difusión de la información			5.0				

Notas:
a Equipo manual (alto volumen).
b Equipo automático.
c Para las PM_{10} el porcentaje de datos validados corresponde al periodo 2000-2009; para las $PM_{2.5}$, de 2003 a 2008, y para el O_3, el CO, el NO_2 y el SO_2, al 2000-2008.

2 El procedimiento se realizó mediante el uso de macros en Excel.
3 Es un código alfanumérico que califica el estado de cada dato y que define si éste puede ser utilizado para reportes con un mayor o menor grado de certidumbre.
4 Las concentraciones mínimas de un contaminante que el equipo de monitoreo puede registrar.

Figura 22.1 Limpieza de las bases de datos



- Identificación de los datos que presentan un comportamiento fuera del patrón de los contaminantes: se detectaron los datos extremos y las concentraciones constantes registrados durante cuatro o más horas consecutivas. Una vez identificados dichos valores, fueron validados o, en su caso, invalidados por los responsables de las redes de monitoreo.

3. Construcción de los indicadores

Después de la revisión y la limpieza de las bases de datos horarios, se generaron los diferentes indicadores basados en los *datos horarios*, en los *promedios móviles de los datos horarios* o en los *datos diarios*, dependiendo de las especificaciones de las correspondientes normas de la calidad del aire, y tomando en cuenta los criterios de suficiencia correspondientes (ver anexo VI). En las siguientes secciones se describen las herramientas, los criterios de suficiencia y los indicadores calculados para cada contaminante y cada ciudad.

3.1 Herramientas y bases de datos utilizadas en la generación de indicadores

La generación de los indicadores para determinar la calidad del aire se llevó a cabo conforme lo descrito en el capítulo 4 del *Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire* publicado por el INE (INE-DGCENICA, 2010b). En dicho documento se presenta de manera detallada la definición y los procedimientos para generar cada tipo de dato, así como el procedimiento para obtener los indicadores de la calidad del aire. Adicionalmente se utilizó el *Sistema de Consulta de Indicadores de Calidad del Aire* (SCICA) para calcular las estadísticas descriptivas de los datos horarios, los datos diarios y los promedios móviles de ocho horas; los indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas (máximos, segundos máximos, quintos máximos, percentiles 98 y promedios anuales); los días en los que se rebasaron los valores normados,

y las tendencias y el comportamiento de los contaminantes hora a hora, día a día y mes a mes. Este sistema fue desarrollado en la Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR) del INE, y permitió automatizar el procesamiento de las bases de datos de la calidad del aire históricas de las veinte ciudades que se analizan en este documento, con lo que se redujo la probabilidad de errores humanos. Este sistema estará disponible para el público general a través de la página de Internet de la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (http://www.ine.gob.mx/calaire-indicadores/996-scica). De la misma manera, las bases de datos históricas validadas de las veinte ciudades que se analizan en este documento se encuentran disponibles para su descarga en la página http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/tend/concentra.php.

3.2 Datos diarios utilizados como base para los cálculos

En el cuadro 22.3 se describe, por contaminante, el tipo de dato diario considerado y el criterio de suficiencia (o compleción) de información utilizado para su cálculo. Como puede observarse, solo en el caso de las partículas y el ozono se utilizó el criterio de suficiencia de información del 75%, tal como se especifica en sus respectivas normas de la calidad del aire (DOF, 2002; DOF, 2005). Para el resto de los contaminantes, el criterio de suficiencia fue el 50% de los datos horarios.

3.3 Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM

En este documento se evalúan las estaciones de monitoreo y las zonas metropolitanas o ciudades en términos de su cumplimiento de las NOM referentes a la salud, siguiendo las especificaciones contenidas en dichas normas. De manera complementaria, se obtuvo información que, si bien no representa una evaluación

Cuadro 22.3 Datos diarios y criterios de suficiencia de información utilizados para la generación de indicadores

Contaminante	Dato diario	Criterio de suficiencia de información para el cálculo de los datos diarios
PM_{10}	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios (DOF, 2005)
$PM_{2.5}$	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios (DOF, 2005)
O_3	Máximo horario en un día	Al menos el 50% de los datos
	Máximo diario del promedio móvil de 8 h	Al menos el 75% de los datos de promedios móviles de 8 horas (DOF, 2002)
CO	Máximo diario del promedio móvil de 8 h	Al menos el 50% de los datos de promedios móviles de 8 horas
SO_2	Promedio de 24 horas	Al menos el 50% de los datos horarios
NO_2	Máximo horario en un día	Al menos el 50% de los datos horarios

Nota importante sobre el criterio de suficiencia: de acuerdo con los protocolos de otros países, la evaluación del cumplimiento con los estándares de la calidad del aire debe realizarse únicamente cuando se cumpla con el criterio de suficiencia del 75% de datos diarios y anuales (Ministry for the Environment, 2009). Sin embargo, si se siguiera este criterio se excluiría mucha información de las redes de monitoreo y, en muchos casos, no sería posible hacer la evaluación del cumplimiento de aquellos contaminantes que no cuentan con un criterio de suficiencia definido en las NOM, pues algunas de las redes de monitoreo de México apenas cumplen con el criterio de suficiencia del 50% de datos en el día. Por esta razón se utilizó solo este criterio del 50% en ausencia de otro publicado en las NOM respectivas.

Cuadro 22.4 Indicadores calculados para evaluar el cumplimiento de las NOM de la salud

Contaminante	Tipo de dato utilizado para la evaluación	Indicador	Criterio de suficiencia anual
PM_{10} y $PM_{2.5}$	Dato diario (promedio de 24h)	Percentil 98	Por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de las concentraciones diarias válidas (DOF, 2005)
		Promedio anual	
O_3	Dato diario de los promedios móviles de 8h	Quinto máximo	Al menos el 75% de las concentraciones diarias provenientes de los promedios móviles de ocho horas (DOF, 2002)
	Dato horario	Máximo	N.A.[a]
CO	Promedio móvil de 8 h	Segundo máximo	N.A.
SO_2	Dato diario (promedio de 24h)	Segundo máximo	N.A.
	Dato horario	Promedio anual	N.A.
NO_2	Dato horario	Segundo máximo	N.A.

Notas:
N.A. = No se aplica; las NOM no contienen especificaciones al respecto; el indicador se calculó con la información disponible durante el año.
a En el caso del dato horario del ozono, en el numeral 4.3.1.1 de la NOM se especifica que aun en el caso de que no se cumpla el criterio del 75% de los valores horarios, se incumplirá la norma cuando uno de los valores horarios sea mayor a 0.110 ppm.

Cuadro 22.5 Ejemplo de la evaluación del cumplimiento del límite horario de NO_2 (0.21 ppm)

Caso	Segundo máximo de las concentraciones horarias								Valor representativo de la ciudad o ZM	Porcentaje de estaciones con información suficiente	Diagnóstico para la ciudad o ZM
	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8			
1	0.239	0.147	0.172	0.166	0.311	0.098	0.128	0.346	0.346	100%	No se cumplió
2	0.113	0.046	0.120	0.111	0.092	0.090	S.M.	0.113	0.120	88%	Se cumplió
3	0.281	S.M.	0.286	0.190	0.116	0.097	S.M.	S.M.	0.286[a]	63%	No se cumplió[a]
4	D.I.	S.M.	0.121	D.I.	0.103	D.I.	S.M.	0.119	D.I.	38%	D.I.

Notas:
Est = Estación de monitoreo.
a El porcentaje de estaciones a partir de las cuales se calculó el indicador se encuentra entre el 50% y el 75%, por lo que el valor del indicador puede estar subestimado.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo.

del cumplimiento de las normas, sí proporciona datos valiosos sobre la calidad del aire. Éste es el caso de la distribución de los días *buenos*, *regulares* y *malos* con respecto a la concentración de contaminantes en la atmósfera. Asimismo, se incluyen las tendencias del 80% de las concentraciones diarias agregadas para cada ciudad.

3.3.1. Evaluación del cumplimiento de las NOM

Se evaluó el cumplimiento de las NOM de la salud en relación con el tiempo especificado para calcular el promedio de la concentración (1 hora, 8 horas y 24 horas) y la frecuencia tolerada de cada límite (por ejemplo, no se permite, se permite una vez, o cuatro veces, o en el 2% de las mediciones; ver anexo VI).

El cuadro 22.4 resume los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOM de la salud con respecto a cada contaminante, y los criterios de suficiencia de información para calcular el indicador anual.

Si bien las únicas normas que especifican que el cumplimiento debe evaluarse por estación de monitoreo son las que corresponden al O_3 y las PM, para efectos de guardar la consistencia en todo el tratamiento de los datos, en los demás contaminantes se evaluó el cumplimiento de las normas también por estación de monitoreo. Adicionalmente, se obtuvo un valor representativo de toda la ciudad o zona metropolitana para determinar el cumplimiento o incumplimiento también a esta escala.

El *Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire* publicado por el INE (INE-DGCENICA, 2010b) describe de manera más detallada los indicadores y un ejemplo paso a paso para el cálculo de los indicadores de las PM_{10}. En los casos donde no fue posible calcular el indicador, se utilizaron las siguientes siglas para identificar las causas por las que no fue posible el cálculo, a saber:

S.M. = sin medición

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE)

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia)

Evaluación del cumplimiento de los límites de la NOM por estación de monitoreo

En este caso se utilizaron todos los datos validados disponibles de cada estación de monitoreo, y se obtuvo cada uno de los indicadores que establece la normatividad correspondiente a cada contaminante, para cada estación de monitoreo, en todos los años en los que se contó con información suficiente para el cálculo. Por ejemplo, en el caso del cumplimiento de la norma del NO_2, se calculó el *segundo máximo de los datos horarios* en cada estación de monitoreo. Si el valor calculado excedió el límite de 0.21 ppm, se consideró que en esa estación no se cumplió con la norma horaria para este contaminante (pues en la norma se especifica que solo se puede exceder ese valor una vez al año). Los resultados de este cálculo se muestran, a manera de gráficas de series de tiempo, en los capítulos que describen la situación detallada de cada una de las 20 ciudades o zonas metropolitanas analizadas en este documento.

Evaluación del cumplimiento de los límites de la NOM por ciudad o zona metropolitana

Debido a que en las NOM de la calidad del aire no se especifica cómo evaluar el cumplimiento de los límites especificados a escala metropolitana o ciudad, se siguieron los lineamientos y recomendaciones que utiliza la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, sus siglas en inglés) para evaluar el cumplimiento de sus normas de la calidad del aire en regiones o áreas específicas (CFR, 2011; EPA, 1998). De acuerdo con esta autoridad, la evaluación del cumplimiento de las normas a escala metropolitana o de ciudad se lleva a cabo calculando un dato representativo, a partir de los datos calculados en cada estación de monitoreo. Se considera que el dato que representa las condiciones de la calidad del aire en esta escala es el valor más alto de los indicadores calculados para cada una de las estaciones de monitoreo. Esto es, si en una estación de monitoreo no se cumple con la norma, se considera que en la ciudad o ZM tampoco se cumple, y el valor representativo del incumplimiento corresponde a las peores condiciones registradas en la ciudad.

Adicionalmente, para que el valor calculado se considere representativo de toda una zona metropolitana o ciudad, se agregó un criterio de suficiencia adicional a los que incluye la normatividad. De acuerdo con este criterio, se requiere que al menos la mitad de las estaciones que miden el contaminante cuenten con un indicador, y que entre esas estaciones se incluya la estación de monitoreo que históricamente haya registrado las concentraciones más altas. En el caso de que el indicador se haya calculado con un porcentaje de entre el 50% y el 74% de las estaciones, se incluye una nota al pie como referencia para el lector.

Por ejemplo, para evaluar el cumplimiento de la norma horaria del NO_2 en una ciudad, se calcularon los segundos máximos de los datos horarios de cada una de las estaciones. Una vez obtenidos todos los valores, se seleccionó el valor *más alto* de los segundos máximos horarios para obtener el *dato representativo* de la ciudad, como se indica en el cuadro 22.5.

