INFORME NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE 2013, MÉXICO

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

COORDINACIÓN GENERAL DE CONTAMINACIÓN Y SALUD AMBIENTAL

2014

Periférico Sur, No. 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, Del. Coyoacán, México, D.F. C.P. 04530. Tel. +52 (55) 54246400. Fax. +52 (55) 54245404. www.inecc.gob.mx

INFORME NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE 2013, MÉXICO

DIRECTORIO

Dra. María Amparo Martínez Arroyo
Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dr. J. Víctor Hugo Páramo Figueroa
Coordinador General de Contaminación y Salud Ambiental

Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor
Director de Investigación sobre la Calidad del Aire y los Contaminantes Climáticos de Vida Corta

COORDINADORES

Biol. Rodolfo Iniestra Gómez
Subdirector de Estudios Estratégicos de Calidad del Aire

Act. María Guadalupe Tzintzun Cervantes
Jefa del Departamento de Análisis Estadístico sobre la Calidad del Aire

ELABORACIÓN

Act. María Guadalupe Tzintzun Cervantes
Jefa del Departamento de Análisis Estadístico sobre la Calidad del Aire

Biol. Rodolfo Iniestra Gómez
Subdirector de Estudios Estratégicos de Calidad del Aire

M. en C. Laura Elizabeth Ramos Casillas
Jefa del Departamento de Estudios sobre Especificaciones y Tendencias Vehiculares y de Combustibles

Ing. Ingrid Katherinne Pérez Rivas
Jefa del Departamento de Estudios sobre Emisiones por Fuentes Estacionarias

M. en C. Víctor Manuel Sánchez Rodríguez
Subdirector de Evaluaciones de Emisiones y Monitoreo Atmosférico

Ing. Carmen Alejandra Sánchez Soto
Jefa del Departamento del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire

CONTENIDO

CONTENIDO II

LISTA DE TABLAS V

LISTA DE FIGURAS VII

SIGLAS Y ACRÓNIMOS X

AGRADECIMIENTOS XIV

RESUMEN EJECUTIVO XV

INTRODUCCIÓN 1

1. SISTEMAS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE, INFORMACIÓN GENERAL 5

1.1 Zona Metropolitana del Valle de México 7
1.2 Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco 9
1.3 Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León 11
1.4 Zona Metropolitana del Valle de Toluca, México 12
1.5 Tijuana, Baja California 13
1.6 León, Guanajuato 14
1.7 Ciudad Juárez, Chihuahua 15
1.8 Mexicali, Baja California 16
1.9 Mérida, Yucatán 17
1.10 Chihuahua, Chihuahua 18
1.11 Aguascalientes, Aguascalientes 18
1.12 Morelia, Michoacán de Ocampo 19
1.13 Irapuato, Guanajuato 20
1.14 Ensenada, Baja California 21
1.15 Celaya, Guanajuato 21
1.16 Pachuca-Tizayuca, Hidalgo 22
1.17 Región Tula-Tepeji, Hidalgo 23
1.18 Salamanca, Guanajuato 25
1.19 Silao, Guanajuato 26
1.20 Tecate, Baja California 26
1.22 Distrito Minero de Molango, Hidalgo 28

2. EL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN 22 CIUDADES MEXICANAS 29

2.1 Partículas suspendidas 34

2.1.1 Normatividad *35*
2.1.2 Indicadores de la calidad del aire para PM_{10} (2000-2013) *37*
2.1.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM *39*
2.1.4 Evaluación del cumplimiento del límite anual (promedio anual de los promedios 24 horas) *41*
2.1.5 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios 24 horas) *45*
2.1.6 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013) *48*
2.1.7 Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año. *55*

2.1.8 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000-2013 ..... *58*
2.1.9 Indicadores de la calidad del aire para $PM_{2.5}$ (2003-2013) *61*
2.1.10 Evaluación del cumplimiento de la NOM *62*
2.1.11 Evaluación del cumplimiento del límite anual (promedio anual de los promedios 24 horas) *64*
2.1.12 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios 24 horas) *65*
2.1.13 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2003-2013) *66*
2.1.14 Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año *68*
2.1.15 Número de estaciones de monitoreo con datos suficientes por SMCA, en el periodo 2003-2013 ..... *70*
2.2 OZONO (O_3) 72
2.2.1 Normatividad *73*
2.2.2 Indicadores de la calidad del aire para ozono (2000-2013) *75*
2.2.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM *75*
2.2.4 Evaluación del cumplimiento del límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas) *78*
2.2.5 Evaluación del cumplimiento de límite horario (máximo horario) *82*
2.2.6 Número de horas por año, en el que se rebasa el límite de concentración de 1 hora en el periodo 2000-2013. ..... *86*
2.2.7 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013) *90*
2.2.8 Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año. *94*
2.2.9 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000 - 2013 ..... *99*
2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 102
2.3.1 Normatividad *103*
2.3.2 Indicadores de la calidad del aire para SO_2 (2000-2013) *104*
2.3.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM *105*
2.3.4 Evaluación del cumplimiento del límite de 8 horas de SO_2 ..... *107*
2.3.5 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas *108*
2.3.6 Evaluación del cumplimiento del límite anual de SO_2 ..... *109*
2.3.7 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013) *109*
2.3.8 Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año *111*
2.3.9 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000-2013 ..... *113*

3. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE 115
3.1 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE LAS BASES DE DATOS DE CALIDAD DEL AIRE 115
3.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS INDICADORES 118
3.2.1 Herramientas y bases de datos utilizadas en la generación de indicadores *118*
3.2.2 Datos diarios utilizados como base para los cálculos *118*
3.2.3 Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM *119*
3.2.4 Comportamiento horario, diario y mensual *125*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 128

ANEXO 1 CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE CONCENTRACIÓN DE 24 HORAS Y ANUAL DE PM_{10} Y $PM_{2.5}$, EN EL AÑO 2013, SEGÚN LAS NORMAS NOM-025-SSA1-1993 Y NOM-025-SSA1-2014 . 136

ANEXO II. CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE CONCENTRACIÓN DE 1 Y 8 HORAS DE OZONO, EN EL AÑO 2013, SEGÚN LAS NORMAS NOM-020-SSA1-1993 Y NOM-020-SSA1-2014..... 136

ANEXO III. LÍMITES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LA SECRETARÍA DE SALUD VIGENTES A 2013..... 140

ANEXO IV. INDICADORES CALCULADOS PARA EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NOM DE CALIDAD DEL AIRE (2000-2013) 142

ANEXO V. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE EXCEDEN LOS LÍMITES DE LAS NOM DE CALIDAD DEL AIRE (2000 – 2013)..... 149

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. SMCA INCLUIDAS EN EL INFORME 6
Tabla 2. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMVM Y CONTAMINANTES REPORTADOS 8
Tabla 3. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMG Y CONTAMINANTES REPORTADOS 10
Tabla 4. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DEL AMM Y CONTAMINANTES REPORTADOS 11
Tabla 5. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMVT Y CONTAMINANTES REPORTADOS 13
Tabla 6. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE TIJUANA Y CONTAMINANTES REPORTADOS 14
Tabla 7. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LEÓN Y CONTAMINANTES REPORTADOS 15
Tabla 8. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE CIUDAD JUÁREZ Y CONTAMINANTES REPORTADOS 16
Tabla 9. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE MEXICALI Y CONTAMINANTES REPORTADOS 17
Tabla 10. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE IRAPUATO Y CONTAMINANTES REPORTADOS 21
Tabla 11. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE CELAYA Y CONTAMINANTES REPORTADOS 22
Tabla 12. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE PACHUCA-TIZAYUCA Y CONTAMINANTES REPORTADOS 23
Tabla 13. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE TULA-TEPEJI Y CONTAMINANTES REPORTADOS 24
Tabla 14. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE SALAMANCA Y CONTAMINANTES REPORTADOS 25
Tabla 15. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DEL DISTRITO MINERO DE MOLANGO Y CONTAMINANTES REPORTADOS 28
Tabla 16. ZONAS METROPOLITANAS Y CIUDADES INCLUIDAS EN ESTE INFORME 31
Tabla 17. DISTRIBUCIÓN DE CIUDADES DE ACUERDO AL MÉTODO DE MEDICIÓN DE PM_{10} 39
Tabla 18. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE PM_{10} EN 2013 40
Tabla 19. ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE PM10 POR SMCA (EQUIPO AUTOMÁTICO) 59
Tabla 20. ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE PM_{10} POR SMCA (EQUIPO MANUAL) 60
Tabla 21. DISTRIBUCIÓN DE LAS CIUDADES DE ACUERDO AL MÉTODO DE MEDICIÓN DE $PM_{2.5}$ 62
Tabla 22. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE $PM_{2.5}$ EN 2013 62
Tabla 23. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE LAS $PM_{2.5}$ POR SMCA, EQUIPO AUTOMÁTICO 70
Tabla 24 NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE LAS $PM_{2.5}$ POR SMCA, EQUIPO MANUAL 71
Tabla 25. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 DE OZONO EN 2013 76
Tabla 26. NÚMERO DE HORAS QUE SE REBASA EL LÍMITE DE 1 HORA DE OZONO POR SMCA, EN EL PERIODO 2000-2013 89
TABLA 27. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE OZONO POR SMCA 100
Tabla 28 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-022-SSA1-2010 DE SO_2 EN 2013 106
Tabla 29. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DEL SO_2 POR SMCA 114
Tabla 30. DATOS DIARIOS Y CRITERIOS DE SUFICIENCIA DE INFORMACIÓN UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES 119
Tabla 31. INDICADORES CALCULADOS PARA EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NOM DE SALUD 120
Tabla 32. EJEMPLO DE LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL LÍMITE HORARIO DE O_3 (0.110 PPM) 121
Tabla 33. COLOR, CALIFICATIVO E INTERVALOS DE CONCENTRACIÓN POR CONTAMINANTE 124
Tabla 34. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 Y LA NOM-025-SSA1-2014 DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PM_{10} EN 2013 133
Tabla 35. EVALUCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 Y LA NOM-025-SSA1 DE $PM_{2.5}$ EN 2013 135
Tabla 36. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 Y LA NOM-020-SSA1-2014 DE OZONO EN 2013 138
Tabla 37. LÍMITES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LA SECRETARÍA DE SALUD VIGENTES A 2013 140
Tabla 38. MÁXIMOS HORARIOS DE O_3, 2000-2013 142
Tabla 39. QUINTO MÁXIMO DE LOS MÁXIMOS DIARIOS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS DE O_3, 2000-2013 LÍMITE DE 8 HORAS, 0.080 ppm 143

Tabla 40. PERCENTIL 98 DE LOS DATOS DIARIOS DE PM_{10}, 2000-2013 LÍMITE DE 24 HORAS, 120 µg/m³ 144
Tabla 41. PROMEDIO ANUAL DE LOS DATOS DIARIOS DE PM_{10}, 2000-2013 145
Tabla 42. PERCENTIL 98 DE LOS DATOS DIARIOS DE $PM_{2.5}$, 2000-2013 146
Tabla 43. PROMEDIO ANUAL DE LOS DATOS DIARIOS DE $PM_{2.5}$, 2000-2013 147
Tabla 44. SEGUNDO MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS DE SO_2, 2000-2013 147
Tabla 45. MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE SO_2, 2000-2013 148
Tabla 46. PROMEDIO ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES HORARIAS DE SO_2, 2000-2013 148
Tabla 47. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE HORARIO DE O_3 (0.110 ppm) 149
Tabla 48. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE PM_{10} 150
Tabla 49. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE $PM_{2.5}$ (65 µg/m³) 151
Tabla 50. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE SO_2 (0.11 ppm) 151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA PM_{10} Y $PM_{2.5}$ Y NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US) Y UNIÓN EUROPEA (UE)) 37
Figura 2. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE PM_{10} EN 2013 41
Figura 3. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM DEL GRUPO 1 42
Figura 4. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM Y CIUDADES DEL GRUPO 2 43
Figura 5. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3 43
Figura 6. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4 44
Figura 7. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM DEL GRUPO 1 45
Figura 8. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM y CIUDADES DEL GRUPO 2 46
Figura 9. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3 47
Figura 10. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4 47
Figura 11. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM GRUPO 1, EQUIPO AUTOMÁTICO) 49
Figura 12. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM Y CIUDADES GRUPO 2, EQUIPO AUTOMÁTICO) 50
Figura 13. DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM Y CIUDADES GRUPO 2, EQUIPO MANUAL) 51
Figura 14. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 3, EQUIPO AUTOMÁTICO) 52
Figura 15. DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 3, EQUIPO MANUAL) 53
Figura 16. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 4, EQUIPO AUTOMÁTICO) 54
Figura 17 DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 4, EQUIPO MANUAL) 54
Figura 18. COMPORTAMIENTO HORARIO DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013) 56
Figura 19. COMPORTAMIENTO DIARIO DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013) 57
Figura 20. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013) 58
Figura 21 CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE $PM_{2.5}$ EN 2013 63
Figura 22. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS $PM_{2.5}$ 64
Figura 23. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS $PM_{2.5}$ 65
Figura 24. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE LAS $PM_{2.5}$ (EQUIPO AUTOMÁTICO) 66
Figura 25 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE LAS $PM_{2.5}$ (EQUIPO MANUAL) 67
Figura 26 COMPORTAMIENTO HORARIO DE LAS $PM_{2.5}$ EN 7 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2003-2013) 68
Figura 27. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE LAS $PM_{2.5}$ EN 9 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 69
Figura 28. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LAS $PM_{2.5}$ EN 9 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 70

FIGURA 29. LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA O_3 Y NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US) Y UNIÓN EUROPEA (UE) 74
Figura 30. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 DE OZONO EN 2013 78
Figura 31. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DEL GRUPO 1 79
Figura 32. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS Y CIUDADES DEL GRUPO 2 80
Figura 33. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3 80
Figura 34. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4 81
Figura 35. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DEL GRUPO 1 83
Figura 36. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 2 83
Figura 37. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3 84
Figura 38. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4 85
Figura 39. NÚMERO DE HORAS, POR AÑO, EN QUE DE REBASA EL LÍMITE DE 1 HORA DE OZONO, EN EL PERIODO 2000-2013 89
Figura 40. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 1 90
Figura 41. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 2 92
Figura 42. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3 92
Figura 43. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4 93
Figura 44. COMPORTAMIENTO HORARIO DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 95
Figura 45. COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 96
Figura 46. COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 98
Figura 47 LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA SO_2 Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US), UNIÓN EUROPEA 104
Figura 48. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-022-SSA1-2010 DE SO_2 EN 2013 107
Figura 49. LÍMITE DE 8 HORAS (SEGUNDO MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO 108
Figura 50. LÍMITE 24 HORAS (MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO 108
Figura 51. LÍMITE ANUAL (PROMEDIO ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES HORARIAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO 109
Figura 52. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO 110
Figura 53. COMPORTAMIENTO HORARIO DEL SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 111
Figura 54. COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 112
Figura 55. COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL OZONO EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013) 113
Figura 56. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE LAS BASES DE DATOS 117
Figura 57 EJEMPLO DE LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULA Y MALA 125

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AMM	Área Metropolitana de Monterrey.
CARB	California Air Resources Board.
CEAR	Centro de Educación Ambiental y Recreativo.
CFR	Code of Federal Regulations.
CICA	Centro de Información de la Calidad del Aire de la ZMVM.
CIMAV	Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
CONAPO	Consejo Nacional de Población.
COEDE	Consejo Estatal de Ecología
COV	Compuestos orgánicos volátiles.
D.I.	Datos insuficientes.
DGCENICA	Dirección General del Centro de Investigación y Capacitación Ambiental.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
Est.	Estación de monitoreo.
FO	Fuera de operación.
GDF	Gobierno del Distrito Federal.
GEBC	Gobierno del Estado de Baja California.
GEG	Gobierno del Estado de Guanajuato.
GEJ	Gobierno del Estado de Jalisco.
GEM	Gobierno del Estado de México.
GENL	Gobierno del Estado de Nuevo León.
IAL	Instituto de Aire Limpio.
IEEG	Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato.

IHME	Institute for Health Metrics and Evaluation.
INE	Instituto Nacional de Ecología.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
km^2	Kilómetros cuadrados.
LAA	Laboratorio de Análisis Ambiental de la ZMVM.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards.
NI	No se incluyó.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
NO_x	Óxido de nitrógeno.
O_3	Ozono.
OI	Objetivo intermedio.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PEF	Programa de Egresos de la Federación.
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.
ppm	Partes por millón.
PST	Partículas suspendidas totales.
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM.
RDDA	Red de Depósito Atmosférico de la ZMVM.
REDMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico.
REDMET	Red de Meteorología y Radiación Solar de la ZMVM.

REDPANAIRE	Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire.
SEDEMA - GDF	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social.
SEGEA	Secretaría de Economía del Gobierno del Estado de Aguascalientes.
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco.
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SEMARNATH	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno del Estado de Hidalgo.
SCICA	Sistema de Consulta de Indicadores de Calidad del Aire.
S.I.	Sin información en el INECC.
SINAICA	Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire.
S.M.	Sin medición.
SMAEA	Secretaría de Medio Ambiento del Estado de Aguascalientes.
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM.
SMCA	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire.
SO_2	Dióxido de azufre.
SO_3	Trióxido de azufre.
SO_4	Iones sulfato.
SPA	Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California.
SUMA	Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán.
TCEQ	Texas Comission on Environmental Quality.

TNRCC	Texas Natural Resources Conservation Commission.
UE	Unión Europea.
UMSNH	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization.
ZMG	Zona Metropolitana de Guadalajara.
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México.
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
$\mu g/m^3$	Microgramo sobre metro cúbico.

AGRADECIMIENTOS

Las dependencias que se listan a continuación proporcionaron los datos horarios y los muestreos de 24 horas empleados para elaborar este Informe Nacional de Calidad del Aire. Sin su apoyo no hubiera sido posible su publicación:

- Dirección General de la Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial 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.
- Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California.
- California Air Resources Board.
- Instituto de Ecología de Guanajuato.
- Universidad Tecnológica de León.
- Patronato para la Calidad del Aire de Irapuato A.C.
- Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C.
- Dirección de Ecología del Municipio de Juárez.
- Texas Comission on Environmental Quality.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Aguascalientes.
- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo.
- Honorable Ayuntamiento de Morelia.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno del Estado de Hidalgo.

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta el análisis sistemático de la información disponible, de 2000 a 2013, sobre Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), Ozono (O_3) y Dióxido de azufre (SO_2) en 22 ciudades o zonas metropolitanas de nuestro país. Estas ciudades fueron conjuntadas en cuatro grupos con base en el tamaño de la población. El primer grupo incluye a las zonas metropolitanas de más de cuatro millones de habitantes, el segundo a las zonas metropolitanas y ciudades de más de un millón de habitantes y hasta cuatro millones, el tercero a las zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes y hasta un millón, y el cuarto a las zonas metropolitanas y ciudades de hasta 500 mil habitantes.

En conjunto, estas ciudades agrupan a un total de aproximadamente 44 millones de habitantes, lo que representa el 37% de la población total estimada por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) para el país en el año 2013. Esto en cualquier caso, no necesariamente significa que la cobertura de los Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire (SMCA) que operan en estas ciudades atiende a toda la población; tal evaluación va más allá de los alcances del presente informe.

Para cada ciudad se evalúa el estado de la calidad del aire con respecto a las normas oficiales mexicanas en la materia. Sin embargo, es oportuno decir que aunque las normas correspondientes a ozono y partículas (tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$) fueron actualizadas en octubre de 2014, la evaluación de cumplimiento de dichas normas en este informe se hizo con base en la normatividad vigente hasta antes de la actualización, debido a que el periodo de análisis incluye los años 2000 a 2013. Entre los hallazgos más relevantes de esta evaluación destacan los siguientes:

Partículas PM_{10}:

- Actualmente este contaminante se mide en 21 de los 22 SMCA incluidos en este informe. Sin embargo, en el análisis presentado no se tomaron en cuenta los casos de Aguascalientes y Morelia porque no se contó con información validada o suficiente.

- En 2013 el límite de 24 horas se cumplió en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), León, Irapuato, Ensenada, Salamanca, Silao y Distrito Minero de Molango, en tanto que el límite anual se cumplió en las ciudades de Ensenada, Silao y Distrito Minero de Molango.

- Considerando que la norma de PM_{10} sólo se cumple si las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, entonces ésta norma se cumplió, en 2013, únicamente en tres de los 22 SMCA incluidos en este análisis: Ensenada, Silao y Distrito Minero de Molango.

- En todo el periodo de análisis las concentraciones más elevadas, tanto anual como de 24 horas se presentaron en Mexicali y en Ciudad Juárez. En 2013 además de estas dos ciudades también la región de Pachuca-Tizayuca presentó concentraciones elevadas. En general, en este último año las concentraciones, que se presentaron en estas ciudades fueron equivalentes a entre 2 y 3.8 veces el valor indicado en la norma.

- La Zona Metropolitana del Valle de México muestra, en los últimos cinco años, una clara tendencia decreciente en las concentraciones de 24 horas que le llevaron a cumplir, por primera vez en los últimos 14 años, con el límite establecido en la norma.

Partículas $PM_{2.5}$:

- Dada la importancia de este contaminante por sus impactos en la salud, la medición de $PM_{2.5}$ ha venido incorporándose cada vez a un mayor número de ciudades o zonas metropolitanas. Actualmente, este contaminante se mide en 11 de los 22 SMCA incluidos en este documento. Sin embargo, es necesario trabajar en la consolidación de tales mediciones para asegurar que se genere información confiable y con la regularidad necesaria. Por ejemplo, los casos de la Zona Metropolitana de Guadalajara y Mexicali, en donde se realiza la medición de este contaminante, no se incluyeron en el informe debido a que no se contó con información validada por los operadores de dichos SMCA.

- En 2013 el límite de 24 horas sólo se cumplió en la Zona Metropolitana del Valle de México, Mérida y Salamanca, en tanto que el límite anual se cumplió únicamente en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y Mérida.

- Considerando que la norma de $PM_{2.5}$ sólo se cumple si las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, entonces durante 2013 sólo se cumplió en la ciudad de Mérida.

- En 2013 las concentraciones más elevadas, tanto de 24 horas como anual, se presentaron en la zona de Tula-Tepeji con valores equivalentes a 7.6 y 8.7 veces, respectivamente el valor de la norma correspondiente.

Ozono:

- Actualmente este contaminante se mide en 21 de los 22 SMCA incluidos en este informe.

- En 2013, sólo 16 de los 21 SMCA que miden este contaminante generaron información suficiente para poder evaluar el cumplimiento de la norma respectiva. Tijuana, Ensenada, Aguascalientes y Rosarito no generaron información suficiente

- En 2013, sólo en cuatro SMCA se cumplió con la norma de ozono al no registrar concentraciones superiores tanto del límite de una hora como el de ocho horas: Ciudad Juárez, Mérida, Chihuahua y Celaya.

- Las concentraciones del quinto máximo de 8 horas registradas en las zonas metropolitanas de Valle de México y Guadalajara suelen ser las más altas de todo el país durante el periodo analizado, a pesar de que en el Valle de México se observa una clara tendencia a la baja.

- En ciudades como Tijuana, Mexicali, Ensenada, Pachuca-Tizayuca, Tula-Tepeji y Rosarito es necesario fortalecer el monitoreo de este contaminante, pues en el 2013 menos del 50% de las estaciones de monitoreo ha sido capaz de generar al menos 75% de los datos horarios válidos posibles.

- Ciudad Juárez y Chihuahua han cumplido con el límite horario en los cuatro años más recientes.

Dióxido de azufre:

- Actualmente este contaminante se mide en 18 de los 22 SMCA incluidos en este documento. Sin embargo, sólo se incluye el análisis de los datos proporcionados por la Zona Metropolitana del Valle de México, Salamanca y Tula-Tepeji por considerar que la actualización de la NOM-022-SSA1 de dióxido de azufre llevada a cabo en 2010 podría haber tenido un impacto importante en estas ciudades de acuerdo con las tendencias observadas en el periodo 2000 a 2009 reportadas en el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*, o bien por el tipo de actividad industrial que en ellas se registra.

- En 2013, los límites normados para ocho horas, 24 horas y anual, se cumple tanto en la Zona Metropolitana del Valle de México como en Salamanca. En Tula-Tepeji el límite de ocho horas registrado en este año fue equivalente a 1.6 veces el valor de la norma, en tanto que los límites de 24 horas y anual no se pudieron evaluar por falta de información.

- En general, se observa una marcada tendencia decreciente en los valores límite de ocho horas, 24 horas y anual, tanto en la Zona Metropolitana del Valle de México como en Salamanca, lo que les lleva a cumplir de manera regular con dichos límites desde el año 2009.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire en exteriores constituye un grave problema de salud ambiental. Ésta resulta de la emisión de sustancias a la atmósfera que provocan un desequilibrio en la composición original de la misma. Dichas sustancias contaminantes, provenientes tanto de fuentes naturales como antropogénicas y pueden clasificarse como: contaminantes criterio y contaminantes tóxicos o no criterio.

Dentro de la primera categoría se encuentran aquellos que fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de la calidad del aire en los Estados Unidos de América con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente, el término contaminante criterio ha sido adoptado en muchos países e incluye los siguientes contaminantes (INECC, 2014a): Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de nitrógeno (NO_2), Material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), Plomo (Pb), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O_3).

La evidencia toxicológica y epidemiológica sobre los daños a la salud por exposición a los contaminantes criterio, avala la existencia de un riesgo por exposición incluso a concentraciones relativamente bajas de los contaminantes en el aire. Estudios epidemiológicos han revelado que la exposición a PM_{10} se ha asociado con tos crónica, bronquitis, disminución en el control de asma, disminución en la función pulmonar (Castro et al., 2009) y en general disminución en la calidad de vida (Maestrelli et al., 2011).

Una exposición crónica a ozono reduce la función pulmonar, además de provocar síntomas respiratorios como tos, flema y sibilancias, lo cual puede ser responsable del agravamiento del asma, enfisema e incluso cáncer de pulmón. La exposición a este contaminante se ha asociado positivamente con el riesgo de mortalidad por todas las causas y otras específicas como: respiratorias, cardiopulmonares, cardiovasculares, cerebrovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) e infección respiratoria baja (IRB) (Romieu et al., 2012; Atkinson et al., 2012 y Jerret et al., 2009).

La disminución del desarrollo de la función pulmonar y un incremento en visitas hospitalarias por infecciones respiratorias agudas se asocia con la exposición al NO_2 (Tellez-Rojo et al., 1997; Torres-Meza, 2000). Por otro lado, el SO_2 puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares (Evans et al., 2002).

La contaminación atmosférica, que afecta a las zonas urbanas del mundo, constituye un riesgo medioambiental para la salud, y causa alrededor de 3.3 millones de muertes anuales y más de 78.6 millones de años de vida saludable perdidos (Lim et al., 2012; HEI, 2012).

En México, estimaciones recientes han evidenciado cómo la mala calidad del aire impacta en la carga de morbilidad y mortalidad. El Instituto para la Métrica y Evaluación de la Salud (*Institute for Health Metrics and Evaluation o IHME)* ha estimado que la contaminación del aire en México con material particulado fue la causa de cerca de 20,500 muertes en 2010, ocupando el noveno lugar como factor de riesgo. A su vez ocasionó 461,454 años de vida perdidos ajustados por discapacidad (IHME, 2014).