Los resultados de esta evaluación se muestran, a manera de gráficas de series de tiempo, en el capítulo 1, en el que se comparan los datos obtenidos de las 18 ciudades y se hace el diagnóstico nacional de la calidad del aire

Nota importante sobre los diferentes métodos para medir partículas (PM): en la mayoría de las ciudades y zonas metropolitanas incluidas en esta publicación se miden las PM con solo un tipo de equipo, automático o manual. Debido a que en México no existen especificaciones sobre cuáles datos utilizar para evaluar el cumplimiento de

Figura 22.2 Ejemplo de la representación gráfica de la distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala

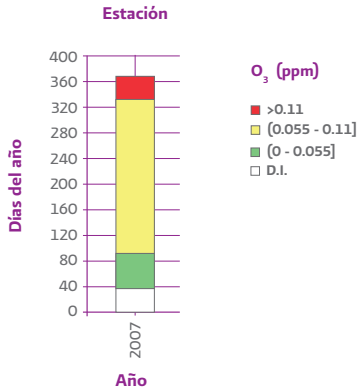
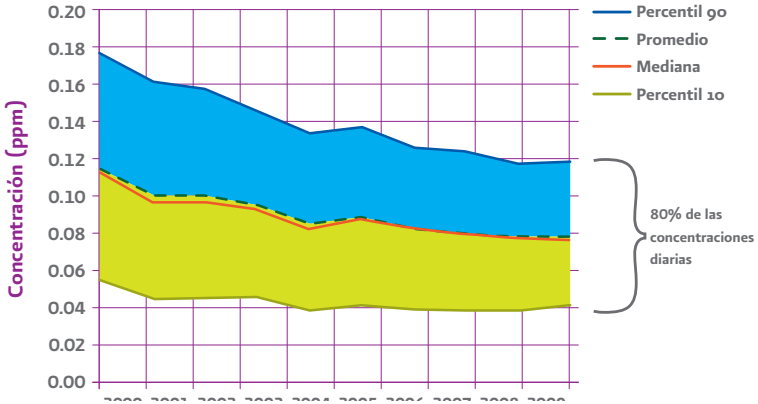


Figura 22.3 Ejemplo de la representación gráfica de las tendencias de los datos diarios



Cuadro 22.6 Color, calificativo e intervalos de concentración por contaminante

Color	Calificativo de la calidad del aire	PM_{10} µg/m³	$PM_{2.5}$ µg/m³	O_3 ppm	CO ppm	SO_2 ppm	NO_2 ppm
Verde	Buena	(0,60]	(0,32.5]	(0,0.055]	(0,5.5]	(0,0.065]	(0,0.105]
Amarillo	Regular	(60,120]	(32.5,65]	(0.055,0.11]	(5.5,11]	(0.065,0.13]	(0.105,0.21]
Rojo	Mala	> 120	> 65	> 0.11	> 11	> 0.13	> 0.21

la normatividad vigente para las PM_{10} y $PM_{2.5}$, en esta publicación se utilizó la información disponible en cada ciudad, dando preferencia a los datos obtenidos en el muestreo manual, pero admitiendo el uso de datos provenientes de equipo automático. Por ejemplo, en la ZMVM y Mexicali se miden las PM con ambos equipos, por lo que en estos dos casos la evaluación del cumplimiento se realizó con los datos provenientes del monitoreo manual. Se utilizó este criterio en congruencia con las recomendaciones de la USEPA sobre el uso de los datos provenientes de la red manual, pues se considera que la calidad de dichos datos es mejor en relación con la precisión y el sesgo, amén de contar con un mejor control en el laboratorio en términos de temperatura y humedad (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

3.3.2 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala

El cálculo de esta distribución se generó a partir de los datos diarios (ver cuadro 22.3). En el caso del ozono, el dato diario considerado es el máximo de las concentraciones horarias. Se definieron tres tipos de días, de acuerdo con el dato diario obtenido, a saber:

- *Días con calidad del aire buena:* cuando el dato diario obtenido se ubica en el intervalo definido entre cero y la mitad del límite respectivo especificado en las NOM referentes a la salud
- *Días con calidad del aire regular:* cuando el dato diario obtenido se ubica en el intervalo definido entre la mitad del límite respectivo especificado en la NOM y el límite mismo
- *Días con mala calidad del aire:* cuando el dato diario obtenido rebasa el límite especificado en la NOM respectiva.

Para efectos de representación, a cada día se le asignó un color dependiendo de la calidad del aire. En el cuadro 22.6 se muestran el color y el calificativo asociado con cada intervalo, así como la definición de los intervalos por contaminante.

Esta distribución se obtuvo tanto a nivel de estación de monitoreo como a nivel agregado, por ciudad o zona metropolitana.

En este último caso se consideró la concentración máxima de todas las estaciones y, para efectos de calcular el número de días o muestreos de 24 horas en los que se rebasó el límite especificado en la norma, se consideró que si al menos en una estación de monitoreo se rebasó el valor normado, entonces en ese día se rebasó la norma en toda la zona metropolitana o ciudad.

La distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala se representa mediante una gráfica de barras acumulada[5], en la que cada barra representa un año de información que se llena con los colores descritos con antelación. En las barras, el espacio en blanco indica que no se contó con información suficiente para determinar la calidad del aire en ese día, mientras que los espacios vacíos (sin barra) indican que no se realizaron mediciones durante ese año en esa estación, ciudad o zona metropolitana (ver figura 22.2). En este caso, para todos los contaminantes, se consideró suficiente contar con al menos el 50% de los datos horarios en el cálculo del dato diario.

3.3.3 Tendencias de los datos diarios

La tendencia de los datos diarios se presenta en el capítulo de comparaciones a través del promedio y los percentiles 10, 50 y 90 de todos los datos registrados en todas las estaciones de monitoreo de una zona metropolitana o ciudad durante el periodo de análisis. Con el fin de asegurar que el indicador muestre una tendencia confiable del comportamiento de los contaminantes, se consideraron dos criterios de suficiencia: la suficiencia diaria (descrita en el cuadro 22.3) y una suficiencia anual de los datos diarios de al menos el 75% de la información. Así, este indicador solo se presenta para aquellas ciudades o zonas metropolitanas que cumplen con los criterios anteriores en cada uno de los años del periodo de análisis. En la figura 22.3 se muestra un ejemplo de la representación gráfica[6] de este indicador.

5 Las gráficas de barras acumuladas se realizaron en el paquete estadístico PASW Statistics 18 (SPSS).
6 Las gráficas de las tendencias se realizaron en el paquete Excel.

3.4 Comportamiento horario, diario y mensual

Estos indicadores permiten visualizar el comportamiento de los contaminantes en distintos horizontes temporales.

El *comportamiento horario* se obtuvo mediante el cálculo del promedio de todas las concentraciones alcanzadas en cada una de las horas del día, considerando todas las estaciones de monitoreo de una zona metropolitana o ciudad durante el periodo de análisis (2000-2009). Así por ejemplo, para el cálculo de la concentración de PM_{10} a las 10:00 horas se tomó el promedio de las concentraciones que se generaron durante esa hora en todas las estaciones y durante todos los días de los años 2000 a 2009. En forma similar, el *comportamiento diario* se estimó a partir de los promedios de todas las concentraciones diarias durante cada uno de los días del periodo de análisis, y el *comportamiento mensual* se obtuvo a partir de los promedios de todas las concentraciones diarias durante cada uno de los meses del periodo de análisis.

3.5 Representación espacial de las concentraciones de los contaminantes

La representación espacial de las concentraciones de los contaminantes se muestra mediante mapas con una superficie continua de distintas tonalidades de un mismo color. Las tonalidades más intensas corresponden a las concentraciones más altas, y las de menor intensidad, a las más bajas. Estos mapas se generaron a partir de los promedios de las concentraciones diarias[7] registradas durante el periodo de análisis en cada una de las estaciones que conforman las redes de monitoreo. Los promedios anuales de las concentraciones en cada estación de monitoreo se calcularon considerando un criterio de suficiencia anual de por lo menos el 50% de los datos diarios.

7 En el caso del O_3 se utilizaron las concentraciones diarias provenientes de los promedios móviles de 8 horas.

3.5.1. Estimación de concentraciones en ausencia de estaciones de monitoreo

Para estimar las concentraciones en los lugares donde no se cuenta con mediciones (es decir, donde no hay estaciones de monitoreo) se utilizó el método geoestadístico de interpolación *kriging*, que considera la estructura espacial de los datos (Armstrong, 1998; EPA, 2004).

Comúnmente, el área de interpolación para presentar las concentraciones de contaminantes del aire se define a través de un polígono que tiene como vértices las estaciones externas de las redes de monitoreo. Sin embargo, las estaciones de monitoreo tienen una representatividad espacial[8] que va más allá de su ubicación puntual y que depende de la ubicación de la estación, los objetivos del monitoreo, la ubicación relativa de las fuentes cercanas de emisión y su entorno físico, entre otros aspectos. En nuestro país, la ZMVM es la única que reporta la representatividad de sus estaciones, hasta el momento. Por lo anterior, se supuso que en general la escala espacial de las estaciones de las demás ciudades correspondía a una estación urbana de fondo[9]. Por lo tanto, el área de interpolación se amplió más allá de los vértices marcados por las estaciones de monitoreo a 1.5 km de las estaciones externas limítrofes. Es importante señalar que el área de interpolación de las concentraciones para una ciudad puede cambiar dependiendo del contaminante, dado que algunas redes no miden todos los contaminantes en todas las estaciones.

Para la mayoría de las ciudades, a excepción de la ZMVM, la interpolación de las concentraciones mediante el método *kriging* se realizó con el *software* ArcGIS versión 9.3 en cuatro etapas:

1. Mapeo de la ubicación de las estaciones de monitoreo de las redes: con base en las coordenadas geográficas de las estaciones se generaron los archivos de puntos, para cada red y para cada contaminante, en el formato vectorial *shapefile* con los promedios anuales de las concentraciones como atributo tabular.
2. Definición del área de interpolación: para ampliar el área se añadieron puntos ficticios a una distancia de 1.5 km de las estaciones externas limítrofes, a los cuales se les asignaron las mismas concentraciones que las calculadas para las estaciones.
3. Interpolación de los datos: se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools*, un complemento de ArcGIS que a su vez tiene incorporado el algoritmo de cálculo del método *kriging*. Este algoritmo requiere como insumo el archivo de puntos del paso anterior, y como resultado se obtienen dos archivos: uno contiene la interpolación de las concentraciones, y el otro los valores respectivos de la varianza, con un formato matricial o *raster*[10]. En esta etapa se utilizaron los parámetros por defecto para la construcción del semivariograma de los datos analizados, así como la asignación a éste del modelo teórico.
4. Redefinición del dominio interpolado: a partir del archivo *raster* de la varianza, se recortó el *raster* de las concentraciones mediante la herramienta *Raster Calculator*, dejando únicamente las superficies de concentraciones que tuvieron un valor de la varianza menor a tres veces su desviación estándar.

En el caso de la ZMVM, el procedimiento de *kriging* fue ligeramente diferente al descrito debido a que su red tiene un mayor número de estaciones de medición; esto permitió realizar un análisis más detallado de los datos mediante el *software* estadístico SPLUS 2000 a través del *Module Spatial*. A diferencia del procedimiento descrito en los párrafos anteriores, la selección de los parámetros del semivariograma y la asignación del modelo teórico se hicieron de manera manual a fin de conseguir un ajuste más preciso de los

8 La escala espacial de representatividad se describe en términos de las dimensiones físicas de la parcela de aire más cercana a la estación de monitoreo a través de la cual la concentración de contaminantes real es razonablemente similar (CENMA *et al.*, 2002).

9 De acuerdo con la clasificación establecida en el documento *Classification and Criteria for Setting Up Air-Quality Monitoring Stations*, editado por la Agencia de Administración del Medioambiente y la Energía de Francia (ADEME, sus siglas en francés), Ediciones ADEME, Paris, 2002.

10 En este formato los datos se presentan como una matriz de celdas de área igual.

datos. Asimismo, no fue necesario agregar puntos ficticios al exterior de las estaciones limítrofes del área de interpolación a 1.5 km, debido a que el algoritmo del *software* permite la extrapolación de las estimaciones fuera del área de estimación. La visualización de las estimaciones se realizó a través de ArcGIS versión 9.3

3.6. Exposición de la población

La *concentración promedio anual ponderada por población (CPAPP)* es un indicador que permite estimar la exposición de la población de una ciudad a los contaminantes atmosféricos, pues toma en cuenta la variabilidad espacial tanto de las concentraciones como de la densidad poblacional. En general, el valor de la *CPAPP* es ligeramente diferente al valor del promedio anual calculado únicamente a partir la distribución espacial del contaminante pues, en vez de considerar que todas las concentraciones contribuyen por igual al cálculo del promedio, se les asigna un mayor "peso" a aquellas regiones que tienen una mayor densidad de población (ver ejemplos en el cuadro 22.7). Por lo tanto, este indicador representa la concentración promedio a la que está expuesta una persona que viva dentro de la zona de interés (The World Bank, 2002; Statistics Canada, 2007).

La estimación de la *CPAPP* se obtiene al posicionar, mediante el uso de sistemas de información geográfica, los mapas que contienen la representación de la distribución espacial de los contaminantes sobre un mapa que contenga los datos de población desagregados a nivel de las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) estimadas para el año 2005[11]. Esto se llevó a cabo en tres fases:

1. Obtención de los promedios anuales de las concentraciones: con base en las concentraciones diarias correspondientes al año 2009 (por ser el año más reciente), se calcularon las concentraciones promedio anuales para cada contaminante con un criterio de suficiencia de información de un mínimo del 50% de las concentraciones diarias en el año. En las ciudades donde no se cumplió con el criterio de suficiencia de información, no se calculó la *CPAPP*.
2. Obtención de la distribución espacial de los promedios anuales de las concentraciones: a partir de los promedios obtenidos, se elaboraron mapas para obtener la representación espacial de las concentraciones de cada uno de los contaminantes, utilizando el método descrito en la sección precedente, para cada una de las redes que contaron con información suficiente.
3. Intersección de las distribuciones espaciales de las concentraciones y de la población: utilizando los datos correspondientes al año 2005, se asignó la población a los centroides del polígono de las AGEB a fin de reducir la incertidumbre. Como resultado del proceso de intersección se obtuvo un nuevo mapa que incluye las concentraciones estimadas del contaminante y el valor correspondiente de población para cada punto.
4. Cálculo de la *CPAPP*: se utilizó la siguiente ecuación:

donde:

$$C_{papp} = \frac{\sum^{i} C_i \times P_i}{P}$$

C_{papp}	Concentración promedio anual ponderada por población
C_i	Concentración anual en la $AGEB_i$
P_i	Número de personas en la $AGEB_i$
P	Población total en el área de cobertura

Cabe destacar que la *población total en el área de cobertura* (*P*) considerada en los cálculos descritos no necesariamente corresponde a la población total de una zona metropolitana o ciudad, sino que puede corresponder a toda la población que se ubica dentro del dominio de la red de monitoreo. Sin embargo, debido a que una gran parte de la población total se encuentra dentro del área de cobertura de las redes, se considera válida esta aproximación para estimar la exposición en toda la ciudad. Asimismo, la *P*

Cuadro 22.7 Concentración promedio anual ponderada por población vs. el promedio anual de las concentraciones

Zona metropolitana	CPAPP de O_3 (ppb)	Promedio anual de O_3 (ppb)
ZMVM	57	59
ZMG	52	52
ZMM	48	44

11 II Conteo de Población y Vivienda 2005 (INEGI, 2010).

Cuadro 22.8 Ejemplo de la clasificación de las ciudades por su grado de contaminación, O_3 (2009)

Localidad	ZMVM	ZMG	AMM	León	San Luis Potosí	Silao
Número de días en los que se rebasó el valor de la norma	179	75	12	23	0	1
Calificación del número de días en los que se rebasó el valor de la norma	1.00	0.42	0.07	0.13	0.00	0.01
Máximo horario (ppm)	0.198	0.208	0.149	0.150	0.058	0.111
Calificación del máximo horario	0.95	1.00	0.72	0.72	0.28	0.53
Quinto máximo (ppm)	0.124	0.136	0.085	0.106	0.039	0.074
Calificación del quinto máximo	0.91	1.00	0.62	0.78	0.29	0.54
Promedio anual ponderado por población (ppm)	57	52	43	50	30	45
Calificación del promedio anual ponderado por población	1.00	0.91	0.76	0.88	0.53	0.78
Percentil 90 (ppm)	0.120	0.106	0.083	0.117	0.042	0.066
Calificación del percentil 90	1.00	0.88	0.69	0.98	0.35	0.55
Mediana (ppm)	0.079	0.063	0.054	0.057	0.029	0.050
Calificación de la mediana	1.00	0.80	0.68	0.72	0.37	0.63
Suma de calificaciones	5.86	5.01	3.54	4.21	1.81	3.05
Clasificación de acuerdo con la suma de calificaciones	1°	2°	4°	3°	6°	5°

Nota importante: debido a que no se cumplieron los criterios de suficiencia de información en todas las ciudades para generar todos los indicadores de 2009, algunas ciudades no se incluyeron en la clasificación (ver anexo III). En el capítulo correspondiente se indica qué ciudades no pudieron ser incluidas por esta razón.

puede cambiar en una misma ciudad dependiendo del contaminante bajo análisis (pues los dominios de cada estación de monitoreo y de las redes en su conjunto pueden variar de acuerdo con lo descrito en la sección anterior), o debido a cambios en las estaciones de monitoreo o en el funcionamiento de los equipos a lo largo de los años. La *P* considerada para cada uno de los contaminantes y ciudades se muestra en el anexo VII.

3.7. Clasificación de las ciudades por su grado de contaminación

Se clasificó a las ciudades de acuerdo con su grado de contaminación en el año 2009. Dicha clasificación está basada en un índice compuesto generado a partir de los siguientes indicadores:

a) Número de días en los que se rebasó el valor de la norma (excepto PM_{10})
b) Concentración comparable con la norma (por ejemplo, máximo, segundo máximo, percentil 98, promedio anual)
c) Concentración promedio anual ponderada por población
d) Mediana de las concentraciones diarias
e) Percentil 90 de las concentraciones diarias

Al valor de cada indicador se le asignó una calificación de 0 a 1. Esta calificación se determinó al dividir el valor del indicador de cada ciudad entre el valor más alto de todas; así, la ciudad con el valor más alto resultó con una calificación, para ese indicador, igual a 1. Una vez calificados todos los indicadores, se sumaron las calificaciones correspondientes a cada ciudad. De este modo, la suma de las calificaciones de todos los indicadores refleja el grado relativo de contaminación entre ciudades, y la calificación más alta corresponde a la ciudad más contaminada. En el cuadro 22.8 se muestra como ejemplo la forma en que se calificaron los indicadores del O_3.

Consideraciones finales

Este cuarto almanaque contiene el análisis de todos los datos validados de las redes de monitoreo que operan regularmente en veinte ciudades en las que habitan cincuenta millones de mexicanos, que ahora cuentan con un informe completo de la calidad del aire y del desempeño de las redes de monitoreo del lugar donde viven. En comparación con el tercer almanaque (Zuk *et al*., 2007), esta publicación constituye una mejora en la cantidad de la información presentada, pues se incrementó el número de ciudades, aumentó el grado de detalle en la información y, por vez primera, se evaluó el desempeño de las redes de monitoreo.

El diagnóstico que se presenta en este almanaque arroja resultados interesantes sobre la normatividad mexicana en materia de calidad del aire, los avances y los principales retos con respecto a la calidad del aire, la calidad de la información disponible y el desempeño de las redes de monitoreo. A continuación se describen los hallazgos más importantes.

Con respecto a la normatividad mexicana

En primera instancia, la revisión de las normas vigentes de la calidad del aire reveló que, particularmente en lo que respecta al bióxido de nitrógeno y al bióxido de azufre, la normatividad mexicana establece límites de contaminantes en el aire que están muy por encima de lo que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) como límites máximos permisibles, que corresponden a los valores que deberían estar vigentes. En los casos de las partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y el ozono, la normatividad mexicana está también rezagada, pero con respecto a los límites más estrictos recomendados por la OMS como valores guía para proteger la salud de la población, que representan objetivos a mediano y largo plazos. Esto quiere decir que, aun si se cumpliera con las normas oficiales mexicanas, no podría decirse que se protege la salud de la población pues estaría expuesta a niveles superiores a los recomendados por la OMS.

Con respecto a la calidad del aire en las ciudades

A partir del análisis de los distintos indicadores se observa que, entre 2000 y 2009, se redujeron las concentraciones de ciertos contaminantes en Monterrey, Guadalajara, el valle de México, San Luis Potosí, Salamanca, Mexicali, Tijuana y Celaya:

- En el Área Metropolitana de Monterrey se cumple con las normas de la calidad del aire para el SO_2 y el CO; las concentraciones de estos contaminantes se han reducido en los últimos años, y muestran una tendencia decreciente. Asimismo, para las PM_{10}, se revirtió la tendencia creciente que se observó entre 2000 y 2005 y, por tanto, el número de días en los que se rebasa la norma se redujo casi el 50% desde 2005, particularmente en las estaciones SO y NO, y a partir de ese año disminuyó el 12% la exposición promedio anual. Sin embargo, esta ciudad es la tercera ciudad más contaminada con PM_{10}, pues aún no se cumple con la norma de este contaminante.
- En la Zona Metropolitana de Guadalajara la norma del CO se cumplió en todo el periodo y las concentraciones siguen dis-

minuyendo. Además, el número de días en los que se rebasa la norma de las PM_{10} decreció el 80%, particularmente en las estaciones LDO y MIR, por lo que la exposición promedio anual a este contaminante disminuyó el 13%. Sin embargo, todavía no se cumple la norma de las PM_{10}.

- En el valle de México las normas del SO_2 y del CO se cumplen, y se observa una clara tendencia decreciente en sus concentraciones. Por otra parte, la exposición promedio anual al ozono se redujo el 27%, el número de días en los que se rebasa la norma disminuyó más del 45%, y se observa una trayectoria decreciente en los indicadores de todas las estaciones de monitoreo. No obstante, aún no se cumplen los límites de la norma del ozono.
- En San Luis Potosí se han cumplido los límites normados para el ozono desde que comenzaron a operar las tres estaciones de monitoreo con las que cuenta, y la tendencia en las concentraciones es claramente decreciente.
- En Salamanca las concentraciones de SO_2 de 2000 superaron en un 260% el límite anual establecido por la Secretaría de Salud. Desde entonces, las concentraciones de este contaminante disminuyeron tanto que la exposición promedio anual de la población se redujo el 70%, y desde 2009 se cumple con los dos límites de la norma. Sin embargo, aún es la ciudad con más contaminación por bióxido de azufre en el país.
- En Mexicali la concentración de CO se redujo en 2008 a un tercio respecto a la registrada en 2001, por lo que desde 2007 ya se cumple con la norma, y se observa que las concentraciones continúan reduciéndose.
- En Tijuana se cumplió con la norma para el CO en todo el periodo, y se observa una tendencia descendente en las concentraciones de los últimos años.
- En Celaya las concentraciones registradas de CO cumplen holgadamente la norma desde que la red inició operaciones.

Por otra parte, los datos disponibles también revelan que entre 2000 y 2009 las PM_{10} y el ozono siguieron siendo los principales problemas de la calidad del aire en varias zonas del país y, en algunos casos, se han agravado. Asimismo, se evidenciaron problemas anteriormente no detectados en ciudades medias y pequeñas:

- Juárez fue la ciudad más contaminada con PM_{10} en 2009, pues la exposición promedio anual aumentó casi un 10% con respecto a 2005. En los últimos tres años, casi el 45% de los muestreos que se registran anualmente no cumplen con el límite de 24 horas y, por lo tanto, tampoco se cumple con el límite anual.
- Toluca fue clasificada como la segunda ciudad más contaminada con PM_{10} en 2009. Durante ese año se rebasó la norma en el 42% de los días del año, más que en cualquier otra localidad, y el límite anual se superó con concentraciones que son el doble de dicho límite.
- El valle de México figura ahora como la cuarta ciudad más contaminada con PM_{10}, pues no se cumple con ninguno de los límites de la norma, y el número de días en los que se excedió la norma diaria aumentó en los últimos dos años, especialmente en las estaciones del noreste, hasta llegar a 48 en 2009.
- Mexicali, que figuraba como el primer lugar en el país por contaminación con PM_{10} en el tercer almanaque, no pudo ser clasificada en 2009 por falta de datos. Durante 2008, sin embargo, en el 65% de los muestreos efectuados se rebasó el límite diario, y los registros de años anteriores en las estaciones Progreso y Cobach corresponden a valores que son el doble o el triple de los dos límites de la norma.
- Guadalajara continúa siendo la segunda ciudad más contaminada con ozono, después del valle de México. La exposición promedio anual a este contaminante aumentó el 27%, especialmente cerca de las estaciones CE y LDO. Los indicadores de la norma de 2009 sobrepasaron los niveles registrados en el valle de México y muestran una tendencia creciente.
- León desplazó a Monterrey y se convirtió en la tercera ciudad más contaminada con ozono en México. En los últimos cua-

tro años el indicador del límite anual aumentó el 80%, y el número de días en los que se rebasó la norma aumentó de 0 a 23. En esta ciudad tampoco se cumplen los límites de la norma para las PM_{10} desde que la red de monitoreo inició operaciones, y las concentraciones de CO de los últimos dos años excedieron la norma.

- En Salamanca, en la estación Cruz Roja**,** casi se triplicó la concentración de NO_2 en los últimos tres años, y la concentración de 2009 se encuentra muy cerca del valor de la norma.
- En Irapuato las concentraciones de CO aumentaron desde que comenzó a operar la red de monitoreo; los dos últimos años muestran un incremento muy notable de dichas concentraciones, con valores muy próximos al límite normado en las estaciones TEO y SEC.

Con respecto a la calidad de los datos obtenidos de las redes de monitoreo

Este trabajo arrojó también hallazgos importantes sobre la cantidad y la calidad de los datos proporcionados por las veinte redes de monitoreo. Solamente en el valle de México los datos reportados fueron adecuados y suficientes para evaluar la calidad del aire con respecto a todos los contaminantes durante todo el periodo 2000 a 2009. Existe una gran heterogeneidad entre las distintas redes, pero en general los datos son insuficientes para realizar un diagnóstico robusto y completo de la calidad del aire entre 2000 y 2009 de todas las ciudades consideradas:

- En Toluca, Puebla, Juárez, Tijuana, Mexicali, Tecate y Rosarito, donde habitan siete y medio millones de personas, no se generó información suficiente para evaluar el cumplimiento de las normas de la calidad del aire o, inclusive, se dejaron de realizar mediciones de uno o varios contaminantes durante uno o varios años.
- Las redes de monitoreo que recientemente iniciaron operaciones enviaron, en su mayoría, información incompleta o insuficiente para el diagnóstico. Destacan las ciudades de Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Celaya, y la redes de Tabasco y Tula-Tepeji que, en conjunto, albergan a seis millones de personas, para las cuales no fue posible hacer un diagnóstico de la calidad del aire para ninguno de los contaminantes en 2009. De León, San Luis Potosí, Irapuato, Salamanca y Silao la información fue incompleta, aunque suficiente para evaluar uno, dos o tres contaminantes.
- En las tres ciudades que miden $PM_{2.5}$ fuera del valle de México (Guadalajara, Monterrey y Mexicali) hubo problemas para calcular los indicadores. En Guadalajara los datos fueron declarados inválidos por los responsables de la red; en Monterrey la información recopilada solamente fue suficiente para evaluar el número de días en los que se rebasa la norma diaria, y en Mexicali solamente pudieron calcularse los indicadores para tres años.