En términos monetarios, las cifras más recientes del INEGI arrojan que la contaminación atmosférica representó los mayores costos ambientales en 2012, al ubicarse en 532 mil 679 millones de pesos, equivalente al 3.4 por ciento del Producto Interno Bruto (INEGI, 2014a).

Reducir la concentración de contaminantes en la atmósfera involucra acciones de control de emisiones cuyos costos son variables pero, en general, cuantiosos. Sin embargo, la reducción de los impactos en la salud asociados con la contaminación del aire 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, los bosques y en la visibilidad.

Un estudio realizado recientemente por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), donde se evalúan los impactos en la salud que se evitarían si se cumplieran los límites establecidos en las normas oficiales mexicanas e internacionales de calidad del aire con respecto a $PM_{2.5}$ en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey tomando como año de análisis el 2010, indica que de cumplirse con las recomendaciones de la Organización Mundial de Salud (OMS), se evitarían, en estas tres ciudades, un total de 2,170 muertes prematuras, en comparación con las 1,317 que se evitarían de cumplirse con la norma oficial mexicana respectiva. De igual forma los beneficios económicos que se obtendrían si se cumplieran los niveles estipulados en las recomendaciones de la OMS y en la norma oficial mexicana corresponden a 45 y 27 mil millones de pesos, respectivamente (INECC, 2014b).

Debido a esta relación entre la contaminación atmosférica, sus efectos en la salud y los costos asociados, la gestión de la calidad del aire se plantea como una prioridad para las autoridades ambientales en México y, en este contexto, tanto el monitoreo ambiental como los inventarios de emisiones son herramientas básicas en la atención de los problemas de la calidad del aire. En el caso del monitoreo, es claro que con el fin de evaluar el estado que guarda la calidad del aire en un lugar determinado es necesario llevar a cabo la medición de las concentraciones de los contaminantes y compararlas con las normas para protección de la salud. En este contexto, el análisis de la información generada por los SMCA a lo largo del tiempo, permite inferir si existe un problema de deterioro creciente, una mejoría paulatina o una estabilidad para cada uno de los contaminantes estudiados.

Esta información constituye, sin duda, uno de los mejores elementos disponibles para evaluar si una ciudad se aproxima o se aleja de lo que puede considerarse como sustentable en materia de calidad del aire, así como estimar, en su caso, la magnitud del problema que se pretende atender.

Este Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 presenta información de 22 SMCA distribuidos en 11 Estados de la República que cuentan con datos para al menos un año en el periodo 2000 a 2013 con respecto a por lo menos uno de los siguientes contaminantes: PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2.

Se evalúa el estado de la calidad del aire con respecto a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en la materia y se incluye, para cada una de las ciudades, la revisión de los siguientes indicadores:

a) Evaluación del cumplimiento de las NOM de calidad del aire
b) Número de días con calidad del aire buena, regular y mala
c) Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año
d) Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información.

Las ciudades y zonas metropolitanas incluidas en este informe se han agrupado en cuatro grupos con base en el tamaño de la población, integrándose de la siguiente manera:

a) Zonas metropolitanas de más de cuatro millones de habitantes e incluye a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMVG) y al Área Metropolitana de Monterrey (AMM).

b) Zonas metropolitanas y ciudades de más de un millón de habitantes y hasta cuatro millones, que incluye a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), Tijuana, León y Ciudad Juárez.

c) Zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes y hasta un millón que incluye a las ciudades de Mexicali, Mérida, Chihuahua, Aguascalientes, Morelia, Irapuato y Ensenada.

d) Zonas metropolitanas y ciudades de hasta 500 mil habitantes donde se incluye a las ciudades de Celaya, Pachuca-Tizayuca, Tula-Tepeji, Salamanca, Silao, Tecate, Rosarito y Distrito Minero de Molango.

El propósito de este documento es proporcionar a las autoridades ambientales y de salud, investigadores, estudiantes, organismos de la sociedad civil y otros interesados, un panorama de las tendencias de la calidad del aire en las ciudades mencionadas, durante el periodo 2000 a 2013, con la finalidad de que cuenten con información robusta y confiable para diseñar y evaluar políticas públicas que permitan reducir los riesgos a la salud asociados con la exposición a los contaminantes atmosféricos.

En el primer capítulo de este informe se hace una breve descripción de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire de las 22 ciudades y zonas metropolitanas incluidas en el análisis. En el segundo capítulo se presentan los indicadores y tendencias de la calidad del aire para cada uno de los siguientes contaminantes: PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2, durante el periodo 2000 a 2013, en los cuatro grupos de ciudades antes referidos y finalmente, en el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada para analizar y procesar los datos generados por los Sistemas de Monitoreo, así como los procedimientos para el cálculo de los diversos indicadores que permiten evaluar el estado de la calidad del aire en cada una de las ciudades.

Finalmente, se incluye un conjunto de anexos donde el lector podrá acceder a información sobre los resultados de análisis adicionales como el efecto potencial de las nuevas normas de calidad del aire sobre PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 que recién entraron en vigor en 2014, en el supuesto de que las concentraciones de estos contaminantes se mantuvieran en los mismos niveles que los registrados en el 2013, así como información detallada sobre los criterios y valores empleados, según las normas correspondientes, para evaluar el cumplimiento de cada uno de los límites incluidos en éstas (p.e. 1 hora, 8 horas, 24 horas o anual) o la numeralia respecto al número de días por año, ciudad y contaminante en el que se exceden los diferentes límites de calidad del aire.

1. SISTEMAS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE, INFORMACIÓN GENERAL

En este capítulo se hace una breve descripción tanto de las ciudades y zonas metropolitanas incluidas en este documento, como de sus Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA). Dicha descripción incluye elementos tales como extensión territorial, altitud, tamaño de población, flota vehicular, índice de motorización y actividad económica dominante. Información que pretende ayudar al lector a poner en contexto las posibles causas de las tendencias observadas en la calidad del aire con respecto a cada contaminante.

En cuanto a los SMCA, la descripción incluye información relativa al año de inicio de operación, la institución o instituciones que la administra(n) y opera(n), la página de Internet donde se puede consultar información más detallada, las estaciones de monitoreo que la conforman, ubicación de cada estación a nivel de delegación o municipio, tipo de equipo (manual o automático) con el que opera de acuerdo al contaminante medido y contaminantes que miden, haciendo hincapié sólo en los contaminantes incluidos en este análisis, tal como PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2.

Es importante destacar que sólo se incluye el análisis de información relativa a dichos contaminantes, debido a que en el análisis realizado en el *Cuarto Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)* la mayoría de las ciudades rebasaron, en al menos uno de los años analizados, alguno de los valores límite permisibles establecidos en las normas de material particulado y ozono. Con respecto al dióxido de azufre, si bien la mayoría de las ciudades no presentó problemas con los límites vigentes en ese periodo, es relevante la evaluación de su cumplimiento, de acuerdo con los nuevos límites publicados en 2010 a través dela actualización de la NOM-022-SSA1-2010. Dos de éstos límites (24 horas y anual) son más estrictos y se adicionó un tercero (ocho horas). Otro aspecto relevante a considerar es el tipo de actividad industrial que se registra en las ciudades en las que analiza.

La definición de Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire que se considerará en este documento es la referida en la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, que especifica que "*un SMCA consiste en un conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para operar una o un conjunto de estaciones de monitoreo y/o muestreo que miden la calidad del aire en una zona o región"* (DOF, 2012).

Esta definición efiere de la empleada por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la ZMVM que en términos operativos lo define como un conjunto conformado por cuatro subsistemas [la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), La Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET), La Red de Depósito Atmosférico (REDDA)], un laboratorio para el análisis fisicoquímico de muestras (Laboratorio

de Análisis Ambiental, LAA) y un centro de procesamiento y difusión de datos (Centro de Información de la Calidad del Aire, CICA) (SEDEMA-GDF, 2014a).

En la Tabla 1 se listan las ciudades con SMCA a las que se les solicitó información de calidad del aire, la respuesta a la petición y, en su caso, las razones por las que no se incluyó dicha información en este reporte. Las ciudades sombreadas en gris son las que se presentan en el documento.

Tabla 1. SMCA INCLUIDAS EN EL INFORME

ENTIDAD FEDERATIVA	METRÓPOLIS MUNICIPIO CIUDAD	¿ENTREGÓ INFORMACIÓN?	¿SE USÓ LA INFORMACIÓN?	RAZONES POR LAS QUE NO SE UTILIZÓ LA INFORMACIÓN
Aguascalientes	Aguascalientes	Sí	Sí, pero sólo O_3 de 2013	A, B, C y D
Baja California	Mexicali	Sí	Sí	-----
	Playas de Rosarito	Sí	Sí	-----
	Tecate	Sí	Sí	-----
	Tijuana	Sí	Sí	-----
	Ensenada	Sí	Sí	-----
Chihuahua	Cd. Juárez	Sí	Sí	-----
	Chihuahua	Sí	Sí	-----
Coahuila	Torreón	Sí	No	E
Distrito Federal y Estado de México	ZMVM	Sí	Sí	-----
Durango	Durango	Sí	No	B, C, D y E
	Lerdo	Sí	No	B, C, D y E
	Gómez Palacio	Sí	No	B, C, D y E
Estado de México	ZMVT	Sí	Sí	-----
Guanajuato	Celaya	Sí	Sí	-----
	Irapuato	Sí	Sí	-----
	León	Sí	Sí	-----
	Silao	Sí	Sí	-----
	Salamanca	Sí	Sí	-----
Hidalgo	Pachuca - Tizayuca	Sí	Sí	-----
	Tula-Tepeji	Sí	Sí	-----
	Distrito Minero de Molango	Sí	Sí	-----
Jalisco	ZMG	Sí	Sí	-----
Michoacán de Ocampo	Morelia	Sí	Sí, pero sólo O_3	A
Morelos	Cuautla	Sí	No	A
	Cuernavaca	Sí	No	A
	Ocuituco	Sí	No	A
	Zacatepec	Sí	No	A
Nuevo León	AMM	Sí	Sí	-----
Oaxaca	Oaxaca	Sí	No	A, F
Puebla	ZMP	Sí	No	E
Querétaro	ZMQ	Sí	No	I, E
San Luis Potosí	San Luis Potosí	No	NA	J
Sinaloa	Culiacán	Sí	No	C, E
	Guasave	Sí	No	C, E
	Mazatlán ***	Sí	No	C, E
	Los Mochis***	Sí	No	C, E
Sonora	Agua Prieta	No	NA	J
	Cajeme, Ciudad Obregón	No	NA	J
	Guaymas	No	NA	J
	Hermosillo	No	NA	J
	Navojoa	No	NA	J
	Nogales	No	NA	J
	Puerto Peñasco	No	NA	J

ENTIDAD FEDERATIVA	METRÓPOLIS MUNICIPIO CIUDAD	¿ENTREGÓ INFORMACIÓN?	¿SE USÓ LA INFORMACIÓN?	RAZONES POR LAS QUE NO SE UTILIZÓ LA INFORMACIÓN
Tabasco	Centro (Villahermosa)	Sí	NA	B, C
	Cárdenas	Sí	NA	B, C
	Comalcalco	Sí	NA	B, C
Yucatán	Mérida	Sí	Sí	-----

*** En proceso de arranque de operación.
NA = No se aplica.
A = Datos insuficientes.
B = Formato de bases de datos no adecuado (pdf, imágenes, etc.).
C = No se proporcionaron los datos en concentraciones horarias en el caso de equipos automáticos, o los muestreos de 24 horas en el caso de los equipos manuales.
D = Datos sin validar.
E = No hubo respuesta por parte de los SMCA a las dudas sobre la información.
F = SMCA de reciente creación sin consolidar sus procesos operativos.
G = SMCA fuera de operación.
H = SMCA que genera información no pública (recursos privados).
I = Se recibió la información fuera de tiempo.
J = No se respondió a la solicitud de información.

Es importante resaltar que para el cálculo de los indicadores de cada uno de los SMCA sólo se consideraron aquellas estaciones de monitoreo que cumplieron con los requisitos de verificación descritos en la sección denominada "Procedimiento de verificación de las bases de datos de calidad del aire" del capítulo 3. A continuación se presenta la información, descrita con antelación, para cada uno de los SMCA que se incluyeron en este documento.

1.1 Zona Metropolitana del Valle de México

- **Municipios y delegaciones:** La ZMVM está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo. (SEDESOL et al., 2012).
- **Superficie:** 7,866.1 km^2 (SEDESOL et al., 2012).
- **Altitud:** 2,240 msnm (SEDEMA-GDF, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 21 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2012:** 5 millones de vehículos (SEDEMA-GDF, 2013).[1]
- **Índice de motorización:** 245 vehículos por cada mil habitantes[2].
- **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).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVM data de 1966, cuando se instalaron las primeras cuatro estaciones para el monitoreo de dióxido de azufre, partículas suspendidas, polvo sedimentable y acidez.

[1] Para la ZMVM se tomará el dato de flota vehicular reportada por la SEDEMA del GDF, ya que es un dato más confiable que el reportado en las "Estadísticas de Vehículos de Motor" publicadas por INEGI.
[2] El índice de motorización se calculó con la población estimada por la CONAPO para el año 2013 y con la flota vehicular reportada por la SEDEMA del GDF al año 2012 ya que no se cuenta con un dato más reciente.

En 1967 la Organización Panamericana de la Salud instaló la "Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE)" con 10 estaciones, además de las cuatro existentes (SEDEMA-GDF, 2014b). La Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal es la responsable de la administración y operación del SMCA. La página http://www.aire.df.gob.mx/default.php actualiza con regularidad la información sobre este sistema.

En la Tabla 2 se muestran las estaciones de monitoreo que integran actualmente el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ZMVM (SIMAT, Sistema de Monitoreo Atmosférico).

Tabla 2. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMVM Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	ENTIDAD FEDERATIVA	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO				EQUIPO MANUAL	
				PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Acolman	Acolman	Estado de México	ACO	√		√	√		
Atizapán	Atizapán de Zaragoza	Estado de México	ATI	√		√	√		
Camarones	Azcapotzalco	Distrito Federal	CAM	√	√	√	√		
Centro de Ciencias de la Atmósfera	Coyoacán	Distrito Federal	CCA		√	√	√		
Chalco	Chalco Xochimilco	Estado de México	CHO	√		√	√		
Coyoacán	Coyoacán	Distrito Federal	COY						
Cuajimalpa	Cuajimalpa de Morelos	Distrito Federal	CUA		√	√			√
Cuautitlán	Tepotzotlán	Estado de México	CUT	√		√	√		
FES Acatlán	Naucalpan de Juárez	Estado de México	FAC	√		√	√		
Hospital General de México	Cuauhtémoc	Distrito Federal	HGM	√		√	√		
Iztacalco	Iztacalco	Distrito Federal	IZT	√	√	√	√		
La Presa	Tlalnepantla de Baz	Estado de México	LPR	√		√	√		
Lomas	Miguel Hidalgo	Distrito Federal	LOM			√	√	√	
Los Laureles	Ecatepec de Morelos	Estado de México	LLA					√	
Merced	Venustiano Carranza	Distrito Federal	MER			√	√		
Montecillo	Texcoco	Estado de México	MON	√	√	√	√	√	√
Museo de la Ciudad de México	Cuauhtémoc	Distrito Federal	MCM			√	√		
Nezahualcóyotl	Nezahualcóyotl	Estado de México	NEZ					√	
Pedregal	Álvaro Obregón	Distrito Federal	PED		√	√	√	√	
San Agustín	Ecatepec de Morelos	Estado de México	SAG	√	√	√	√	√	√
San Juan de Aragón	Gustavo A. Madero	Distrito Federal	SJA	√	√	√	√		√

ESTACIÓN	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	ENTIDAD FEDERATIVA	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO				EQUIPO MANUAL	
				PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Santa Úrsula	Coyoacán	Distrito Federal	SUR		√	√	√		
Santa Fe	Cuajimalpa de Morelos	Distrito Federal	SFE	√		√	√		
Secretaría de Hacienda	Miguel Hidalgo	Distrito Federal	SHA	√	√	√	√		
Tláhuac	Xochimilco	Distrito Federal	TAH					√	
Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz	Estado de México	TLA	√		√	√		
Tlalpan	Tlalpan	Distrito Federal	TPN	√	√	√	√	√	√
Tultitlán	Tultitlán	Estado de México	TLI			√	√		
UAM Iztapalapa	Iztapalapa	Distrito Federal	UIZ	√		√	√		
UAM Xochimilco	Coyoacán	Distrito Federal	UAX	√	√	√	√	√	√
Villa de las Flores	Coacalco de Berriozábal	Estado de México	VIF		√	√	√		
Xalostoc	Ecatepec de Morelos	Estado de México	XAL	√		√	√		

Es importante destacar que las estaciones del SIMAT tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013, son más de las que se muestran en el cuadro anterior, debido a que varias estaciones dejaron de medir en algún momento del periodo analizado por el rediseño del SIMAT. Sin embargo, la información generada por dichas estaciones de monitoreo antes de su salida de operación se incluye en el análisis de datos de este documento.

Las estaciones de monitoreo que no aparecen en el cuadro anterior, pero que fueron incluidas en el análisis presentado en este documento son: Azcapotzalco (AZC), Tacuba (TAC), Vallejo (VAL), Aragón (ARA), La Villa (LVI), Benito Juárez (BJU), Hangares (HAN), Lagunilla (LAG), Plateros (PLA), Cerro de la Estrella (CES) y Taxqueña (TAX).

1.2 Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco

- **Municipios:** Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan (SEDESOL et al., 2012).
- **Superficie:** 2,727.5 km^2 (SEDESOL et al., 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 1.9 millones de vehículos (INEGI, 2014b)[3].
- **Índice de motorización:** 405 vehículos por cada mil habitantes.

[3] Cifra preliminar.

- **Altitud:** 1,540 msnm (GEJ, 2007).
- **Población estimada al año 2013:** 4.6 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Actividad económica dominante:** las principales actividades en la zona son la industria manufacturera, el comercio, servicios personales y de mantenimiento, además de comunales y sociales (GEJ, 2014).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMG inició en 1993 con ocho estaciones. En 2010 y 2013 se extendió la cobertura del SMCA con la adición de las estaciones Las Pintas y Santa Fe, respectivamente.

La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Jalisco (SEMADET). La página http://siga.jalisco.gob.mx/aire/index.html contiene información general sobre el SMCA y las mediciones generadas en tiempo real.

En la Tabla 3 se muestran cada una de las estaciones y los contaminantes que se reportaron y analizaron en el presente documento en el periodo 2000-2013. Cabe aclarar que para este informe, los responsables del SMCA no entregaron valores validados de $PM_{2.5}$, a pesar de que empezaron a medirlo en 2007, debido a problemas de operación con los equipos.

Tabla 3. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMG Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO	
			PM_{10}	O_3
Las Águilas	Zapopan	AGU	√	√
Atemajac	Zapopan	ATM	√	√
Centro	Guadalajara	CEN	√	√
Loma Dorada	Tonalá	LDO	√	√
Miravalle	Guadalajara	MIR	√	√
Oblatos	Guadalajara	OBL	√	√
Las Pintas	El Salto	PIN	√	√
Santa Fe	Tlajomulco de Zúñiga	SFE	√	√
Tlaquepaque	Guadalajara	TLA	√	√
Vallarta	Zapopan	VAL	√	√

1.3 Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León

- **Municipios:** Apodaca, Cadereyta Jiménez, Carmen, Gral. Escobedo, García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, Santiago, Santa Catarina, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Salinas Victoria (SEDESOL et al., 2012).
- **Superficie:** 6,794 km^2 (SEDESOL et al., 2012).
- **Altitud:** 500 msnm (GENL, 2008).
- **Población estimada al año 2013:** 4.3 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 2 millones de vehículos (INEGI, 2014b)[4].
- **Índice de motorización:** 477 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** Los servicios, que representan el 50% del PIB. La industria en componentes para equipos y bienes de capital, tecnologías de información, alimentos y bebidas (GENL, 2010).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en el AMM inició en 1992 con cinco estaciones de monitoreo. En 2009 se extendió la cobertura del sistema con la incorporación de las estaciones García (NO2) y Escobedo (N), así mismo en 2012 se incorporaron las estaciones Apodaca (NE2) y Juárez (SE2).

La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo de Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León. La página http://www.nl.gob.mx/?P=sima_metropolitano contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes. Las estaciones automáticas del SMCA del AMM, tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis de 2000 a 2013 fueron nueve. En la siguiente tabla se listan las estaciones y los contaminantes que miden.

Tabla 4. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DEL AMM Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO		
			PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3
Apodaca - Noreste 2	Apodaca	NE2	√		√
Escobedo - Norte	Gral. Escobedo	N	√		√
García - Noroeste 2	García	NO2	√		√
Juárez -Sureste 2	Juárez	SE2	√	√	√
La Pastora - Sureste	Guadalupe	SE	√	√	√

[4] Cifras preliminares

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO		
			PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3
Obispado - Centro	Monterrey	CE	√	√	√
San Bernabé - Noroeste	Monterrey	NO	√	√	√
San Nicolás - Noreste	San Nicolás de los Garza	NE	√	√	√
Santa Catarina - Suroeste	Santa Catarina	SO	√	√	√

1.4 Zona Metropolitana del Valle de Toluca, México

- **Municipios:** Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. (SEDESOL et al., 2012).
- **Superficie:** 2,203.2 km^2 (SEDESOL et al., 2012).

  Población estimada al año 2013: 2.1 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Altitud:** 2,660 msnm (GEM, 2007).
- **Flota vehicular al año 2013**: 609 mil vehículos (INEGI, 2014b)[5].
- **Índice de motorización:** 288 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** El sector terciario, que incluye el comercio y la construcción, es el de mayor importancia en el estado (GEM, 2011).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ZMVT entró en operación en 1994 con siete estaciones de monitoreo. La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.

El portal electrónico de dicha Secretaría, contiene información general sobre el SMCA, además de presentar reportes de calidad del aire http://portal2.edomex.gob.mx/rama/calidad_del_aire/index.htm

En la Tabla 5 se muestran las estaciones y contaminantes tomados en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013.

Cabe mencionar que la estación de San Lorenzo Tepaltitlán ya no está en operación. Sin embargo, la información generada antes de dejara de funcionar se incluye el análisis de este documento.

[5] Cifra preliminar.

Tabla 5. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LA ZMVT Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO		
			PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3
Aeropuerto	Toluca	AP	√	√	√
Cerobuco	Toluca	CB	√	√	√
Metepec	Metepec	MT	√	√	√
Oxtotitlán	Toluca	OX	√	√	√
San Cristóbal Huichochitlán	Toluca	SC	√	√	√
San Lorenzo Tepaltitlán	Toluca	SL	√		√
San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	SM	√	√	√
Toluca Centro	Toluca	CE	√	√	√

1.5 Tijuana, Baja California

- **Superficie:** 1,243 km^2 (Ayuntamiento de Tijuana, 2011).
- **Altitud:** 20 msnm (Ayuntamiento de Tijuana, 2011).
- **Población estimada al año 2013:** 1.6 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 517 mil vehículos (INEGI, 2014b)[6].
- **Índice de motorización:** 310 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** La industria maquiladora es la más relevante, seguido por el sector de servicios, comercios y turismo (Ayuntamiento de Tijuana, 2011).

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 de América (USEPA, por sus siglas en inglés), de la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés), y de la entonces SEMARNAP (INE-SEMARNAT, 2011). La operación del SMCA 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, la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California, administra y opera el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de Tijuana. La página http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental contiene información general sobre el SMCA y reportes de las mediciones en tiempo real.

[6] Cifra preliminar.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son seis; los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE TIJUANA Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO O_3	EQUIPO MANUAL PM_{10}
Instituto Tecnológico. de Tijuana	ITT	√	√
La Mesa	LAM	√	√
Las Playas	PLA	√	√
Centro de Salud	Centro		√
Colegio de la Frontera	Colef		√
Laboratorio	LAB		√

Cabe mencionar que la estación La Mesa cuenta con monitoreo automático de PM_{10}; sin embargo, debido a fallas en la operación del equipo no se tomó en cuenta en este análisis.

1.6 León, Guanajuato

- **Superficie:** 1,883 km^2 (GEG, 2008).
- **Altitud:** 1,800 msnm (GEG, 2008).
- **Población estimada al año 2013:** 1.5 millones de habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 428 mil vehículos (INEGI, 2014b)[7].
- **Índice de motorización:** 286 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** en las últimas décadas León ha cambiado su actividad económica dominante, ya que se ha convertido en una ciudad prestadora de servicios (turismo de negocios, educación, servicios hospitalarios) dejando atrás la tradicional definición económica de enclave manufacturero (industria cuero–calzado) pese que aún el sector industrial tiene un peso importante en la economía local (GEG, 2008).

El monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de León inició operaciones en 2005. La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato (INE-SEMARNAT, 2011) en conjunto con la Universidad Tecnológica de León. La página electrónica que contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes es http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/leon/

[7] Cifra preliminar.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son tres, los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE LEÓN Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO	
		PM_{10}	O_3
CICEG	CICEG	√	√
Facultad de Medicina	FM	√	√
IMSS-T21	T21	√	√

1.7 Ciudad Juárez, Chihuahua

- **Superficie**: 3,561 km^2 (INEGI, 2006a).
- **Altitud:** 1,140 msnm (INEGI, 2006a).
- **Población estimada al año 2013:** 1.4 millones de habitantes (CONAPO, 2012)
- **Flota vehicular al año 2013:** 495 mil vehículos (INEGI, 2014b).
- **Índice de motorización:** 354 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** La industria maquiladora, comercio y servicios (GMJ, 2014).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Ciudad Juárez inició 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 por el actual TCEQ (Texas Comission on Environmental Quality) antes TNRCC (Texas Natural Resources Conservation Commission).

En 1996 inició operaciones la red automática, la institución responsable de la administración y operación del SMCA es la Dirección General de Ecología y Protección Civil del Municipio de Ciudad Juárez, apoyados por el Programa Ambiental Fronterizo y por TCEQ. La página electrónica que contiene información histórica de las mediciones de los contaminantes es http://www.tceq.state.tx.us/cgi-bin/compliance/monops/yearly_summary.pl?cams=661.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire para el periodo de análisis 2000-2013 son doce; los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE CIUDAD JUÁREZ Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO O_3	EQUIPO MANUAL PM_{10}
ACS	ACS		√
Advance	ADV	√	√
Anapra	ANA		√
Babicora	BABI		√
Benito Juárez	BEJ		√
Club 20-30	CLB	√	√
Chihuahua	EPC		√
Federal	FED 3		√
Niñez Mexicana	NIM		√
Peztalozzi	Pesta		√
Tecnológico	Tecno	√	√
Zenco	Zenco		√

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 PM10 en 2007; Babicora (BABI) y ACS en 2008 y Estación de policía Chihuahua (EPC) y Benito Juárez (BEJ) en 2009.