Con respecto a la evaluación del desempeño de las redes

Las variables que se incluyeron en esta primera evaluación son aquellas que se consideran mínimas e indispensables para la generación de información confiable para la toma de decisiones y para la evaluación de los resultados de las acciones de política cuyo objetivo sea mejorar la calidad del aire. Destacan, con respecto al desempeño de las redes, los siguientes aspectos:

- Las actividades de mantenimiento de las redes, su operación y los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad que se implementaron entre los años 2000 y 2009 en las redes del valle de México y Juárez redundaron en un desempeño muy bueno, mientras que en Monterrey, León, Rosarito, Salamanca, Tecate, Tijuana y Mexicali el desempeño se calificó como bueno. En estas redes persisten, empero, áreas de oportunidad importantes, como la frecuencia de auditorías en el valle de México, Monterrey y León. El porcentaje de da-

tos válidos (en particular de ozono y PM_{10}) y la oportunidad de la validación son los aspectos más importantes a mejorar en las cuatro redes del estado de Baja California.

- En las redes de monitoreo con desempeño considerado *mínimo aceptable* (Celaya, Irapuato, Puebla, Silao y Toluca) y que *requiere atención* (Durango, Gómez Palacio y Lerdo, Tabasco, Tula y Tepeji del Río, Guadalajara y San Luis Potosí), las áreas de oportunidad más importantes se detectaron con respecto a la baja frecuencia o la ausencia de las auditorías, el bajo porcentaje de aprobación de los equipos de medición (particularmente de PM_{10} y NO_2) en las auditorías que sí se realizaron, la baja trazabilidad de los equipos de calibración y el bajo porcentaje de datos válidos (particularmente de PM_{10} y ozono). En contraste, en la mayoría de estas redes se cuenta con *buenos* o *muy buenos* procedimientos de validación, que se realizan con oportunidad; la difusión de la información producida es, en general, adecuada.

Recomendaciones

El monitoreo atmosférico de los contaminantes del aire es, junto con los inventarios de emisiones, una herramienta fundamental para proteger a la población de los impactos negativos de la contaminación atmosférica. En la medida en que estos instrumentos estén actualizados y proporcionen información confiable, la gestión de la calidad del aire se hará de manera más costo-efectiva, y se aprovecharán mejor los recursos humanos, tecnológicos y económicos disponibles para mejorar la calidad del aire en el país. Para lograr lo anterior, se recomienda lo siguiente:

Actualizar y complementar las normas de la calidad del aire

Es necesario revisar las normas de la calidad del aire, en especial las correspondientes al SO_2 y el NO_2, para que se alineen con los objetivos intermedios y, finalmente, con los valores recomendados por la OMS. Asimismo, es recomendable incluir en la normatividad mexicana criterios y lineamientos específicos para el manejo adecuado de los datos provenientes de las redes de monitoreo. Los criterios de suficiencia de información y de cumplimiento de las normas a escala urbana, por ejemplo, están ausentes de la normatividad actual y son indispensables para evaluar correctamente la calidad del aire.

Mejorar la operación de las redes de monitoreo

En este almanaque se incluye información de menos de la mitad de las más de ochenta redes de monitoreo que se han instalado en el país. Es necesario que todas las redes que aún no lo hacen reporten con regularidad sus mediciones, establezcan programas de operación y mantenimiento eficaces, y desarrollen actividades de control y aseguramiento de la calidad de los datos. Esto es indispensable para que se cumpla el propósito para el cual fueron instaladas: que toda la población que se encuentra en su área de cobertura conozca, a partir de datos confiables, la calidad del aire que respira.

Las veinte redes de monitoreo que comprende este almanaque cuentan ahora con un diagnóstico de su desempeño que deberá servir como primer paso para la mejora de sus operaciones. Se requiere, por tanto, que los responsables de las redes de monitoreo desarrollen e implementen planes de mejora de las áreas de oportunidad identificadas en esta primera evaluación de su desempeño, sobre todo en lo que respecta a las auditorías de los equipos de medición. Esto es indispensable particularmente en las zonas metropolitanas de Puebla, Tijuana y Toluca, donde se concentran cerca de cinco millones de personas, y en la zona de Tula-Tepeji, donde se encuentra un complejo importante para el sector energético del país y donde, además, se construirá una nueva refinería.

Asimismo, la Semarnat, en conjunto con los responsables de las redes, debe desarrollar protocolos detallados para todos los aspectos de la operación, el mantenimiento, la evaluación del desempeño y el manejo de los datos provenientes de las redes.

Aumentar la infraestructura de monitoreo y mejorar la representatividad de los datos

La cantidad y la ubicación de los equipos de monitoreo en una zona determinan la representatividad de los datos obtenidos. Las redes de Rosarito, Silao y Tecate, por ejemplo, se componen de una sola estación de monitoreo, cuyas mediciones difícilmente pueden considerarse representativas de toda una zona urbana, pero que, en ausencia de más estaciones distribuidas en esta región, se interpretan erróneamente como representativas. Otras redes comprenden varias estaciones, pero de éstas algunas se encuentran ubicadas en el área de influencia de fuentes de emisión importantes, lo que reduce su representatividad a una zona muy específica. La estación Progreso de Mexicali, por ejemplo, que registra las concentraciones más altas de PM_{10} en esa ciudad, recibe la influencia del polvo proveniente de una zona aledaña sin cubierta vegetal. Por lo tanto, es necesario ampliar la infraestructura de monitoreo en las zonas donde es insuficiente; y en aquellas zonas donde existen suficientes estaciones de monitoreo, es preciso que los responsables de las redes definan la clasificación de todas las estaciones con respecto a su representatividad y evalúen su distribución para garantizar que los datos obtenidos sean representativos de la calidad del aire a escala urbana.

La información sobre la calidad del aire: prioridad de salud pública y ambiental

En la medida en que la información sobre la calidad del aire se ponga a disposición del público, del sector privado y de las autoridades ambientales, la sociedad en su conjunto podrá, en principio, tomar conciencia sobre los problemas de contaminación atmosférica de su localidad y, por ende, proponer y participar activamente en las acciones para mejorarla. El primer paso para aspirar a reducir los miles de casos de mortalidad y morbilidad que ocasiona la contaminación atmosférica en nuestro país cada año es conocer y dar a conocer el estado que guarda el aire. La instrumentación de las recomendaciones que se plantean en los párrafos anteriores muy probablemente demandará incrementar los recursos humanos, tecnológicos y monetarios destinados a la gestión de la calidad del aire y a la operación de las redes de monitoreo. En el entorno económico actual, estos recursos serán inaccesibles a menos que esta información se comunique adecuadamente a la población, a los investigadores, a las autoridades ambientales y de salud de los tres órdenes de gobierno, y a los miembros del Congreso de la Unión. Respirar una calidad del aire adecuada debe convertirse en una prioridad de salud pública nacional. Eso es lo que demandan los miles de mexicanos que padecen asma o enfermedades cardiopulmonares, los hipertensos, los diabéticos, los niños, los adultos mayores de 65 años, las mujeres embarazadas, los policías de tránsito, los atletas y todos aquellos que están expuestos continuamente a la contaminación ambiental por la naturaleza de las actividades que realizan diariamente. Eso es lo que demandamos todos los mexicanos.

Bibliografía

Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer, Germany. 153 pp.

California Environmental Protection Agency. 2010. State and National Air Quality Standards. Disponible en: http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf.

CENMA (Centro Nacional de Medio Ambiente). 2002. Elaboración de Reglamentos y Protocolos de Procedimientos para el Aseguramiento de la Calidad del Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos. Universidad de Chile. Reporte LMA-030-2003, pp.

CFR (Code of Federal Regulations). 2011. Title 40: Protection of Environment, Part 50, National Primary and Secondary Ambient Aire Quality Standards.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Precipitación mensual acumulada reportada para la estación La puerta del municipio de Tecate.

Corona-Zambrano E.A y R.I. Rojas. 2009. Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana. Mexicali, Baja California. *Estudios Fronterizos* 10(20): 79-102.

DOF. 2002. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación del 30 de Octubre de 2002.

DOF. 2005. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación del 26 de Septiembre de 2005.

DOF. 1994a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación del 23 de Diciembre de 1994.

DOF. 1994b. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación del 23 de Diciembre de 1994.

DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010. Diario Oficial de la Federación del 8 de Septiembre de 2010.

DOF. 1994c. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación del 23 de Diciembre de 1994.

EMA (Entidad Mexicana de Acreditación). 2010. Manual de procedimientos, trazabilidad de las mediciones, Política. Reporte MP_CA006, 1-12 pp.

Environmental Protection Agency (EPA). 1999. The Benefits and Cost of the Clean Air Act from 1990 to 2010. Reporte EPA-410-R-99-001, 114 pp.

Environmental Protection Agency (EPA). 2011a. The Benefits and Cost of the Clean Air Act from 1990 to 2020: Summary Report. Reporte final, 34 pp.

Environmental Protection Agency (EPA). 2004. Developing Spatially Interpolated Surfaces and Estimating Uncentainty. Reporte 454/R-04-004, 59 pp.

Environmental Protection Agency (EPA). 2011b. Effects of CO air pollution. Disponible en: www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/.

Environmental Protection Agency (EPA). 1998. Guideline on Data Handdling Conventions for the 8-hour Ozone NAAQS. Office of air Quality Planning and Standards, Research Tringle Park, NC. Reporte EPA-454/R-98-017, 17 pp.

Environmental Protection Agency (EPA). 2010. *NAAQS-USEPA. National Ambient Air Quality Standards*. Disponible en: http://www.epa.gov/air/criteria.html

European Commission. 2010. Air Quality Standards. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm.

García-Reynoso, J.A. 2009. Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista especializada en ciencias Químico Biológicas*, 12(2): 83-86 pp.

GEBC (Gobierno del Estado de Baja California). 2010a. *Medio físico de Tijuana*. Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/medio_fisico_tij.jsp

GEBC (Gobierno del Estado de Baja California). 2010c. Medio físico del municipio de Playas de Rosarito. Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/rosarito/medio_fisico_r.jsp.

GEBC (Gobierno del Estado de Baja California). 2010b. *Sectores de Tijuana*. Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/sectores.jsp

GEBC-INFDM (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2005b. *Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Baja California, Tecate*. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/bajacalifornia/municipios/02003a.htm

GECB-INFDM (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2005a. *Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Baja California, Mexicali*. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/bajacalifornia/municipios/02002a.htm

GECH (Gobierno del Estado de Chihuahua), Instituto de Ecología del Estado de Chihuahua y SEMARNAT. 2006. *Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 2006-2012*. México. 80 pp.

GED-INFDM (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo municipal). 2005. *Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Durango*. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/durango/medi.htm

GEG (Gobierno del Estado de Guanajuato), Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato y SEMARNAT. 2008. *Programa para mejorar la calidad del aire en León 2008-2012*. México. 150 pp.

GEG (Gobierno del Estado de Guanajuato), SEMARNAT, SENER, IEGG (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato) y Presidencia municipal de Guanajuato. 2007. *Programa para mejorar la calidad del aire en Salamanca 2007-2012*. México. 168 pp.

GEG-INFDM (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo municipal). 2005b. *Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Guanajuato, Celaya*. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/guanajuato/municipios/11007a.htm

GEG-INFDM (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo municipal). 2005a. *Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Guanajuato, Irapuato*. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/guanajuato/municipios/11017a.htm

GEHGO-SEDECO (Secretaría de Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Hidalgo) 2010. Hidalgo en cifras. Disponible en http://sedeco.hidalgo.gob.mx/descargas/Hidalgo_en_Cifras.pdf.

GEJ (Gobierno del Estado de Jalisco). 2007. *Programa Jalisco para el Mejoramiento de la Calidad de Aire "Mejor Atmosfera" 2007-2013*. México. 78 pp.

GEM (Gobierno del Estado de México). 2007b. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004*. México. 97 pp.

GEM (Gobierno del Estado de México), SEMARNAT. 2007a. *Aire Limpio: Programa para el Calle de Toluca 2007-2011*. México. 152 pp.

GENL (Gobierno del Estado de Nuevo León) 2008b. Presentación: Retos de la Gestión de la Calidad del Aire en Nuevo León. "II Taller sobre implicaciones en politica pública de nuevos hallazgos cientificos sobre la contaminación atmosférica". Organizado por SEMARNAT-INE, Molina Center for Energy

and the Environment (MCEE) y SEMADES. 3 y 4 de Octubre de 2008. Guadalajara, Jalisco. Disponible en http://www2.ine.gob.mx/dgcenica/descargas/taller_implicaciones2008_pon_18_dela_cerda.pdf.

GENL (Gobierno del Estado de Nuevo León) y SEMARNAT. 2008a. *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012*. México. 196 pp.

GEP (Gobierno del Estado de Puebla), SEMARNAT. 2005. *Programa de Gestión de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2011*. México. 125 pp.

INE 2000. Gestión de la Calidad del Aire en México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000.

INE. 2010. Sistema Nacional de Calidad del Aire. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/rama_bc.html.

INE-DGCENICA. 2007. Categorización de estaciones de monitoreo del país. México. Reporte final, 98 pp.

INE-DGCENICA. 2008. Asesoría sobre categorización de estaciones de las redes de monitoreo atmosférico de Guanajuato –Salamanca, León, Celaya, Irapuato y Silao. México. Reporte final, 25 pp.