1.8 Mexicali, Baja California

- **Superficie:** 13,700 km^2 (GEBC, 2013).
- **Altitud:** 10 msnm (GEBC, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 998 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular en 2009:** 347 mil vehículos (INEGI, 2014b)[8].
- **Índice de motorización**: 348 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante**: la industria de la transformación y maquiladora en los ramos de alimentos, automotriz, metal, mecánica, electrónica, entre otros, además de la agricultura y el comercio (GEBC, 2013).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Mexicali inició en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA, por sus siglas en inglés), de la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés) y la entonces SEMARNAP. La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos de América y era financiada por la USEPA.

[8] Cifra preliminar.

A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades, la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California, administra la operación del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de Mexicali. La página http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental contiene información general sobre el SMCA y reportes de las mediciones en tiempo real.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son nueve, y los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 9. Cabe mencionar que en la estación UABC se cuenta con monitoreo automático de PM_{10} y $PM_{2.5}$; sin embargo, no se tomó en cuenta en este análisis debido a fallas de operación en los equipos.

Tabla 9. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE MEXICALI Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO O_3	EQUIPO MANUAL PM_{10}
Laguna Campestre	CAMP	√	√
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial	CBTIS	√	
CESPM	CESPM	√	√
Colegio de Bachilleres	COB	√	√
CONALEP	CONALEP		√
Instituto Tecnológico de Mexicali	ITM	√	
Centro de salud	PROGRESO		√
Universidad Autónoma de Baja California	UABC	√	√
Universidad Politécnica de Baja california	UPBC	√	

1.9 Mérida, Yucatán

Superficie: 858 km^2 (GEY, 2014).

Altitud: 10 msnm (INEGI, 2004a).

Población estimada al año 2013: 875 mil habitantes (CONAPO, 2012).

Flota vehicular al año 2013: 442 mil vehículos (INEGI, 2014b)[9].

Índice de motorización: 505 vehículos por cada mil habitantes.

Actividad económica dominante: el comercio, turismo y servicios. En segundo lugar está la industria manufacturera, minería y petróleo (GEY, 2014).

La medición de los contaminantes atmosféricos en Mérida inició operaciones con equipos de alto volumen para las Partículas Suspendidas Totales (PST) por el Gobierno del Estado de Yucatán en los periodos 1994 - 1999, 2001 - 2008.

[9] Cifra preliminar.

Desde entonces la falta de recursos para el mantenimiento y operación, ocasionaron que se dieran de baja estos equipos. Sin embargo, a principios de 2013 se recibió apoyo del Gobierno Federal y se estableció la primera estación automática de monitoreo llamada CEN, por estar ubicada en la zona centro de la ciudad del Mérida (SEDUMA, 2014).

Dicha estación es operada y administrada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) del Gobierno del Estado de Yucatán; los datos generados durante 2013 para $PM_{2.5}$ y O_3 se analizaron en el presente documento.

1.10 Chihuahua, Chihuahua

- **Superficie:** 8,412 km^2 (INEGI, 2004b).
- **Altitud:** 1,440 msnm (INEGI, 2004b).
- **Población estimada al año 2013:** 888 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 439 mil vehículos (INEGI, 2014b).
- **Índice de motorización:** 495 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** La industria de la transformación, principalmente en productos de herrería, elaboración de tortillas de maíz y nixtamal, elaboración de pan y confección de prendas (GMC, 2014).

En noviembre de 2007 inicia la medición continua de la calidad del aire a nivel municipal con la primera estación automática de monitoreo. Se ubica dentro de la principal zona industrial, al interior de las instalaciones del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), institución que, a través de un convenio con el Municipio de Chihuahua, operan dicha estación (INECC, 2014c). La página http://imeca.cimav.edu.mx/ contiene reportes de la calidad del aire en tiempo real.

Las mediciones de PM_{10} y O_3 de la estación CIMAV, para el periodo 2007 a 2013, se tomaron en cuenta para el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento.

1.11 Aguascalientes, Aguascalientes

- **Superficie:** 1,204 mil km^2 (INEGI, 2006b).
- **Altitud:** 1,870 msnm (INEGI, 2006b).
- **Índice de motorización:** 439 vehículos por cada mil habitantes.

- **Población estimada al año 2013:** 841 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 369 mil vehículos (INEGI, 2014b)[10].
- **Actividad económica dominante:** La industria manufacturera, con la fabricación de maquinaria y equipo. Además de la construcción y el comercio (SEGEA, 2014).

En 1997 inició la medición de la calidad del aire en la Ciudad de Aguascalientes con una estación automática en la zona centro; sin embargo, el equipo se deterioró y fue hasta 2005 que se volvió a activar dicha estación.

En 2007 se instaló una nueva estación de monitoreo en el Centro de Educación Ambiental y Recreativo (CEAR) Rodolfo Landeros Gallegos. En 2010, con apoyo del Programa de Egresos de la Federación (PEF) Ramo XVI, se incorporaron dos estaciones automáticas de monitoreo más al SMCA (SMAEA, 2014).

La operación y administración del SMCA está a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado y la página electrónica que contiene información general del SMCA y reportes de calidad del aire es http://www.aguascalientes.gob.mx/IMAE/Calidadelaire/monitoreo.aspx. En el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento, sólo se consideraron las mediciones de O_3 de la estación Secundaria Leyes de Reforma (LEY) del 2013.

1.12 Morelia, Michoacán de Ocampo

- **Superficie:** 1,190 km^2 (Ayuntamiento de Morelia, 2014).
- **Altitud:** 1,920 msnm (INEGI, 2004c).
- **Población estimada al año 2013:** 757 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 425 mil vehículos (INEGI, 2014b)[11] .
- **Índice de motorización:** 562 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** el comercio y los servicios son las actividades más importantes del ayuntamiento, dentro de los que se encuentra la actividad turística. En segundo lugar tenemos el sector secundario, seguido por el primario con actividad agrícola, ganadera y minera (Ayuntamiento de Morelia, 2014).

[10] Cifra preliminar.
[11] Cifra preliminar.

La Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del Gobierno del Estado de Michoacán y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) establecieron en el año 2006 el Programa de Monitoreo Atmosférico, con lo que dio inició la medición de los contaminantes atmosféricos en Morelia con una estación de monitoreo ubicada en el Palacio Municipal del H. Ayuntamiento.

En abril de 2013 inició operaciones la segunda estación de monitoreo en la ciudad, ubicada en Ciudad Universitaria. Las tres instituciones mencionadas se coordinan para administrar, operar y difundir la información del SMCA. La página http://bios.biologia.umich.mx/monitoreo.html contiene reportes de calidad del aire del SMCA.

Es importante mencionar que sólo las mediciones de O_3 de la estación Palacio Municipal se tomaron en cuenta para el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento.

1.13 Irapuato, Guanajuato

- **Superficie:** 786 km^2 (Municipios, 2010).
- **Altitud:** 1,730 msnm (INEGI, 2010).
- **Población estimada al año 2013:** 556 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 147 mil vehículos (INEGI, 2014b)[12] .
- **Índice de motorización:** 264 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** la economía de Irapuato se basa principalmente en la agroindustria, seguida por el sector primario y finalmente el terciario (Ayuntamiento de Irapuato, 2011).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Irapuato inició en 2001 con la estación Teódula (TEO) y en 2002 se sumaron las estaciones Bomberos (BOM) y Secundaria (SEC). La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato, junto con el Patronato para la Calidad del Aire de Irapuato A.C. La página http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/irapuato/ contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes.

Las estaciones automáticas del SMCA de Irapuato y los contaminantes que miden, consideradas en el diagnóstico de la calidad del aire de este documento, se muestran en la Tabla 10.

[12] Cifra preliminar.

Tabla 10. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE IRAPUATO Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO		
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3
Bomberos	BOM	√	√	√
Secundaria	SEC	√		√
Teódula	TEO	√		√

1.14 Ensenada, Baja California

- **Superficie:** 52 mil km^2 (GEBC, 2013).
- **Altitud:** 20 msnm (GEBC, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 503 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 130 mil vehículos (INEGI, 2014b)[13] .
- **Índice de motorización:** 258 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** el comercio tanto de productos alimenticios como de no alimenticios, la agricultura y la ganadería. El municipio también cuenta con una importante actividad turística (GEBC, 2013).

En septiembre del 2011 inició operaciones una estación de monitoreo manual y automática en Ensenada (INECC, 2014). La administración y operación está a cargo de la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California (SPA). El portal electrónico http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental contiene información general sobre el SMCA y reportes de las mediciones en tiempo real.

En el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento sólo se consideraron las mediciones de PM_{10} del muestreo manual y O_3 durante el periodo 2011 - 2013.

1.15 Celaya, Guanajuato

- **Superficie:** 553 km^2 (INEGI, 2006c).
- **Altitud:** 1,750 msnm (INEGI, 2006c).
- **Índice de motorización:** 302 vehículos por cada mil habitantes.

[13] Cifra preliminar.

- **Población estimada al año 2013:** 490 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 148 mil vehículos (INEGI, 2014b)[14].
- **Actividad económica dominante:** las actividades que más aportan al PIB son el comercio y los servicios, en segundo lugar tenemos la industria manufacturera y minería. (INEGI, 2011).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Celaya se inició en 2001 y cuenta con equipos automáticos. La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato y el Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C. La página http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/celaya/ contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes.

Las estaciones tomadas en cuenta para el diagnóstico de la calidad del aire durante periodo de análisis, 2000-2013, son tres, y los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE CELAYA Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO	
		PM_{10}	O_3
Policía	POL	√	√
San Juanico	SJCO	√	√
Tecnológico	TEC	√	√

1.16 Pachuca-Tizayuca, Hidalgo

- **Municipios:** Epazoyucan, Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca, Zapotlán de Juárez, Zempoala y Tizayuca (SEDESOL et al., 2012).
- **Superficie:** 1,273 km^2 (SEDESOL et al., 2012 e INEGI, 2006d).
- **Flota vehicular al año 2013:** 439 mil vehículos (INEGI, 2014b)[15].
- **Índice de motorización:** 260 vehículos por cada mil habitantes.

[14] Cifra preliminar.
[15] Cifra preliminar.

- **Altitud:** Promedio de Pachuca y Tizayuca 2,300 msnm (INEGI, 2005a e INEGI, 2006d).
- **Población estimada al año 2013:** 669 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Actividad económica dominante:** En general en Hidalgo, la principal actividad económica es el comercio y los servicios, seguido por la industria manufacturera (INEGI, 2014c).

El monitoreo de la calidad del aire inició operaciones en 2004 en Pachuca-Tizayuca con equipos manuales. En 2005 comenzó la operación de los equipos automáticos. Durante 2009, el Estado de Hidalgo amplió su capacidad de medición de la calidad del aire con apoyo del Gobierno federal, y se instalaron dos estaciones automáticas de monitoreo más, una en Atitalaquia y la otra en las oficinas del Consejo Estatal de Ecología (COEDE) en la Ciudad de Pachuca (INE, 2010). La administración y operación del SMCA se encuentra a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno del Estado de Hidalgo (SEMARNATH).

La página electrónica de este SMCA tiene información generada por el SMCA y su dirección es: http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 contiene información del SMCA. Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son cinco; los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE PACHUCA-TIZAYUCA Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO O_3	EQUIPO MANUAL PM_{10}
Jardín	Pachuca	JDN	√	
Rehilete	Pachuca	REH	√	
Casa de la Mujer Hidalguense	Pachuca	CMH		√
Instituto Tecnológico de Pachuca	Pachuca	ITP		√
Tizayuca	Tizayuca	TIZ	√	√

1.17 Región Tula-Tepeji, Hidalgo

- **Municipios:** Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepatitlán, Tepeji del Río de Ocampo, Tlahuelilpan,
- **Flota vehicular al año 2013:** 125,594 vehículos (INEGI, 2014b)[16].

[16] Cifra preliminar.

Tlaxcoapan y Tula de Allende. (SEDESOL et al., 2012).

- **Superficie:** 1,354 km^2 (SEDESOL et al., 2012 e INEGI, 2005b).
- **Altitud:** Promedio de Tula y Tepeji 2,090 msnm (INEGI, 2005b).
- **Población estimada al año 2013:** 328 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Índice de motorización:** 383 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** Para el caso de Tepeji del Río la principal actividad económica es la industria de los alimentos. (GMTO, 2014).

La medición de calidad del aire en estas ciudades comenzó en el año 2004 con estaciones manuales distribuidas en varios municipios de la Región Tula-Tepeji. A partir de 2005 se instaló la primera estación automática en la oficinas de la entonces Comisión Estatal de Ecología (COEDE), posteriormente se colocaron cuatro estaciones automáticas adicionales en la citada región. (INE-SEMARNAT, 2011).

La operación y administración del SMCA es responsabilidad de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno del Estado de Hidalgo (SEMARNATH). La página http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage & Itemid=1 contiene información del SMCA.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son nueve; los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 13.

Es importante mencionar que en el documento se hace referencia a la región Tula – Tepeji; sin embargo, en la región también se consideran los municipios de Ajacuba y Tepetitlán que cuentan con estaciones de monitoreo, mismos que se incluyen en el cuadro de información general.

Tabla 13. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE TULA-TEPEJI Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO		EQUIPO MANUAL	
			O_3	SO_2	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Centro de Salud	Atitalaquia	ATI	√	√		√
Primaria Revolución	Atotonilco	ATO	√	√		
Centro de Salud de Tula	Tula de Allende	CSA	√	√		
Hospital Regional de Tula		HRE	√	√		
Clínica de Salud (Jurisdicción Tula)		TJU			√	
Primaria Melchor Ocampo	Tepeji del Rio	TPJ	√			√

Presidencia Municipal	Tepetitlán	TPT				√
Presidencia Municipal	Ajacuba	AJA			√	
Centro de Salud	Tlaxcoapan	TCP			√	

1.18 Salamanca, Guanajuato

Superficie: 774 km^2 (GEG, 2007).