INE-DGCENICA. 2011. Información preliminar del Diagnóstico de la Medición de la Calidad del Aire en México.

INE-DGCENICA. 2010a. *Lineamientos Técnicos y Administrativos para la Auditaría de Sistemas de la Calidad del Aire. Guías de Monitoreo Atmosférico en México*. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/guias_monitoreo.html

INE-DGCENICA 2009. Presentación del Programa Nacional de Monitoreo 2008-2012. DGCENICA. Octubre de 2009. Disponible en http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcenica/pres_sem_mon_atm_08_vga.pdf.

INE-DGCENICA. 2010b. *Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire. Guías de Monitoreo Atmosférico en México*. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/guias_monitoreo.html

INE-DGCENICA. 2010c. *Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire*. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/guias_monitoreo.html

INEGI. 2010h. Anuario estadístico de Baja California 2009.

INEGI. 2010g. Anuario estadístico de Guanajuato 2009.

INEGI. 2009c. Anuario estadístico de Hidalgo 2009.

INEGI. 2009a. Anuario estadístico de Puebla 2008.

INEGI. 2010b. Anuario estadístico de San Luis Potosí.

INEGI. 2009b. Anuario estadístico de Tabasco 2009.

INEGI. 2011b. Censo de población y vivienda 2010. Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est.

INEGI. 2005. Cuaderno estadístico municipal de Cárdenas 2004, Tabasco.

INEGI. 2004b. Cuaderno estadístico municipal de Centro 2003, Tabasco.

INEGI. 2006b. Cuaderno estadistico municipal de Comalcalco 2005, Tabasco.

INEGI. 2002. Cuaderno estadístico municipal de San Luis Potosí 2001, San Luis Potosí.

INEGI. 2004a. Cuaderno estadístico municipal de Silao 2002, Guanajuato.

INEGI. 2006a. Cuaderno estadistico municipal de Tecate 2005, Baja California.

INEGI. 2011a. *Cuentas económicas y ecológicas de México, 2005-2009*. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/economicas/medio%20ambiente/2009-09/SCEEM2005-2009.pdf

INEGI. 2010a. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/continuas/economicas/bd/transporte/Vehiculos.asp?s=est&c=13158.

INEGI. 2010i. II conteo de Población y Vivienda 2005. Principales resultados por localidad. Disponible en: www.

inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est.

INEGI. 2010d. México en cifras, Durango, Durango. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02.

INEGI. 2010f. México en cifras, Gómez Palacio y Lerdo. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02.

INEGI. 2010e. México en cifras, Irapuato, Guanajuato. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02.

INEGI. 2010c. México en cifras, Mexicali, Baja California. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02.

INEGI. 2011c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos mexicanos. Tijuana, Baja California.

Instituto de Aire Limpio (IAL). 2007. Revisión crítica de información sobre el proyecto de restricción sabatina vehicular, preparado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Reporte 124 pp.

Mansilla, E. 2009. Marco general de riesgo en México. Investigación para la politica publica, ODM's y Probreza. RBLAC-UNDP. New York. Reporte número MDG-07-2009, 36 pp.

Minguito A. 2010. Valores semanales de calidad del aire en Burgos y provincia. 10 Congreso Nacional de Medio Ambiente. Disponible en www.conama10.es.

Ministry for the Environment. 2009. *Good Practice Guide for Air Quality monitoring and Data Management 2009.* Ministry for the Environment. New Zealand Goverment. 105 pp.

Ministry of the Environment Operations Division Technical Support Section (MEODTS). 2008. *Operations Manual for Air Quality Monitoring in Ontario.* 120 pp.

Municipios. 2010a. Municipios de Durango, México. Disponible en: http://www.municipios.com.mx/durango/mexico-10.html.

Municipios. 2010b. Municipios de Guanajuato, México. Disponible en: http://www.municipios.com.mx/guanajuato/mexico-11.html.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2005. *Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Qin, Y., G.S. Tonnesen y Z. Wang. 2004. Weekend/weekday differences of ozone, NOx, CO, VOCs, PM_{10} and the light scatter during ozone season in southern California. *Atmospheric Environment* 38 (19):3069-80.

Schutte, B.A y N. Trevor. 2003. Williams Lake airshed Management Planning Background Air Quiality Report. Document prepared for the Ministry of Environment Cariboo Region Williamd Lake, BC. Reporte 1502-0006, pp.

Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES-GEJ). 2011. Comunicación personal.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). 2010a. Calidad del Aire en la Ciudad de México. Reporte 2009, 183 pp.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). 2006. *Gestión Ambiental de la Calidad del Aire en el Distrito Federal, avances y propuestas 2000-2006*. México, D.F. 255 pp.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). 2010b. *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008*. México, D. F. 166 pp.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). 2011. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Disponible en: www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Información preliminar del Inventario Nacional de Emisiones, 2005.

SEDESOL, INEGI y CONAPO. 2007. *Delimitación de las zonas metropolitanas en México 2005*. México. 38 pp.

Srimuruganandam, B y S.M. Shiva-Nagendra. 2010. Influence of heteorgeneus traffic on roadside fine ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) and coarse (PM_{10}) particule matter concentrations in Chennai City, India. *World Acedemy of Science, Engineering and Technology* 66:1354 -1359.

Statistics Canada. 2007. Canadian Environmental Sustainability Indicators: Air Quality Incators: data Sources and Methods. Reporte 16-254-X, 22 pp.

Stephens, S., S. Mandronich, F. Wu, J.B. Olson, R. Ramos, A. Retama y R. Muñoz. 2008. Weekly patterns of México City's surface concentrations of CO, NOx, PM_{10} and O_3 during 1986 - 2007. *Atmos. Chem. Phys.* 8:5313-5325.

Stevens, G.A., R.H. Dias y M. Ezzati. 2008. The effects of 3 environmental risks on mortality disparities across Mexican communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 105(44):16860 - 16865.

The World Bank. 2002. Improving Air Quality in Metropolitan Mexico City: an economic valuation. Reporte WPS2785, 62 pp.

Western Governors Association (WGA), Environmental Protection Agency (EPA) y Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Baja California. 2009. Mexicali Emissions Inventory, 2005. ERG (Eastern Research Group, Inc.). México. Reporte final, 131 pp.

World Health Organization (WHO). 2000. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, Copenhague, Dinamarca, 273 pp.

World Health Organization (WHO). 2006. *Air quality guidelines global update 2005*. Disponible en: http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf

World Health Organization (WHO). 2009. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. WHO press Geneva, Switzerland.

Zuk, M., G. Tzintzun Cervantes y L. Rojas Bracho. 2007. *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas.* INE-SEMARNAT. México, D.F. 114 pp.

Glosario

Aterosclerosis	Endurecimiento más o menos generalizado de las arterias.
Aseguramiento y control de calidad de los datos de calidad del aire	El aseguramiento de la calidad se define como aquellos planes, especificaciones y políticas empleados para asegurar que el programa de medición puede ser cuantificable y producir datos de calidad conocida. El control de calidad se define como el uso rutinario de procedimientos diseñados para alcanzar y mantener un nivel específico de calidad en los sistemas de medición.
Auditoría	Es una evaluación sistemática y objetiva de un proyecto para determinar si los procedimientos definidos en el plan de calidad se aplican de manera efectiva, y si las actividades para la obtención de datos y los resultados cumplen con lo programado en el plan de calidad. Los resultados de una auditoría proveen información para mejorar los procesos y permiten poner en evidencia deficiencias en los equipos, instalaciones, capacitación, procedimientos, operación y documentación, así como en el sistema de calidad.
Calibración	Acción que permite ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con los valores de la magnitud que ha de medir.
Calidad de los datos	Los atributos de precisión y exactitud, comparabilidad, suficiencia (o compleción) y representatividad espacial que deben tener los datos para que se puedan utilizar en la toma de decisiones.
Confirmación de datos	Es el tercer paso del proceso de validación de datos, que consiste en consultar con los responsables de las redes la validez de datos sospechosos para asegurar su veracidad.
Criterio de suficiencia (o compleción) de datos	Porcentaje de datos validados necesarios para realizar el cálculo de los diferentes tipos de indicadores (promedio móvil, máximos diarios, promedio de 24 horas, percentil 98, promedio anual, mediana, etc.)
Datos validados	Aquellos datos que han sido sometidos a un proceso de validación por los responsables de las redes de monitoreo, de manera que puedan ser utilizados en la generación de indicadores de la calidad del aire.
Desempeño global de la red de monitoreo atmosférico	Evaluación de las acciones que realizan los responsables de las redes para asegurar que los valores reportados cumplen con los objetivos de calidad de los datos.
Diámetro aerodinámico	El diámetro aerodinámico es el diámetro de una partícula esférica que tiene la misma velocidad de sedimentación que otra partícula independientemente de su forma, tamaño o densidad.
Difusión de la información	Para efectos de este almanaque, este concepto se define como la forma y la oportunidad de dar a conocer la información sobre la calidad del aire al público en general, por parte de los responsables de las redes de monitoreo.

Estudios epidemiológicos	Estudios que se basan en la incidencia de enfermedades en poblaciones humanas para evaluar la relación estadística entre exposición y cambios en la salud, relación proveniente del análisis de datos de una comunidad en general o de un grupo enfermo.
Estudios toxicológicos	Estudios que proporcionan evidencia científica sobre los efectos nocivos o dañinos de las sustancias sobre seres humanos u otros organismos.
Exposición	La magnitud y la frecuencia con la que un organismo vivo entra en contacto con un agente químico, físico o biológico.
Grado de validación	Propiedad que adquiere la validación de los datos si ésta se lleva a cabo de manera parcial o total. Es decir, "muy buena si se llevan a cabo las tres etapas del proceso de validación de datos: limpieza, verificación y confirmación; buena si se llevan a cabo las dos primeras, mínimo aceptable si solamente se lleva cabo la primera, y "requiere atención cuando no se validan los datos.
Incidencia	El número de casos nuevos de una enfermedad que se presenta en una población específica en un periodo determinado.
Kriging	Es un método de interpolación geoestadístico que se basa en la suposición de que la variación espacial del valor que se interpola se puede describir como una función de la distancia. En otras palabras, cuanto más lejos está un punto de una medición, mayor será su incertidumbre. Por lo tanto, este método permite calcular no solamente la estimación de los mapas de la variable estudiada, sino también los mapas de incertidumbre.
La concentración promedio anual ponderada por población (CPAPP)	Representa a qué concentración está expuesto un habitante promedio en la zona estudiada. Se calcula tomando en cuenta las concentraciones registradas en distintas zonas de una localidad y el porcentaje de la población que está expuesto a esas concentraciones en cada una de dichas zonas.
Limpieza de los datos	Es el primer paso del proceso de validación de los datos, y consiste en la asignación (automática o manual) de banderas para la identificación de valores nulos y fuera del intervalo de confianza.
Manejo de los datos	Consiste en el uso de los datos de la calidad de aire en procedimientos exploratorios y de cálculo con el fin de generar valores representativos y confiables que indiquen el estado de la calidad del aire.
Oportunidad de validación de los datos	Tiempo que les toma a los responsables de las redes de monitoreo realizar la validación de los datos.
Percentil 10	Valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor. Así, el valor del percentil 10 está por encima del 10% del grupo al que pertenece.
Percentil 50	Valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor. Así, el valor del percentil 50 está por encima del 50% del grupo a que pertenece; es igual a la mediana.
Percentil 90	Valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor. Así, el valor del percentil 90 está por encima del 90% del grupo al que pertenece.

Promedio móvil de 8 horas	Los promedios móviles de 8 horas se calculan de las concentraciones horarias, tomando el promedio de la hora seleccionada con las 7 concentraciones registradas en las horas previas.
Revisión técnica	Consiste en verificar la respuesta u otros parámetros críticos de operación (flujos, temperaturas, presiones, entre otros) de los monitores, analizadores y muestreadores, frente a materiales o estándares de referencia.
Trazabilidad	La propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición.
Trazas de calentamiento	Los sistemas de calentamiento por medio de trazas eléctricas tienen la finalidad de incrementar o mantener la temperatura -por requerimientos del proceso o por razones de mantenimiento- del contenido de tuberías, bombas, válvulas, instrumentos, recipientes y equipos.
Validación de los datos	Proceso que consiste en tres etapas secuenciales: la limpieza, la verificación y la confirmación de los datos, para corroborar que las mediciones registradas en las estaciones de monitoreo sean representativas de las condiciones reales.
Verificación de los datos	Es el paso intermedio del proceso de validación de los datos, que comprende la revisión de los datos limpios y la asignación de banderas en aquellas situaciones que modifiquen la integridad de los datos medidos.

Anexos

Anexo 1. Proceso de consulta y retroalimentación con los responsables de las redes de monitoreo atmosférico incluidas en este almanaque

Proceso	Fecha	Resultado	Observaciones
Recopilación de datos disponibles de la redes del periodo 2000-2009 mediante la consulta de páginas electrónicas y solicitudes oficiales para actualizar las bases de datos de la DGICUR	De enero a diciembre de 2010	Se obtuvo la información de 20 localidades, en el periodo 2000-2009	El 55% de las localidades enviaron sus datos validados en formatos accesibles para su procesamiento; el resto (45%) los envió en archivos pdf y txt, así como con distintas organizaciones de la información tabular
Evaluación del desempeño de las redes en colaboración con la DGCENICA	De enero a diciembre de 2010	Cuadro de desempeño por localidad	Con base en documentos de las revisiones técnicas que realiza la DGCENICA
Procesamiento de datos y conformación del primer borrador	De enero de 2010 a marzo de 2011	Primer borrador	
Envío del primer borrador a los responsables de las redes y solicitud de comentarios y observaciones	1 -15 de abril de 2011	Se recibieron comentarios de los responsables de las siguientes redes: Guanajuato (Celaya, Irapuato, León, Salamanca, Silao) Guadalajara Monterrey Baja California (Mexicali, Rosarito, Tecate, Tijuana) Valle de Toluca	Se incorporaron los comentarios procedentes y se llevaron a cabo reuniones y teleconferencias con los responsables de las redes de Guanajuato y Guadalajara
Envío del segundo borrador a los responsables de las redes y solicitud de comentarios y observaciones	22 de junio al 1 de julio de 2011	Se recibieron comentarios de los responsables de las siguientes redes: Guanajuato (Celaya, Irapuato, León, Salamanca, Silao) Guadalajara Monterrey Valle de México	Se incorporaron los comentarios procedentes y se llevaron a cabo reuniones y teleconferencias con los responsables de las redes de Guanajuato, Guadalajara y Monterrey
Envío del tercer borrador a los responsables de las redes de Guanajuato y Monterrey para su revisión y comentarios finales	26 de agosto de 2011 a Guanajuato 30 de agosto de 2011 a Monterrey	Se recibió el visto bueno para proceder a la publicación	

Anexo II. Indicadores calculados para evaluar el cumplimiento de las NOM de la calidad del aire en cada localidad (2000-2009)

Cuadro II.1 Promedio anual de los datos diarios de PM_{10}, 2000-2009

Límite anual, 50 µg/m³

Grupo	ZM o ciudad		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	ZMVM[a]		125.3[b]	94.9	95.3	100.6[b]	89.5	79.4	74.6	70.1	72.5	105.5
	ZMG		98.4	91.1	90	118.8	76.8	71.0	74.6	70.7	72.6	70.3
	AMM		111.2	135.5	110	126.6	109.3	117.3	165.9	98.7	100.3	87.9
2	ZMVT		D.I.	D.I.	82.1	106.8	81.5	140.6	153.7[b]	D.I.	D.I.	108.9
	Puebla		D.I.	79.1	66.7[b]	81.3	59.5	D.I	61.0[b]	D.I.	D.I	D.I.
	Tijuana[a]		62.9	65	67.3	61.1	65.3	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	León		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	84.9	84.5	76.4	69.9
	ZMJuárez[a]		105.5	118.3	121.2	141.6	107.9	102.3[b]	D.I.	117.2	144.2	121.9[b].
3	ZMMexicali[a]		264.9	218.2[b]	D.I.	198.6[b]	252.3	209.5[b]	254.3	D.I.	D.I.	D.I.
	Durango[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	121.6	D.I.	D.I.	S.I.
4	Irapuato		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	73.7[b]	58.1
	Gómez Palacio y Lerdo[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	94.3	88.9[b]	D.I.	S.I.
	Celaya		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	64.5[b]	D.I.	27.9[b]	D.I.
	Salamanca		S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	87.8[b]	61.4	61.2	54.5
	Silao		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	D.I.	44.4	57.4	66
	Tecate[a]		61.3	72.2	76.1	72.9	72	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	Rosarito[a]		65.8	58.4	61.3	64.2	51.4	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
Casos especiales	ZM de Hidalgo y Tepeji del Río de Ocampo		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	D.I.	44.8	D.I.	52.6	S.I.
	Tabasco	Cárdenas	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.
		Comalcalco	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.
		Villahermosa	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.

Notas:
a Equipo manual.
b El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.2 Percentil 98 de los datos diarios de PM_{10}, 2000-2009

Límite de 24 horas, 120 µg/m³

Grupo	ZM o ciudad		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	ZMVM[a]		265[b]	184	167	165[b]	139	174	145	131	205	247
	ZMG		194	168	167	207	166	153	159	124	134	123
	AMM		143	198[b]	224	189	216	229	242	217	194	163
2	ZMVT		D.I.	D.I.	166	245	202	360	260[b]	D.I.	D.I.	258[b]
	Puebla		D.I.	129	135[b]	146	128	D.I.	103[b]	D.I.	D.I.	D.I.
	Tijuana[a]		136	240	147	143	143	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	León		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	195	163	183	159
	ZMJuárez[a]		417	835	344	489	247	426[b]	D.I.	277	436	268[b]
3	ZMMexicali[a]		594	483	D.I.	440	467	414[b]	482	D.I.	D.I.	D.I.
	Durango[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	204	D.I.	D.I.	S.I.
4	Irapuato		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	124	100
	Gómez Palacio y Lerdo[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	255	157	D.I.	S.I.
	Celaya		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	88	D.I.	96	D.I.
	Salamanca		S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	220[b]	131	134	118
	Silao		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	D.I.	85	112	95
	Tecate[a]		110	147	148	145	164	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	Rosarito[a]		121	102	105	149	149	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
Casos especiales	ZM de Hidalgo y Tepeji del Río de Ocampo		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	D.I.	262[b]	D.I.	98	S.I.
	Tabasco	Cárdenas	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.
		Comalcalco	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.
		Villahermosa	S.M.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.	S.I.

Notas:
a Equipo manual.
b El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.3 Promedio anual de los datos diarios de $PM_{2.5}$, 2003-2009

Límite anual, 15 µg/m³

Grupo	ZM o ciudad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**[a]	D.I.	**35.6**	**28.5**	**23.4**[b]	**26.2**	**26.5**	**26.0**
	AMM	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
3	**ZMMexicali**	D.I.	**81.2**	D.I.	D.I.	**79.6**	**50.6**	S.I.

Notas:
a Equipo manual.
b El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.4 Percentil 98 de los datos diarios de $PM_{2.5}$, 2003-2009

Límite de 24 horas, 65 µg/m³

Grupo	ZM o ciudad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**[a]	D.I.	64	57	51[b]	52	47	58
	AMM	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
3	**ZMMexicali**	D.I.	**111**	D.I.	D.I.	**143**	**113**	S.I.

Notas:
a Equipo manual.
b El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.5 Quinto máximo de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas de O_3, 2000-2009

Límite de 8 horas, 0.08 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	**0.169**	**0.159**	**0.158**	**0.139**	**0.129**	**0.135**	**0.127**	**0.122**	**0.126**	**0.124**[a]
	ZMG	**0.095**	**0.098**	**0.110**	**0.113**	**0.112**	**0.111**	**0.105**	**0.112**	**0.110**[a]	**0.136**[a]
	AMM	**0.083**	0.076	**0.082**	**0.095**	**0.093**	**0.091**	**0.093**	**0.086**	**0.100**	**0.085**
2	**ZMVT**	**0.101**	**0.088**[a]	**0.089**	**0.085**	**0.086**	**0.091**	**0.089**[a]	D.I.	D.I.	S.M.
	Puebla	D.I.	**0.095**	**0.089**	**0.091**	0.073	**0.084**[a]	**0.102**	D.I.	D.I.	D.I.
	Tijuana	D.I.	D.I.	0.066	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0.060	**0.083**	**0.101**[a]	**0.106**
	ZMJuárez	D.I.	**0.082**[a]	D.I.	D.I.	**0.076**[a]	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.073	0.071	0.053	0.039
	ZMMexicali	0.075[a]	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	**0.092**	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	D.I.	D.I.	**0.088**	**0.084**
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**0.082**	D.I.	D.I.	D.I.
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	D.I.	**0.081**	**0.082**	D.I.
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.078	0.074	0.074
	Tecate	D.I.	D.I.	D.I.	**0.088**	**0.092**	**0.086**	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.
	Rosarito	D.I.	0.067	0.069	0.069	0.073	0.061	0.060	0.054	0.054	S.I.

Notas:

a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).

S.M. = sin medición.

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.6 Máximos horarios de O_3, 2000-2009

Límite de 1 hora, 0.11 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	**0.282**	**0.271**	**0.284**	**0.243**	**0.226**	**0.222**	**0.211**	**0.203**	**0.189**	**0.198**
	ZMG	**0.219**	**0.194**	**0.233**	**0.225**	**0.287**	**0.234**	**0.200**	**0.214**	**0.204**	**0.208**
	AMM	**0.141**	**0.223**	**0.143**	**0.154**	**0.176**	**0.170**	**0.174**	**0.145**	**0.154**	**0.149**
2	**ZMVT**	**0.180**[a]	**0.144**	**0.136**	**0.150**	**0.123**	**0.131**	**0.134**	**0.129**[a]	**0.149**[a]	S.M.
	Puebla	**0.207**	**0.212**	**0.165**	**0.162**	0.110	**0.121**	**0.131**	**0.175**	**0.153**	0.066[a]
	Tijuana	0.108	0.089	0.104	0.098	0.100	0.097	0.099	0.091	0.084	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0.101	**0.147**	**0.312**	**0.150**
	ZMJuárez	**0.139**	**0.141**	**0.128**	**0.112**	**0.128**	**0.143**	**0.121**	**0.115**	**0.145**	0.108
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	**0.113**	0.107	0.089	0.058
	ZMMexicali	**0.153**	**0.160**	**0.135**	**0.171**	**0.156**	**0.196**	**0.137**	**0.172**	**0.118**	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.102	**0.258**	**0.111**	0.108
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**0.103**	0.107	**0.111**	0.108
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**0.353**	**0.170**	**0.144**	**0.124**
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	**0.113**	0.097	**0.116**	**0.111**
	Tecate	**0.126**	**0.115**	0.106	**0.119**	**0.126**	**0.119**	**0.117**	0.103	0.094	S.I.
	Rosarito	0.078	0.090	0.077	**0.114**	0.103	0.090	0.098	0.071	0.082	S.I.

Notas:
a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.7 Promedio anual de las concentraciones horarias de SO_2, 2000-2009

Límite anual, 0.03 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	0.030	**0.036**	0.020	0.020	0.018	0.020	0.011	0.011	0.010	0.011
	ZMG	0.013	0.012	0.016	0.016	0.017	0.020	0.011	0.010	0.006	0.006
	AMM	0.018	0.015	0.015	0.012	0.011	0.008	0.008	0.006	0.007	0.007
2	**ZMVT**	0.013	0.013	0.015	0.013	0.011	0.018	0.022	0.013[a]	0.007[a]	S.M.
	Puebla	D.I.	0.013	0.014	0.012	0.009	0.009	0.009	0.006	0.008	0.008
	Tijuana	0.005	0.004	0.004	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0.007	0.008	0.010	0.012
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.009	0.007	0.005	0.007
	ZMMexicali	0.005	0.004	0.009	0.009	0.005	0.004	0.003	0.002	0.003	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.020	0.015	0.018	0.014
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.010	0.010	0.009	0.022
	Salamanca	**0.078**	**0.077**	**0.083**	**0.072**	**0.072**	**0.059**	**0.061**	**0.049**	0.025	0.018
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.003	0.004	0.004	0.005
	Rosarito	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	S.I.

Notas:

a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).

S.M. = sin medición.

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.8 Segundo máximo de los promedios de 24 horas de SO_2, 2000-2009

Límite de 24 horas, 0.13 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	0.129	0.256	0.109	0.084	0.095	0.109	0.067	0.076	0.067	0.048
	ZMG	0.032	0.022	0.046	0.030	0.085	0.034	0.029	0.025	0.033	0.028
	AMM	0.084	0.055	0.067	0.052	0.070	0.021	0.021	0.017	0.019	0.015
2	**ZMVT**	0.013	0.013	0.015	0.013	0.011	0.018	0.022	0.013[a]	0.007[a]	S.M.
	Puebla	D.I.	0.043	0.041	0.039	0.029	0.024	0.026	0.048	0.025	0.024
	Tijuana	0.015	0.012	0.013	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0.028	0.019	0.023	0.025
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.044	0.041	0.028	0.019
	ZMMexicali	0.017	0.020	0.019	0.023	0.015	0.012	0.010	0.007	0.010	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.067	0.051	0.039	0.041
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.026	0.032	0.030	0.029
	Salamanca	**0.236**	**0.225**	**0.261**	**0.245**	**0.218**	**0.218**	**0.205**	**0.163**	**0.1301**	0.063
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.013	0.011	0.012	0.011
	Rosarito	0.041	0.043	0.031	0.010	0.004	0.002	0.003	0.002	0.008	S.I.

Notas:

a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).

S.M. = sin medición.

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.9 Segundo máximo de las concentraciones horarias de NO_2, 2000-2009

Límite de 1 hora, 0.21 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	**0.293**	0.185	0.199	**0.218**	**0.228**	**0.213**	0.203	0.170	0.168	0.188
	ZMG	**0.524**	**0.412**	**0.355**	**0.519**	**0.406**	**0.290**	**0.346**	**0.286**[a]	0.120	0.144
	AMM	0.174	0.177	0.090	0.095	0.116	0.098	0.147	0.149	0.136	0.106
2	**ZMVT**	0.186	0.147	0.173	0.143	0.160	0.140	0.158	**0.181**[a]	**0.139**[a]	S.M.
	Puebla	D.I	0.153	0.149	0.138	0.106	0.097	0.198	0.076	**0.499**	0.193[a]
	Tijuana	0.188	0.176	0.144	**0.236**	0.171	0.185	0.157	0.146	0.156[a]	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0.087	0.094	0.093	0.146
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.117	0.107	0.087	0.073
	ZMMexicali	0.189	**0.350**	0.191	0.137	0.185	0.135	0.134	0.174	0.115	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.078	0.127	0.111	0.101
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.066	0.085	0.071	0.036
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.065	0.139	0.209	0.185
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0.060	0.139	0.130	D.I.
	Tecate	0.082	0.052	0.056	0.090	0.060	0.062	0.065	0.067	0.077	S.I.
	Rosarito	0.070	0.085	0.069	0.099	0.075	0.079	0.082	0.050	0.058	S.I.