Altitud: 1,721 msnm (GEG, 2007).

Población estimada al año 2013: 272 mil habitantes (CONAPO, 2012).

Flota vehicular al año 2013: 83 mil vehículos (INEGI, 2014b)[17].

Índice de motorización: 307 vehículos por cada mil habitantes.

Actividad económica dominante: Agrícola e industrial. Dominan los sectores eléctrico y petrolero, aunque también está presente la industria química, metalúrgica, del cemento, de alimentos y textil (GEG, 2007).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en Salamanca dio inicio en 1999 con una estación automática. En 2000 y 2002 se adicionaron dos estaciones (INE-SEMARNAT, 2011). La institución responsable del SMCA es el Instituto de Ecología de Guanajuato y el Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C. La página http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/salamanca/ contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son tres, los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DE SALAMANCA Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO AUTOMÁTICO			
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2
Cruz Roja	CR	√	√	√	√
DIF	DF	√	√	√	√
Nativitas	NA	√	√	√	√

[17] Cifra preliminar.

1.19 Silao, Guanajuato

- **Superficie:** 538 km^2 (INEGI, 2002).
- **Altitud:** 1,780 msnm (INEGI, 2002)
- **Población estimada al año 2013:** 182 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular a año 2013:** 37 mil (INEGI, 2014b)[18] .
- **Índice de motorización:** 206 vehículos por cada mil habitantes
- **Actividad económica dominante: e**l comercio y los servicios, en segundo lugar se encuentra la industria y finalmente la industria agropecuaria (GEG, 2012).

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 administración y operación de la estación de monitoreo se encuentra a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato y la Universidad Tecnológica de León (INE-SEMARNAT, 2011). La página http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/silao/ contiene información en tiempo real de las mediciones de los contaminantes. En el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 se consideraron las mediciones de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3.

1.20 Tecate, Baja California

- **Superficie:** 3,079 km^2 (GEBC, 2013).
- **Altitud:** 540 msnm (GEBC, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 108 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 42 mil vehículos (INEGI, 2014b)[19].
- **Índice de motorización:** 389 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** la industria cervecera y la industria maquiladora y, en menor grado, la agricultura, la ganadería, el comercio y los servicios. (GEBC, 2013).

La estación de monitoreo de Tecate inició operaciones en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la USEPA, CARB y la entonces SEMARNAP. La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos de América y era financiada por la USEPA.

A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades, la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California, administra la operación del Sistema de Monitoreo de la

[18] Cifra preliminar.
[19] Cifra preliminar.

Calidad del Aire de Tecate. La página http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental contiene información general sobre el SMCA y reportes de las mediciones en tiempo real.

Las mediciones de PM_{10} manual y O_3 de la estación Tecate para el periodo 2000-2013, se tomaron en cuenta para el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento.

1.21 Playas de Rosarito, Baja California

- **Superficie:** 513 km^2 (GEBC, 2013).
- **Altitud:** 10 msnm (GEBC, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 100 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 35 mil vehículos (INEGI, 2014b)[20] .
- **Índice de motorización:** 356 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** la industria generadora de energía, la industria maquiladora electrónica, seguida por el turismo y el comercio (GEBC, 2013).

La estación de monitoreo inició operaciones en 1996 dentro del Programa Frontera XXI, con financiamiento de la USEPA, CARB y la entonces SEMARNAP.

La operación de la red se llevaba a cabo a través de la empresa TEAM-TRACER de Estados Unidos de América y era financiada por la USEPA. A partir de 2008, mediante un convenio de coordinación para la transferencia de responsabilidades, la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California administra la operación del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de Rosarito. La página http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental contiene información general sobre el SMCA y reportes de las mediciones en tiempo real.

Las mediciones de PM_{10} manual y O_3 de la estación Rosarito para el periodo 2000-2013, se tomaron en cuenta para el análisis de calidad del aire descrito en el presente documento.

[20] Cifra preliminar.

1.22 Distrito Minero de Molango, Hidalgo

- **Municipios:** Lolotla y Xochiacoatlán (SIMAEH, 2014).
- **Superficie:** 381 km^2 (INEGI, 2005).
- **Altitud:** Promedio de ambos municipios 1,620 msnm (INEGI, 2013).
- **Población estimada al año 2013:** 17 mil habitantes (CONAPO, 2012).
- **Flota vehicular al año 2013:** 2,458 vehículos (INEGI, 2014b)[21].
- **Índice de motorización:** 142 vehículos por cada mil habitantes.
- **Actividad económica dominante:** En general en Hidalgo, la principal actividad económica es el comercio y los servicios, seguido por la industria manufacturera (INEGI, 2014c).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos en la Región del Distrito Minero de Molango inició operaciones en 2004 con equipo manual de PST y posteriormente PM_{10} y $PM_{2.5}$ (SEMARNATH, 2014). La institución responsable del SMCA es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo (SEMARNATH). La página http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 contiene información del SMCA.

Las estaciones tomadas en cuenta en el diagnóstico de la calidad del aire en el periodo de análisis 2000-2013 son tres, los contaminantes que mide cada una de ellas se muestran en la
Tabla 15.

Tabla 15. ESTACIONES DE MONITOREO DEL SMCA DEL DISTRITO MINERO DE MOLANGO Y CONTAMINANTES REPORTADOS

ESTACIÓN	MUNICIPIO	CLAVE DE ESTACIÓN	EQUIPO MANUAL	
			PM_{10}	$PM_{2.5}$
Xochicoatlán	Xochicoatlán	XCT		√
Lolotla	Lolotla	LOL		√
Nonoalco Primaria	Nonoalco	PRI	√	

[21] Cifra preliminar.

2. EL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN 22 CIUDADES MEXICANAS

Debido a que la gestión de la calidad del aire tiene el propósito principal de proteger la salud de la población, en este capítulo se presenta un diagnóstico comparativo de la calidad del aire en distintas ciudades que cuentan con Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire. Para ello, se presenta información de 22 SMCA distribuidos en 11 Estados de la República que cuentan con datos para al menos un año en el periodo 2000 a 2013 con respecto a por lo menos uno de los siguientes contaminantes: PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2.

Se evalúa el estado de la calidad del aire prioritariamente con respecto a las NOM en la materia y el análisis que se presenta incluye, para cada una de las ciudades, la revisión de los siguientes indicadores:

a) **Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire**: para todos los contaminantes se evalúa el cumplimiento de las NOM correspondientes, primero, de manera particular para el año 2013, que es el año más reciente con información disponible incluida en este informe, y posteriormente para el periodo completo de 2000 a 2013 se ilustra el comportamiento observado mediante gráficas de series de tiempo de los indicadores propios de 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 el tercer capítulo de este documento.

b) **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 - 2013. Los colores indican el número de días en los que las concentraciones registradas cada año cumplen con alguna de las siguientes condiciones:

- ✓ No excedieron el valor diario normado (verde).
- ✓ No excedieron el valor diario normado, pero se encuentran cercanas a este valor (amarillo).
- ✓ Excedieron el valor diario normado (rojo).
- ✓ No se contó con información suficiente para determinar si se excedió el valor normado (blanco).

Los valores de este indicador para el periodo 2000-2009 pueden ser ligeramente diferentes a los publicados en el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)* (INE-SEMARNAT, 2011), debido a que en este documento se aplicó un criterio de suficiencia de información del 75% para obtener los datos diarios, en tanto que en el Cuarto Almanaque el criterio de suficiencia de información fue del 50%.

Este cambio de criterio se realizó con la idea de tener una mejor representatividad estadística y como consecuencia obtener un indicador más robusto.

c) **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 la ocurrencia de períodos críticos de concentración de contaminantes en cada ciudad o zona metropolitana durante las horas del día, días de la semana y épocas del año. 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.

d) **Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información**: se presenta una tabla con el número de estaciones de monitoreo que, en cada año calendario, registró al menos un 75% de datos válidos, en cada uno de los SMCA analizados.

En adición a los indicadores antes descritos, se incluyen indicadores específicos de acuerdo con la normatividad que les aplica de manera particular. Para facilitar la visualización de los mismos se formaron cuatro grupos de ciudades o zonas metropolitanas con base en el tamaño de su población, teniendo como referencia los datos de población 2013 reportados por el CONAPO (CONAPO, 2012).

- Zonas metropolitanas de más de cuatro millones de habitantes.
- Zonas metropolitanas y ciudades de más de un millón de habitantes y hasta cuatro millones.
- Zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes y hasta un millón.
- Zonas metropolitanas y ciudades de hasta 500 mil habitantes.

En la Tabla 16 se muestra la agrupación de las zonas metropolitanas[22] (SEDESOL et al., 2012) y ciudades, así como la entidad federativa a la que pertenecen, los contaminantes que se reportan para cada una, el periodo de análisis, la fuente oficial de los datos de calidad del aire y la página electrónica del SMCA o de la autoridad responsable de la misma.

[22] 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. También se incluyen a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y políticas urbanas de las zonas metropolitanas en cuestión. Adicionalmente, se define como zonas metropolitanas a 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., 2012).

Tabla 16. ZONAS METROPOLITANAS Y CIUDADES INCLUIDAS EN ESTE INFORME

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	ZONA METROPOLITANA[A]/ CIUDAD	POBLACIÓN[B]	CONTAMINANTES REPORTADOS	PERIODO DE REPORTE	FUENTE	PÁGINA ELECTRÓNICA
Grupo 1: Zona metropolitana con más de cuatro millones de habitantes	Distrito Federal y Estado de México	Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	21,014,856	PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2	2000-2013 $PM_{2.5}$ desde 2003	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal	http://www.aire.df.gob.mx/default.php
	Jalisco	Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	4,676,590	PM_{10} y O_3	2000-2013	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco	http://siga.jalisco.gob.mx/aire/index.html
	Nuevo León	Área Metropolitana de Monterrey (AMM)	4,352,150	PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3	2000-2013 $PM_{2.5}$ desde 2003	Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León	http://www.nl.gob.mx/?P=sima_metropolitano
Grupo 2: Zona metropolitana y ciudades con población de entre un millón y cuatro millones de habitantes	Estado de México	Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)	2,114,267	PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3	2000-2013 $PM_{2.5}$ desde 2011	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	http://portal2.edomex.gob.mx/rama/calidad_del_aire/index.htm
	Baja California	Tijuana	1,670,365	PM_{10} y O_3	2000-2013	Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California California Air Resources Board	http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm
	Guanajuato	León	1,500,011	PM_{10} y O_3	2006-2013	Instituto de Ecología de Guanajuato Universidad Tecnológica de León	http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/leon/
	Chihuahua	Ciudad Juárez	1,400,079	PM_{10} y O_3	2000-2013	Dirección de Ecología del Municipio de Juárez Texas Comission on Environmental Quality (TCEQ)	http://www.juarez.gob.mx/dependencias.php hhttp://www.tceq.state.tx.us/cgi-bin/compliance/monops/yearly_summary.pl?cams=661

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	ZONA METROPOLITANA[A]/ CIUDAD	POBLACIÓN[B]	CONTAMINANTES REPORTADOS	PERIODO DE REPORTE	FUENTE	PÁGINA ELECTRÓNICA
Grupo 3: Zona metropolitana y ciudades de entre 500 mil y un millón de habitantes	Baja California	Mexicali	998,355	PM_{10} y O_3	2000-2013	Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California California Air Resources Board	http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm
	Yucatán	Mérida	875,494	$PM_{2.5}$ y O_3	2013	Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Estado de Yucatán	http://www.seduma.yucatan.gob.mx/
	Chihuahua	Chihuahua	888,439	PM_{10} y O_3	2007-2013	Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV)	http://imeca.cimav.edu.mx/
	Aguascalientes	Aguascalientes	841,408	O_3	2013	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes	http://www.aguascalientes.gob.mx/IMAE/Calidadelaire/monitoreo.aspx
	Michoacán de Ocampo	Morelia	756,954	O_3	2008-2013	H. Ayuntamiento de Morelia Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán de Ocampo	http://bios.biologia.umich.mx/monitoreo.html
	Guanajuato	Irapuato	556,120	PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3	2006-2013 $PM_{2.5}$ en 2013	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Irapuato A.C.	http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/irapuato/
	Baja California	Ensenada	503,512	PM_{10} y O_3	2012-2013	Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California California Air Resources Board	http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	ZONA METROPOLITANA[A]/ CIUDAD	POBLACIÓN[B]	CONTAMINANTES REPORTADOS	PERIODO DE REPORTE	FUENTE	PÁGINA ELECTRÓNICA
Grupo 4: Zonas metropolitanas y ciudades con menos de 500 mil habitantes	Guanajuato	Celaya	490,133	PM_{10} y O_3	2006-2013	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C	http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/celaya/
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca	669,287	PM_{10} y O_3	2013	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo	http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
	Hidalgo	Tula-Tepeji	328,273	PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2	2013	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo	http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
	Guanajuato	Salamanca	271,911	PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3	2006-2013 SO_2 desde 2000 $PM_{2.5}$ en 2013	Instituto de Ecología de Guanajuato Patronato para la Calidad del Aire de Salamanca A.C	http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/salamanca/
	Guanajuato	Silao	182,703	PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3	2006-2013 $PM_{2.5}$ en 2013	Instituto de Ecología de Guanajuato Universidad Tecnológica de León	http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/silao/
	Baja California	Tecate	108,031	PM_{10} y O_3	2000-2013	Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California California Air Resources Board	http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm
	Baja California	Rosarito	100,817	PM_{10} y O_3	2000-2013	Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California California Air Resources Board	http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental http://www.arb.ca.gov/aqd/aqdcd/aqdcddld.htm
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango	17,303	PM_{10} y $PM_{2.5}$	2013	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo	http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

Fuente: [a] SEDESOL, INEGI y CONAPO, 2012. Delimitación de las zonas metropolitanas en México 2010.
[b]CONAPO, 2012. Proyecciones de la población 2010-2030.

2.1 Partículas suspendidas

Las partículas suspendidas son una mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, que permanece suspendida en la atmósfera por periodos variables de tiempo. Por su origen, las partículas pueden definirse como primarias (aquellas producidas directamente por alguna fuente contaminante) o secundarias (las que se forman en la atmósfera, como resultado de la interacción química entre gases y partículas primarias).

Las partículas pueden tener un origen natural y antropogénico. De acuerdo con su diámetro aerodinámico, éstas pueden clasificarse en menores o iguales a 10 micras (PM_{10}), en menores o iguales a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) y menores o iguales a 0.1 micras ($PM_{0.1}$). El tamaño es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento en la atmósfera y por ende, la concentración a la que puede estar expuesta la población; también determina la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías respiratorias.

Las PM_{10} se depositan en la región extratorácica del tracto respiratorio (nariz, boca, naso y laringofaríngе); contienen principalmente materiales de la corteza terrestre y se originan en su mayoría por procesos de desintegración de partículas más grandes. También pueden contener material biológico como polen, esporas, virus o bacterias o provenir de la combustión incompleta de combustibles fósiles.

Las $PM_{2.5}$ están formadas primordialmente por gases y por material proveniente de la combustión, una gran proporción de esta fracción, son secundarias. Se depositan fundamentalmente en la región traqueobronquial (tráquea hasta bronquiolo terminal), aunque pueden ingresar a los alvéolos.

Las partículas ultrafinas ($PM_{0.1}$) son generadas directamente por combustión y actividad fotoquímica. Se depositan mayoritariamente en la región alveolar, incrementando la posibilidad de atravesar la membrana alvéolo capilar hacia el torrente sanguíneo y migrar hacia otros órganos. La composición química de las partículas juega un papel importante en relación a los daños específicos a la salud y varía de un sitio a otro, dependiendo de la fuente de emisión, así como de las condiciones geográficas y meteorológicas. En términos generales, las partículas están formadas por un núcleo de carbono y por compuestos orgánicos e inorgánicos, adheridos a su superficie (DOF, 2014a).

La exposición a material particulado, se asocia con diferentes daños a la salud humana y la magnitud de los efectos depende de las concentraciones que se encuentran en el aire, de la dosis que se inhala, del tiempo y la frecuencia de exposición, así como de las características de la población expuesta. El espectro de efectos en la salud es amplio, pero afectan en particular a los sistemas respiratorio y cardiovascular.

Los eventos 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 y diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de las vías respiratorias, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón (WHO, 2006).

Una evaluación de impacto en salud efectuada por el Instituto Nacional de Salud Pública en la Zona Metropolitana del Valle de México, señala que, pasar de un valor de 50 µg/m^3 de concentración anual de PM_{10} a 40 µg/m^3 evitaría 1,038 defunciones al año, y con una disminución de 20 µg/m^3, se evitarían hasta 2,306 defunciones (Riojas, et. al., 2012).

A partir de la evidencia científica sobre las PM y sus impactos negativos en la salud, la OMS emitió una serie de valores recomendados para que los países en 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/m^3 en el caso de las PM_{10} y 10 µg/m^3 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).

2.1.1 Normatividad

Las normas en materia de contaminación atmosférica son un instrumento regulatorio que contribuyen a que se cumplan los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire a fin de garantizar la protección de la salud de la población. A través de ellas, tanto a nivel nacional como internacional, se establecen los límites máximos permisibles de concentración de las partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el aire ambiente para proteger la salud de la población.

La Figura 1 ilustra el estado actual de la normatividad vigente sobre éste contaminante, tanto en México como en los Estados Unidos de América y la Unión Europea. Igualmente hace referencia a los límites de concentración recomendados por la OMS.

En el caso de México, el 20 de agosto de 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental, valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente y criterios para su evaluación, la cual entró en vigor el 19 de octubre del mismo año en sustitución de la NOM-025-SSA1-1993[23].

En general, existen diferencias importantes entre los estándares de México, Estados Unidos de América, Unión Europea, OMS y California, ya sea en los valores límites permisibles establecidos en cada uno de ellos, en el valor a comparar con el límite permisible o en la frecuencia con que se puede rebasar dicho valor en cada caso. En México, por ejemplo, para evaluar el cumplimiento del límite de PM_{10} de 24 horas, la NOM-025-SSA1-1993 usó el percentil 98[24] y el valor de éste no debía rebasar el límite de 150 µg/m^3, en tanto que la nueva NOM-025-SSA1-2014 establece el máximo de los promedios de 24 horas del año y éste no debe exceder los 75 µg/m^3.

El estándar federal de Estados Unidos de América, así como los de California y la Unión Europea y las Guías de la OMS, al igual que la nueva NOM-025-SSA1-2014, usan el máximo de los promedios de 24 horas como dato base para evaluar el cumplimiento del estándar de PM_{10}, sin embargo, el límite permisible establecido en cada uno de ellos es lo que los hace diferentes.

Mientras en el estándar federal de Estados Unidos de América el valor límite es de 150 µg/m^3, en todos los demás el valor es de 50µg/m^3. Otra diferencia importante es que el estándar federal de los Estados Unidos de América admite que se rebase el límite permisible una vez por año en un periodo de 3 años, mientras que la Unión Europea permite que su límite sea rebasado hasta en 35 ocasiones por año. El estándar de California y las guías de la OMS no permiten que los valores límite se rebasen.

En términos del promedio anual de PM_{10} se puede observar que la nueva NOM-025-SSA1-2014 establece un límite 20% más estricto que el anterior, lo que lo hace igual de exigente que el estándar europeo. Asimismo, este nuevo valor equivale a dos veces el límite usado por California y el recomendado por la OMS.

Con respecto a los límites de $PM_{2.5}$ se observa que la nueva NOM-025-SSA1-2014 establece valores más exigentes que los que le antecedieron. En el caso del límite de 24 horas se produjo una reducción de aproximadamente 31% respecto al límite anterior, pasando de 65 µg/m^3 a 45 µg/m^3. Éste último valor es 28% superior al usado en el estándar federal de Estados Unidos de América y 80% superior al recomendado por la OMS.

---

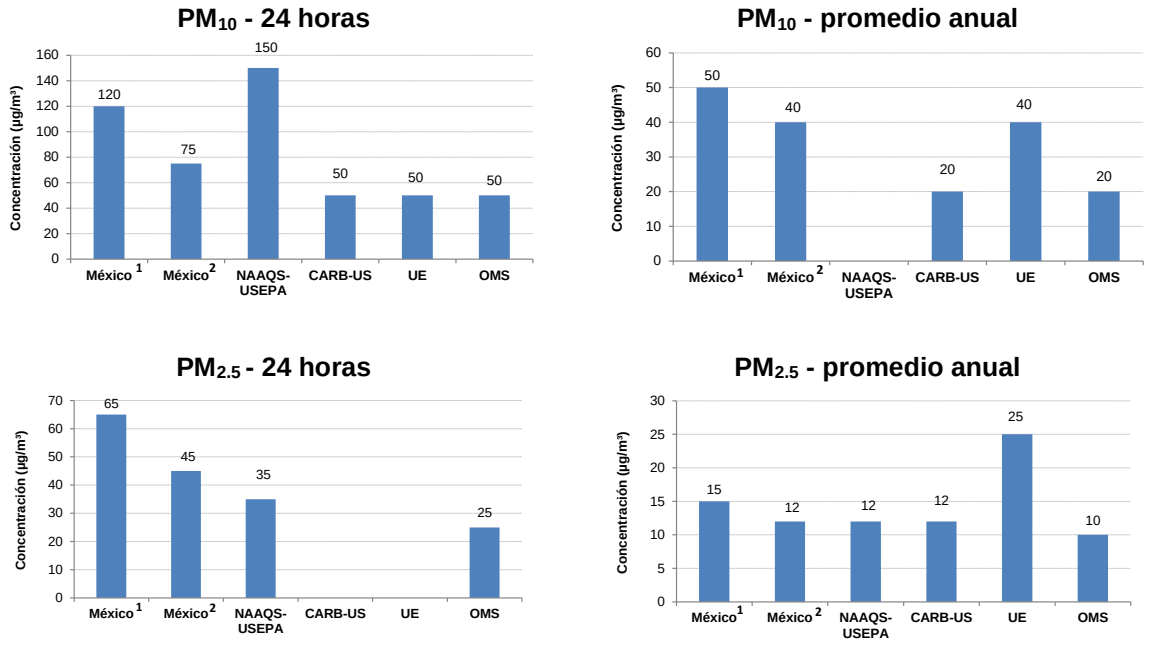
[23] NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.

[24] Percentil 98. Valor de la concentración de partículas, por debajo del cual cae el 98% de todos los valores diarios obtenidos en un año de monitoreo.

Por otra parte, el cambio experimentado en el límite anual hace que éste sea equiparable con el estándar federal de Estados Unidos de América y el de California, aunque aún sigue siendo superior en 20% al valor recomendado por la OMS.

Al margen de los cambios en la normatividad mexicana antes referidos con respecto a las partículas, es oportuno destacar que la descripción y análisis que se hace en este informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas, con relación a este contaminante, toma como referencia la NOM-025-SSA1-1993 del 26 de septiembre de 2005.

Figura 1. LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA PM_{10} Y $PM_{2.5}$ Y NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US) Y UNIÓN EUROPEA (UE))



[1]Límite vigente hasta el 18 de octubre de 2014.
[2] Límite vigente a partir del 19 de octubre de 2014.
Fuente: NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005)
NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014a)
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

2.1.2 Indicadores de la calidad del aire para PM_{10} (2000-2013)

En esta sección se describen las tendencias observadas en la calidad del aire, con respecto a las partículas suspendidas PM_{10}, conforme a la información generada en el periodo 2000 a 2013 por 19 SMCA pertenecientes a las siguientes zonas metropolitanas o ciudades: Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Mexicali, Chihuahua, Irapuato, Ensenada, Celaya,

Pachuca-Tizayuca, Tula-Tepeji, Salamanca, Silao, Tecate, Rosarito y Distrito Minero de Molango.

Los indicadores de la calidad del aire, con respecto a las partículas PM_{10}, calculados de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia de información descritos en la metodología, incluidos en esta sección son:

- Evaluación del cumplimiento de la NOM.

  - ✓ Cumplimiento de los límites de concentración de 24 horas y anual en el año 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración anual (promedio anual de los promedios de 24 horas), en el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 horas), en el periodo 2000 - 2013.

- Número de días con calidad del aire buena, regular y mala, teniendo como referencia los promedios de 24 horas, en el periodo 2000 - 2013.

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

  - ✓ Comportamiento horario para el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Comportamiento diario para el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Comportamiento mensual para el periodo 2000 - 2013.

- Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000 - 2013.

Las PM_{10} se pueden medir con equipo automático o manual. En la Tabla 17 se muestra el tipo de monitoreo que se lleva a cabo en cada una de las ciudades incluidas en este análisis. Como se puede observar, en la mayoría de ellas se miden las PM_{10} con un solo tipo de equipo, automático o manual. Por ello los indicadores de calidad del aire antes referidos se construyeron, para cada ciudad o zona metropolitana, con la información disponible.

Sólo en la ZMVM se hace la medición de PM_{10} con ambos tipos de equipo, y en este caso la evaluación del cumplimiento de la NOM se hace con los datos provenientes del monitoreo manual en congruencia con las recomendaciones de la USEPA, pues se considera que la calidad de los datos generados por este tipo de equipo es mejor en relación con la precisión y el sesgo al contar con un mejor control, en el laboratorio, de la temperatura y la humedad (CFR 40, Partes 50,53 y 58).

El resto de los indicadores de la ZMVM se construyeron con datos provenientes de los equipos automáticos primordialmente porque ofrecen una mayor cobertura temporal y espacial que los generados por los equipos manuales.

Tabla 17. DISTRIBUCIÓN DE CIUDADES DE ACUERDO AL MÉTODO DE MEDICIÓN DE PM_{10}

MONITOREO AUTOMÁTICO (CONCENTRACIONES HORARIAS)		MONITOREO MANUAL (CONCENTRACIONES INTEGRADAS DE 24 HORAS)	
ZMVM	Morelia	ZMVM	Pachuca-Tizayuca
ZMG	Irapuato	Tijuana	Tula-Tepeji
AMM	Celaya	Ciudad Juárez	Tecate
ZMVT	Salamanca	Tijuana	Rosarito
León	Silao	Mexicali	Distrito Minero de Molango
Chihuahua		Ensenada	

2.1.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM

Para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, se analiza el cumplimiento de los límites permisibles de concentración de 24 horas y anual, primero de manera particular para el año 2013 y luego de manera general para el periodo 2000 - 2013.

En la Tabla 18 se muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 24 horas y anual en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia la NOM-025-SSA1-1993. En dicha tabla se puede observar que:

- El límite de 24 horas (120 µg/m^3), sólo se cumple en los SMCA de: ZMVM, León, Irapuato, Ensenada, Salamanca, Silao y el Distrito Minero de Molango.

- El límite anual (50 µg/m^3), sólo se cumple en los SMCA de: Ensenada, Silao y el Distrito Minero de Molango.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de partículas sólo si se satisface con el criterio de suficiencia de información (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, la norma se cumple únicamente en tres de los 19 SMCA incluidos en el análisis: Ensenada, Silao y el Distrito Minero de Molango.