Notas:

a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).

S.M. = sin medición.

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro II.10 Segundo máximo de los promedio móviles de 8 horas de CO, 2000-2009

Límite 8 horas, 11 ppm

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	10.5	8.8	8.2	7.6	6.9	5.6	6.0	4.7	4.5	4.8
	ZMG	**26.9**	10.9	**12.7**	**11.9**	**13.7**	**11.8**	10.9	8.6	8.7	7.0
	AMM	8.8	8.6	**11.3**	8.4	8.9	7.2	9.2	7.3	8.2	5.4
2	**ZMVT**	5.5	5.0	4.8	4.4	4.5	5.6	5.8	5.3	4.9	S.M.
	Puebla	D.I.	6.8	6.1	4.8	4.6	4.4	4.1	3.6	4.7	5.1
	Tijuana	10.1	8.4	8.8	8.4	7.7	7.3	5.9	4.9	4.7	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	4.3	5.6	**11.1**	10.6[a]
	ZMJuárez	8.7	7.6	10.5[a]	10.1	7.5	**13.2**	8.3	8.4	10.5	7.6
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	2.8	2.4	2.9	1.9
	ZMMexicali	**23.8**	**24.6**	**19.4**	**17.1**	**16.5**	**13.4**	**12.0**	9.1	8.3	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	4.2	5.1	8.8	9.6
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	10.1[a]	6.9	6.4	4.2[a]
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	4.9	7.1	8.9	5.1
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	3.1	3.3	3.9	3.7
	Tecate	2.1	1.8	1.6	1.9	1.5	1.6	5.9	3.7	1.8	S.I.
	Rosarito	3.0	2.3	2.8	3.3	2.3	2.3	3.3	2.2	1.6	S.I.

Notas:

a El valor puede estar subestimado debido a que el indicador se obtuvo con información de menos del 75% de las estaciones de monitoreo.

D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).

S.M. = sin medición.

S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Anexo III. Información sobre el porcentaje de datos validados disponibles para la clasificación de las localidades por su grado de contaminación

Cuadro III.1 Porcentaje de datos diarios[c] validados por trimestre para la evaluación de los límites de la NOM de partículas PM_{10} en 2009

Grupo	ZM o ciudad	ene-mar	abr-jun	jul-sep	oct-dic	Es posible calcular los indicadores
1	**ZMVM[a] (XAL)**	100%	88%	100%	80%	Sí
	ZMG (LDO)	98%	100%	98%	96%	Sí
	AMM (SO)	98%	98%	97%	96%	Sí
2	**ZMVT (SC)**	98%	97%	97%	98%	Sí
	Puebla [b]	**21%**	**24%**	**21%**	**18%**	**No**
	Tijuana [a, b]	**19%**	**65%**	**46%**	**52%**	**No**
	León (CICEG)	97%	87%	90%	99%	Sí
	ZMJuárez (NIM) [a]	93%	81%	87%	**58%**	Sí
3	**ZMMexicali[a, b]**	**0%**	**42%**	**36%**	**14%**	**No**
	Durango[a]	**S.I.**	**S.I.**	**S.I.**	**S.I.**	**No**
4	**Irapuato (TEO)**	100%	97%	95%	98%	Sí
	Gómez Palacio y Lerdo[a]	**S.I.**	**S.I.**	**S.I.**	**S.I.**	**No**
	Celaya	**34%**	**58%**	**46%**	**44%**	**No**
	Salamanca (NAT)	96%	99%	98%	95%	Sí
	Silao	76%	**47%**	89%	99%	Sí
	Tecate[a]	**13%**	**13%**	**69%**	**67%**	**No**
	Rosarito[a]	**47%**	100%	**69%**	**53%**	**No**

Nota:
El cálculo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM de PM_{10} se realiza si se cumple con por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de las concentraciones diarias válidas (DOF, 2005).
a Equipo manual.
b Promedio de todas las estaciones que miden el contaminante.
c Muestreos de 24 horas en el caso de equipos manuales y promedios de 24 horas en el caso de equipos automáticos.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro III.2 Porcentaje de datos diarios[c] validados por trimestre para la evaluación de los límites de la NOM de partículas $PM_{2.5}$ en 2009

Grupo	ZM o ciudad	ene-mar	abr-jun	jul-sep	oct-dic	Es posible calcular los indicadores
1	**ZMVM[a] (XAL)**	80%	93%	81%	**67%**	Sí
	AMM[b]	76%	**64%**	**58%**	**73%**	**No**
3	**ZMMexicali**	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**No**

Nota:
El cálculo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM de $PM_{2.5}$ se realiza si se cumple con por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de las concentraciones diarias válidas (DOF, 2005).
a Equipo manual.
b Promedio de todas las estaciones que miden el contaminante.
c Muestreos de 24 horas en el caso de equipos manuales y promedios de 24 horas en el caso de equipos automáticos.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro III.3 Porcentaje de datos diarios validados para la evaluación del límite de 8 horas de la NOM de O_3 en 2009

Grupo	ZM o ciudad	2009	Es posible calcular el indicador
1	**ZMVM (PED)**	90%	Sí
	ZMG (CEN)	84%	Sí
	AMM (SE)	97%	Sí
2	**ZMVT**	S.M.	**No**
	Puebla[a]	**30%**	**No**
	Tijuana	S.I.	**No**
	León	97%	Sí
	ZMJuárez[a]	**61%**	**No**
3	**San Luis Potosí**	96%	Sí
	ZMMexicali	S.I.	**No**
4	**Irapuato (TEO)**	83%	Sí
	Celaya[a]	**58%**	**No**
	Salamanca[a]	**63%**	**No**
	Silao	88%	Sí
	Tecate	S.I.	**No**
	Rosarito	S.I.	**No**

Nota:
El cálculo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM de O_3 se realiza si se cumple con por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de las concentraciones diarias válidas (DOF, 2005).
a Promedio de todas las estaciones que miden el contaminante.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro III.4 Porcentaje de datos diarios validados para el cálculo de la mediana y el percentil 90 de SO_2 en 2009

Grupo	ZM o ciudad	2009	Es posible calcular los indicadores
1	**ZMVM**	84%	Sí
	ZMG	87%	Sí
	AMM	98%	Sí
2	**ZMVT**	S.M.	No
	Puebla	**52%**	No
	Tijuana	**42%**	No
	León	95%	Sí
3	**San Luis Potosí**	**10%**	No
	ZMMexicali	S.I.	No
4	**Irapuato**	99%	Sí
	Celaya	**67%**	No
	Salamanca	100%	Sí
	Silao	90%	Sí
	Rosarito	S.I.	No

Nota:
El cálculo de la mediana y percentil 90 se realiza si se cuenta con el 75% de los datos diarios en el año (ver sección 3.3.3. del capítulo 22).
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).
S.M. = sin medición.

Cuadro III.5 Porcentaje de datos diarios validados para el cálculo de la mediana y el percentil 90 de NO_2 en 2009

Grupo	ZM o ciudad	2009	Es posible calcular los indicadores
1	**ZMVM**	91%	Sí
	ZMG	**74%**	No
	AMM	93%	Sí
2	**ZMVT**	S.M.	No
	Puebla	**11%**	No
	Tijuana	**64%**	No
	León	**68%**	No
3	**San Luis Potosí**	80%	Sí
	ZMMexicali	S.I.	No
4	**Irapuato**	**41%**	No
	Celaya	**14%**	No
	Salamanca	**57%**	No
	Silao	S.I.	No
	Tecate	S.I.	No
	Rosarito	S.I.	No

Nota:
El cálculo de la mediana y percentil 90 se realiza si se cuenta con el 75% de los datos diarios en el año (ver sección 3.3.3. del capítulo 22).
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).
S.M. = sin medición.

Cuadro III.6 Porcentaje de datos diarios validados para el cálculo de la mediana y el percentil 90 de CO en 2009

Grupo	ZM o ciudad	2009	Es posible calcular los indicadores
1	**ZMVM**	84%	Sí
	ZMG	86%	Sí
	AMM	76%	Sí
2	**ZMVT**	S.M.	No
	Puebla	**37%**	No
	Tijuana	S.I.	No
	León	**48%**	No
	ZMJuárez	**58%**	No
3	**San Luis Potosí**	96%	Sí
	ZMMexicali	S.I.	No
4	**Irapuato**	**61%**	No
	Celaya	**43%**	No
	Salamanca	84%	Sí
	Silao	**12%**	No
	Tecate	S.I.	No
	Rosarito	S.I.	No

Nota:
El cálculo de la mediana y el percentil 90 se realiza si se cuenta con el 75% de los datos diarios en el año (ver sección 3.3.3. del capítulo 22).
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).
S.M. = sin medición.

Anexo IV. Número de días en los que se exceden los límites de las NOM de la calidad del aire por localidad (2000-2009)

Cuadro IV.1 Número de días en los que se rebasó la norma diaria de PM_{10} (120 µg/m³)

Grupo	ZM o ciudad		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	ZMVM		55	85	51	83	40	34	50	17	45	48
	ZMG		133	120	117	71	55	51	62	17	28	13
	AMM		45	122	130	133	125	163	149	94	116	85
2	ZMVT		18	18	81	136	138	173	124	105	151	154
	Puebla		D.I.	18	26	45	13	11	6	2	0	0
	Tijuana[a]		1	4	4	3	2	3	3	1	4	4
	León		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	64	52	43	55
	ZMJuárez[a, b]		21	24	25	26	18	24	27	20	52	54
3	ZMMexicali[a]		59	57	45	50	60	44	49	43	47	26
	Durango[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	28	23	21	S.I.
4	Irapuato		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	2	7	10	5
	Gómez Palacio y Lerdo[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	13	15	18	S.I.
	Celaya		S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	3	2
	Salamanca		S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	47	14	18	9
	Silao		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	3	2
	Tecate[a]		1	4	5	5	6	5	2	3	4	7
	Rosarito[a]		1	0	1	2	2	3	1	1	1	1
Casos especiales	ZM de Hidalgo y Tepeji del Río de Ocampo[a]		S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	8	4	2	1	S.I.
	Tabasco	Cárdenas	S.M.	S.I.	S.I.	2	1	0	0	0	S.I.	S.I.
		Comalcalco	S.M.	S.I.	S.I.	2	0	0	0	0	S.I.	S.I.
		Villahermosa	S.M.	S.I.	S.I.	7	1	0	0	0	S.I.	S.I.

Nota:
a Muestreos de 24 horas. Se obtuvo a partir del muestreo máximo de los muestreos que se realizaron en cada uno de los días de cada año.
b En 2008 y 2009 aumentaron el número de estaciones que miden el contaminante y en una de ellas se mide cada tres días.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro IV.2 Número de días en los que se rebasó la norma diaria de $PM_{2.5}$[a] (65 µg/m³)

Grupo	ZM o ciudad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	D.I.	24	25	22	21	22	21
	AMM	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
3	**ZMMexicali**	D.I.	81.2	D.I.	D.I.	79.6	50.6	S.I.

Nota:
a Equipo continuo en las tres zonas metropolitanas.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.I. = sin información (*sí* se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro IV.3 Número de días en los que se rebasó la norma horaria de O_3 (0.11 ppm)

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	323	296	300	284	238	233	214	222	185	179
	ZMG	64	36	75	68	47	68	89	87	61	75
	AMM	12	13	8	14	36	32	24	17	29	12
2	**ZMVT**	39	15	20	14	8	22	12	2	4	S.M.
	Puebla	D.I.	31	21	17	0	6	19	37	17	0
	Tijuana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0	10	18	23
	ZMJuárez	9	6	5	1	2	4	4	1	4	0
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	1	0	0	0
	ZMMexicali	14	15	8	8	5	5	4	4	3	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	2	1	0
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	1	0
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	17	11	1	2
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	1	0	1	1
	Tecate	1	2	0	4	2	2	2	0	0	S.I.
	Rosarito	0	0	0	1	0	0	0	0	0	S.I.

Nota:
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (*sí* se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro IV.4 Número de días en los que se rebasó la norma de 24 horas de SO_2 (0.13 ppm), 2000-2009

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	1	8	1	0	0	0	0	0	1	0
	ZMG	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	AMM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	**ZMVT**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.M.
	Puebla	D.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tijuana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0	0	0	0
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	ZMMexicali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Salamanca	51	60	75	73	51	29	28	6	2	0
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	Rosarito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.

Nota:
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro IV.5 Número de días en los que se rebasó la norma horaria de NO_2 (0.21 ppm), 2000-2009

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	23	1	0	6	3	3	1	0	0	1
	ZMG	15	18	26	6	4	13	14	23	0	0
	AMM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	**ZMVT**	2	0	1	0	1	0	0	0	0	S.M.
	Puebla	0	0	0	0	0	0	1	0	10	0
	Tijuana	D.I.	0	0	2	0	0	0	0	0	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0	0	0	0
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	ZMMexicali	0	3	1	0	0	0	0	0	0	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	1	0
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	Tecate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.
	Rosarito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.

Notas:
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Cuadro IV.6 Número de días en los que se rebasó la norma de ocho horas de CO (11 ppm)

Grupo	ZM o ciudad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	**ZMVM**	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ZMG	9	4	5	4	6	2	2	0	1	0
	AMM	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0
2	**ZMVT**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.M.
	Puebla	D.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tijuana	0	1	1	0	0	0	0	0	0	S.I.
	León	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.I.	0	0	2	0
	ZMJuárez	1	0	0	0	0	3	0	0	2	0
3	**San Luis Potosí**	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	ZMMexicali	53	48	46	33	17	11	7	0	0	S.I.
4	**Irapuato**	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Celaya	S.M.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Salamanca	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0	0	0	0
	Silao	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	0	0	0	0
	Tecate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.
	Rosarito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.

Notas:
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia).
S.M. = sin medición.
S.I. = sin información (sí se llevó a cabo la medición, pero la información no fue proporcionada al INE).

Anexo V. Delegaciones y municipios que forman la ZMVM

Cuadro V.1 Delegaciones del Distrito Federal

Álvaro Obregón	Cuajimalpa	Iztapalapa	Tláhuac
Azcapotzalco	Cuauhtémoc	Magdalena Contreras	Tlalpan
Benito Juárez	Gustavo A. Madero	Miguel Hidalgo	Venustiano Carranza
Coyoacán	Iztacalco	Milpa Alta	Xochimilco

Cuadro V.2 Municipios del Estado de México

Acolman	Chiconcuac	Nextlalpan	Tepetlixpa
Amecameca	Chimalhuacán	Nicolás Romero	Tepotzotlán
Apaxco	Ecatepec de Morelos	Nopaltepec	Tequixquiac
Atenco	Ecatzingo	Otumba	Texcoco
Atizapán de Zaragoza	Huehuetoca	Ozumba	Tezoyuca
Atlautla	Hueypoxtla	Papalotla	Tlalmanalco
Axapusco	Huixquilucan	La Paz	Tlalnepantla de Baz
Ayapango	Isidro Fabela	San Martín de las Pirámides	Tultepec
Coacalco de Berriozábal	Ixtapaluca	Tecámac	Tultitlán
Cocotitlán	Jaltenco	Temamatla	Villa del Carbón
Coyotepec	Jilotzingo	Temascalapa	Zumpango
Cuautitlán	Juchitepec	Tenango del Aire	Cuautitlán Izcalli
Chalco	Melchor Ocampo	Teoloyucán	Valle de Chalco Solidaridad
Chiautla	Naucalpan de Juárez	Teotihuacán	Tonanitla
Chicoloapan	Nezahualcóyotl	Tepetlaoxtoc	

Cuadro V.3 Municipios del estado de Hidalgo

Tizayuca

Anexo VI. Límites de los contaminantes del aire establecidos en las normas oficiales mexicanas de la Secretaría de Salud

Contaminante	Valores límite							Normas oficiales mexicanas
	Exposición aguda				Exposición crónica			
	Concentración promedio (tiempo)	Frecuencia máxima aceptable	Indicador con el que se evalúa	Criterio de no cumplimiento	Concentración promedio	Indicador con el que se evalúa	Criterio de no cumplimiento	
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m³ (24 h)	2% de datos diarios[a] al año	Percentil 98[a]	Percentil 98 > 210 µg/m³	-	-	-	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005)
Partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10})	120 µg/m³ (24 h)	2% de datos diarios[a] al año	Percentil 98[a]	Percentil 98 > 120 µg/m³	50 µg/m	Promedio anual[a]	Promedio anual > 50 µg/m³	
Partículas menores de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)	65 µg/m³ (24 h)	2% de datos diarios[a] al año	Percentil 98[a]	Percentil 98 > 65 µg/m³	15 µg/m³	Promedio anual[a]	Promedio anual > 15 µg/m³	
Ozono (O_3)	0.11 ppm (1 h) (216 mg/m³)	No se permite	Máximo horario	Máximo horario > 0.11 ppm	-	-	-	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002)
	0.08 ppm (8 h)	4 veces al año	Quinto máximo[b]	Quinto máximo > 0.08 ppm	-	-	-	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 h) (12 595 mg/m³)	1 vez al año	Segundo máximo[c]	Segundo máximo > 11 ppm	-	-	-	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994a)
Bióxido de azufre (SO_2)	0.13 ppm (24 h) (341 mg/m³)	1 vez al año	Segundo máximo[d]	Segundo máximo > 0.13 ppm	0.03 ppm	Promedio anual[e]	Promedio anual > 0.03 ppm	NOM-022-SSA1-1993 (DOF, 1994b) [f]
Bióxido de nitrógeno (NO_2)	0.21 ppm (1 h) (395 mg/m³)	1 vez al año	Segundo máximo[e]	Segundo máximo > 0.21 ppm	-	-	-	NOM-023-SSA1-1993(DOF, 1994c)

Notas:
a Muestreos de 24 horas o promedios de 24 horas.
b De los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas.
c De los promedios móviles de 8 horas.
d De los promedios de 24 horas.
e De los datos horarios.
f El 8 de septiembre de 2010 se publicó la NOM-022-SSA1-2010 que modifica a la NOM-022-SSA1-1993 (DOF, 2010). Los límites de la NOM-022-SSA1-2010 entrarán en vigor con carácter obligatorio a los 180 días siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Los nuevos límites especificados en la NOM son 0.200 ppm promedio horario, 0.110 ppm promedio en 24 horas, y 0.025 ppm promedio anual. Cabe aclarar que como en este documento el análisis de la información de los contaminantes criterio se realiza hasta el año 2009, los nuevos límites no son considerados todavía.

Anexo VII. Número de habitantes considerados en el cálculo de la concentración promedio anual ponderada por población (2009)

Grupo	ZM o ciudad	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2	NO_2	CO
1	ZMVM	8 917 697	8 258 723	15 045 995	13 770 371	10 098 215	12 859 553
	ZMG	2 423 964	-	2 518 181	2 211 971	2 017 124	2 517 211
	AMM	1 445 490	1 318 146	1 452 580	1 449 469	1 452 580	1 445 490
2	ZMVT	521 864	-	-	-	-	-
	Puebla	-	-	-	589 783	-	-
	Tijuana	-	-	-	-	-	-
	León	168 373	-	216 550	211 244	-	-
	ZMJuárez	788 541	-	153 041	-	-	162 501
3	San Luis Potosi	-	-	-	-	-	-
	ZMMexicali	-	-	-	-	-	-
	Durango	-	-	-	-	-	-
4	Irapuato	134 463	-	-	137 045	-	-
	Gómez Palacio y Lerdo	-	-	-	-	-	-
	Celaya	-	-	-	-	-	-
	Salamanca	86 523	-	-	84 323	-	82 645
	Silao	-	-	-	-	-	-
	Tecate	-	-	-	-	-	-
	Rosarito	-	-	-	-	-	-

Fuente:
INEGI, II Conteo de Población y Vivienda 2005.
——, Localidades en las que no se calculó la CPAPP porque no se midió el contaminante o por insuficiencia de datos.

Anexo VIII. Lista de participantes

En la elaboración del documento participaron las siguientes personas:

Coordinación del documento

Verónica Garibay Bravo
Directora de Investigación sobre la Calidad del Aire
vgaribay@ine.gob.mx
María Tania López Villegas
Subdirectora de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire
mtlopez@ine.gob.mx

María Guadalupe Tzintzun Cervantes
Jefa del Departamento de Análisis Estadístico sobre la Calidad del Aire
tzintzun@ine.gob.mx
Leonora Rojas Bracho
Directora General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional
lrojas@ine.gob.mx

Elaboración del documento

María Guadalupe Tzintzun Cervantes
Jefa del Departamento de Análisis Estadístico sobre la Calidad del Aire
María Tania López Villegas
Subdirectora de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire

Rodolfo Iniestra Gómez
Jefe del Departamento de Pronóstico y Modelación de la Calidad del Aire
riniestr@ine.gob.mx
Georgina Echániz Pellicer

Apoyo y colaboración técnica

Carmen Alejandra Sánchez Soto
Jefa del Departamento del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
asanchez@ine.gob.mx
Laura Elizabeth Ramos Casillas
Jefa del Departamento de Estudios sobre Especificaciones y *Tendencias Vehiculares y de Combustibles*
lramos@ine.gob.mx

José Andrés Aguilar Gómez
Subdirector de Modelos e Inventarios de Emisiones
jaguilar@ine.gob.mx
Ingrid Katherinne Perez Rivas
Jefa de Departamento de Estudios sobre Emisiones por Fuentes Estacionarías
iperez@ine.gob.mx
Claudia Mendoza Paredes

¿Qué tan limpio es el aire que respiras?

Roberto Pedraza/CONABIO

Visita el Portal RADE (Retos Ambientales por Distrito Electoral) http://rade.ine.gob.mx

- En el Portal RADE puedes conocer si hay monitoreo de la calidad del aire en tu distrito electoral, así como el estado de los recursos hídricos, los bosques/selvas, y las áreas naturales protegidas que existen.
- El Portal RADE te presenta un índice de presión económica a la deforestación para identificar cuáles de ellos están bajo mayor riesgo y con mayor necesidad de acción en cada distrito electoral.
- El Portal RADE contiene ligas a documentos de investigación y análisis legislativo, sobre el estado de la calidad del aire, agua, biodiversidad y bosques, y sus políticas públicas.
- También, para cada distrito electoral hay información de la diputada o diputado federal que lo representa, y las iniciativas ambientales que ha presentado.

Información para la toma de decisiones

www.ine.gob.mx/calaire-indicadores www.ine.gob.mx www. semarnat.gob.mx

Protegiendo al medio ambiente construimos un **México más fuerte.**

Este programa es público, ajeno a cualquier partido político. Queda prohibido el uso para fines distintos a los establecidos en el programa.

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

GOBIERNO FEDERAL

SEMARNAT

Instituto Nacional de Ecología

RADE

Retos Ambientales por Distrito Electoral

Vivir Mejor

Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009).
El tiraje consta de 300 ejemplares y se terminó de imprimir
en el mes de noviembre de 2011, en los Talleres de Hercer Publicidad
ubicados en 37 PTE, No. 122 Col. Huexotitla, Puebla, Pue.
El cuidado de la edición estuvo a cargo de la Coordinación General
de Comunicación Social y el contenido es responsabilidad
del Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

"La contaminación atmosférica es un problema de salud ambiental de gran alcance, y es fundamental que redoblemos los esfuerzos para reducir la carga sanitaria que genera". Dra. María Neira, Directora de Salud Pública y Medio Ambiente en la Organización Mundial de la Salud (octubre, 2011).

En nuestro país se estima que 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica (Stevens *et al.*, 2008). Estos efectos suponen costos considerables para la sociedad. Por ejemplo, las cifras más recientes del INEGI indican que la contaminación atmosférica representó los mayores costos ambientales en 2009, al ubicarse en 520 mil 300 millones de pesos, lo que equivale al 4.4 por ciento del producto interno bruto (INEGI, 2011a).

En este documento el INE publica, por vez primera, el análisis sistemático de toda la información disponible de la calidad del aire de veinte localidades de nuestro país. En comparación con el tercer almanaque (Zuk *et al.*, 2007), esta publicación incluye información de más ciudades, con mayor grado de detalle, y presenta la evaluación del desempeño de las redes de monitoreo. Este cuarto almanaque tiene una resolución a escala urbana, lo que permite comparar la situación de las ciudades con respecto a cada contaminante, y también incluye la información a una escala más detallada, por estación de monitoreo.

> "En términos generales es un cambio positivo con respecto a la manera en la que se ha reportado en el pasado, ofrece un mejor panorama principalmente para el usuario poco familiarizado con el tema". Armando Retama Hernández, Director de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
>
> "... tengo a bien expresar [...] una felicitación por la calidad y análisis de la información contenida en el Cuarto almanaque de datos y tendencia de la calidad del aire en ciudades mexicanas, consideramos que este documento nos será de gran utilidad en la toma de decisiones a nivel local". J. Ernesto Naranjo Castellanos, Director General de Planeación y Vinculación Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Gobierno de Jalisco.

Este es uno más de los productos que el INE elabora desde hace más de diez años con el propósito de dar a conocer la situación nacional de la contaminación del aire. La Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana y Regional publica periódicamente informes para instituciones nacionales e internacionales sobre la calidad del aire en el país, y cuenta con herramientas computacionales para el almacenamiento y la consulta de las bases de datos provenientes de las redes de monitoreo, así como para el cálculo automatizado de los indicadores de la calidad del aire. Para mayor información sobre estos productos, consulte la página: http://www.ine.gob.mx/calaire-indicadores.

Fotografía de la portada: ©Juan Pablo de la Vega de la Academia de Artes Visuales

Gobierno Federal

SEMARNAT

www.**semarnat**.gob.mx
www.**ine**.gob.mx

Instituto Nacional de Ecología

9 786077 908586

Vivir Mejor