- Los valores más altos del percetil 98 (límite de 24 horas), se registran en Mexicali (438 µg/m^3), Ciudad Juárez (358 µg/m^3) y Pachuca - Tizayuca (301 µg/m^3), en tanto que los más bajos corresponden a Silao (81 µg/m^3), Irapuato (93 µg/m^3) y León (96 µg/m^3).

- Los promedios anuales más altos también se registran en Mexicali (187 µg/m^3), Ciudad Juárez (119 µg/m^3) y Pachuca - Tizayuca (102 µg/m^3), en tanto que los más bajos corresponden al Distrito Minero de Molango (37 µg/m^3), Silao (42 µg/m^3) y Ensenada (47 µg/m^3).

- Los SMCA de Tijuana, Chihuahua, Tecate y Rosarito no generaron información suficiente en 2013 (75% de datos válidos), por lo que no fue posible estimar el indicador para el límite de 24 horas ni para el promedio anual.

- Los SMCA de León, Irapuato y Salamanca cumplen con el límite de 24 horas, pero sus concentraciones promedio anuales son entre 4 y 10% superiores al límite normado.

Tabla 18. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE PM_{10} EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-025-SSA1-1993		
			LÍMITE DE 24 HORAS 120 µg/m³ PERCENTIL 98	LÍMITE ANUAL 50 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-1993
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	114	**64**	**No**
	Jalisco	ZMG	**177**	**74**	**No**
	Nuevo León	AMM	**201**	**82**	**No**
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	**203**	**94**	**No**
	Baja California	Tijuana	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	León	96	**55**	**No**
	Chihuahua	Ciudad Juárez	**358**	**119**	**No**
Grupo 3	Baja California	Mexicali	**438**	**187**	**No**
	Chihuahua	Chihuahua	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	Irapuato	93	**52**	**No**
	Baja California	Ensenada	112	47	Sí
Grupo 4	Guanajuato	Celaya	**165**	**80**	**No**
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca	**301**	**102**	**No**
	Hidalgo	Tula-Tepeji	**284**	**69**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	106	**54**	**No**
	Guanajuato	Silao	81	42	Sí
	Baja California	Tecate	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Baja California	Rosarito	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango	111	37	Sí

D.I. = datos insuficientes

La Figura 2 muestra el estatus de cumplimiento o incumplimiento de la NOM-025-SSA1-1993 con respecto a las partículas suspendidas en el año 2013 en los 19 SMCA incluidos en este análisis, bajo la consideración de que dicha norma se cumple sólo cuando no se rebasa ninguno de los dos valores límite (24 horas y anual).

En ella se puede observar que en 2013 sólo tres de los 19 SMCA evaluados cumplieron con la NOM-025-SSA1-1993. Estos SMCA son los que se ubican en: Ensenada, Silao y el Distrito Minero de Molango. En el resto de los SMCA se incumple al menos uno de los dos límites incluidos en la norma referida.

Figura 2. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE PM_{10} EN 2013

No.	Entidad Federativa	SMCA
1	DF yEstado de México	ZMVM
2	Jalisco	ZMG
3	Nuevo León	AMM
4	Estado de México	ZMVT
5	Baja California	Tijuana
6	Guanajuato	León
7	Chihuahua	Ciudad Juárez
8	Baja California	Mexicali
9	Chihuahua	Chihuahua
10	Guanajuato	Irapuato
11	Baja California	Ensenada
12	Guanajuato	Celaya
13	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca
14	Hidalgo	Tula-Tepeji
15	Guanajuato	Salamanca
16	Guanajuato	Silao
17	Baja California	Tecate
18	Baja California	Rosarito
19	Hidalgo	Distrito Minero de Molango

En el Anexo I se incluye un cuadro que muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 24 horas y anual en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia tanto la NOM-025-SSA1-1993 como la NOM-025-SSA1-2014 que entró en vigor en octubre de 2014. Es importante destacar que, considerando que el cumplimiento o incumplimiento de una norma se da sólo a partir del momento en que ésta entra en vigor, el análisis presentado se hace sólo como un ejercicio para visualizar el impacto potencial del nuevo precepto en el supuesto de que las concentraciones de partículas PM_{10} se mantuvieran en los niveles registrados en 2013.

2.1.4 Evaluación del cumplimiento del límite anual (promedio anual de los promedios 24 horas)

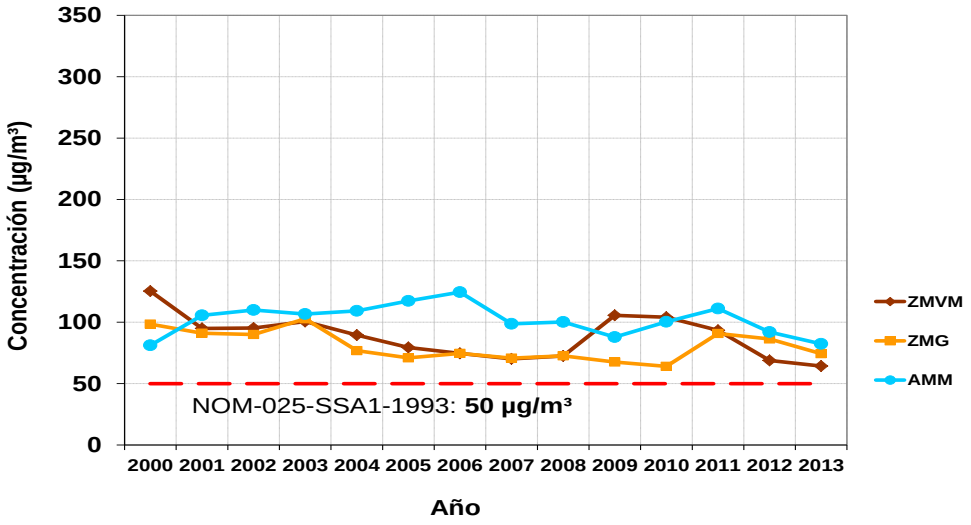
En las figuras de este numeral se presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM-025-SSA1-1993, específicamente el límite anual.

De esta manera, la Figura 3 muestra el promedio anual de los promedios de 24 horas de las PM_{10} para el primer grupo de zonas metropolitanas, en el que se incluye a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y Área Metropolitana de Monterrey (AMM).

En este primer grupo destaca que ninguna de las zonas metropolitanas que lo integran cumplen con el límite anual en todo el periodo analizado. Igualmente destacable es el hecho de que el AMM suele presentar las concentraciones más elevadas, las cuales incluso pueden llegar a ser equivalentes a más de dos veces el valor de la norma como, por ejemplo, en los años 2001 a 2006, 2008, 2010 y 2011.

La ZMVM y la ZMG presentan comportamientos muy similares entre 2001 y 2008, con concentraciones promedio anuales muy próximas, que son equivalentes a entre 1.4 (2007) y dos veces (2003) el valor de la norma. Después presentan comportamientos contrastantes, mientras entre 2009 y 2010 la ZMVM presenta concentraciones más altas que la ZMG con valores superiores a dos veces el valor de la norma, en 2012 y 2013 la ZMG ofrece concentraciones promedio anuales más elevadas que la ZMVM que son al menos 28% más altas que el límite permisible.

Figura 3. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM DEL GRUPO 1



En el segundo grupo de ciudades (Figura 4) destaca que sólo en la ciudad de Tijuana se cumple con el límite anual en todos los años con información disponible del 2005 a la fecha. En las otras tres ciudades que componen este grupo, el límite anual se rebasa en todos los años incluidos en el análisis, siendo Ciudad Juárez la que suele presentar las concentraciones promedio anuales más elevadas, equivalentes a entre dos (en el año 2012) y casi tres veces (en el año 2008) el valor de la norma. Le siguen en orden de magnitud las concentraciones registradas en Toluca, que son equivalentes a entre 1.2 y 2.5 veces el límite permisible, y León cuyas concentraciones en el periodo de análisis son equivalentes a entre 1.15 y 1.7 veces el valor normado.

El comportamiento mostrado por el límite anual en las siete ciudades que pertenecen al Grupo 3 se presenta en la Figura 5. En ella sobresale la escasez de información generada por los diferentes SMCA para evaluar el cumplimiento de esta norma. Mexicali es la ciudad con la serie histórica de datos más completa y destaca, no solo el hecho de no cumplir con el límite especificado en la norma sino también por las altas concentraciones promedio anuales registradas en el periodo de análisis, las cuales llegan a ser equivalentes hasta poco más de cinco veces el valor límite, como se observa en los años 2000, 2004 y 2006.

Figura 4. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM Y CIUDADES DEL GRUPO 2

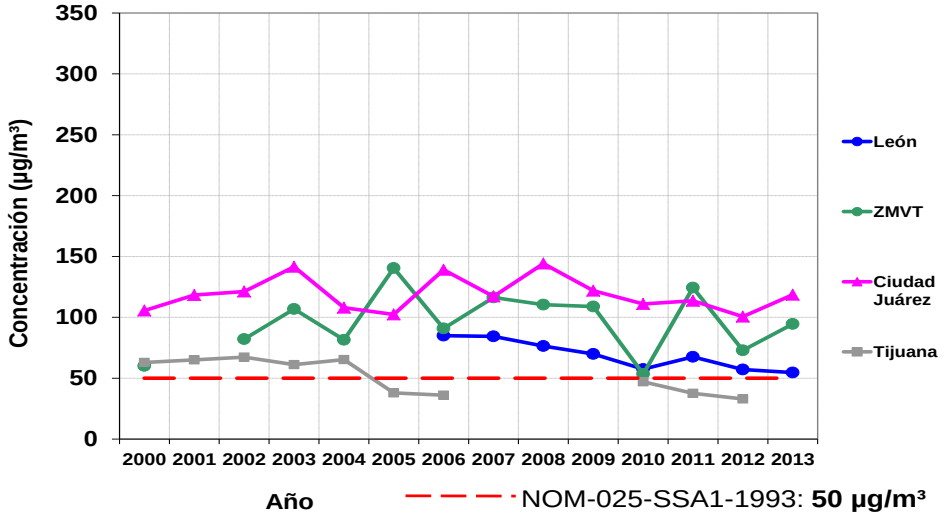
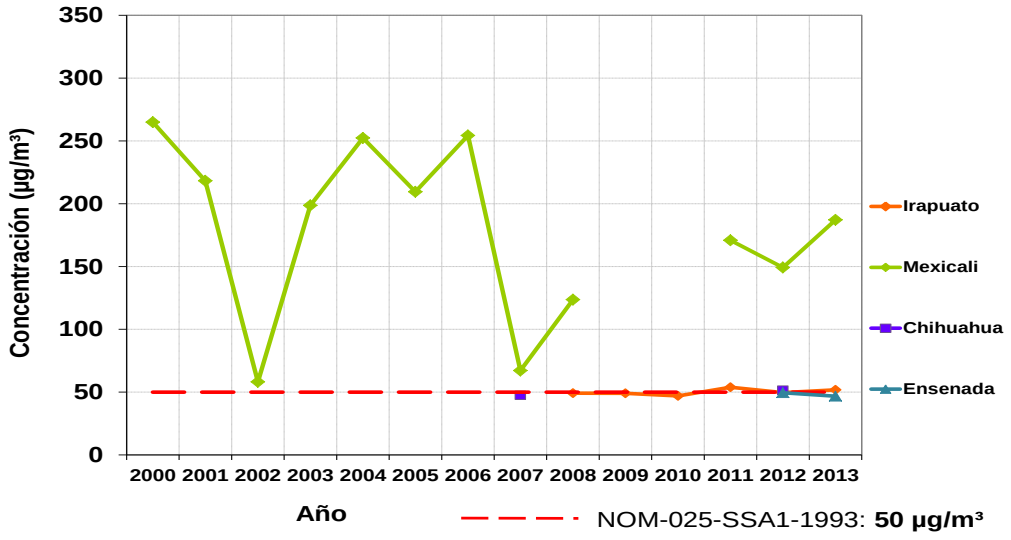


Figura 5. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3

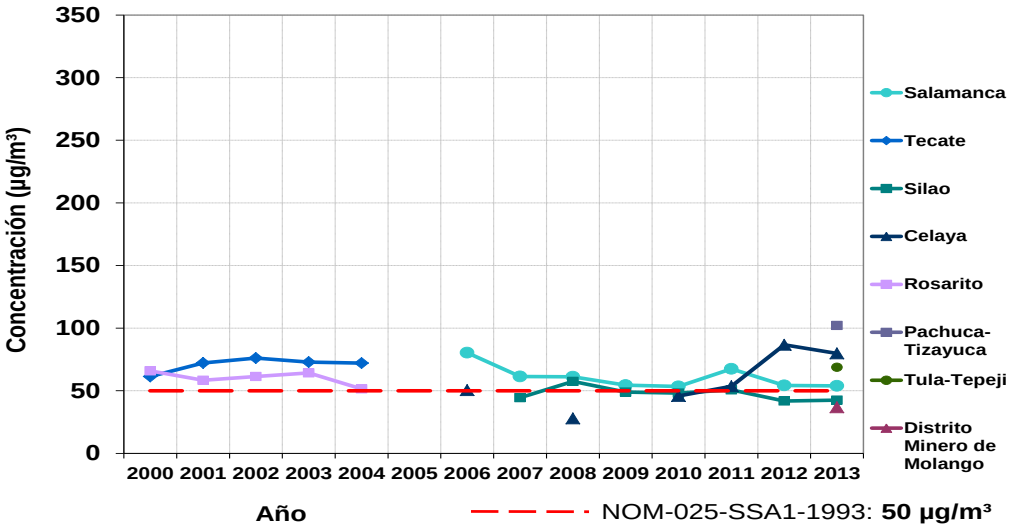


Irapuato presenta la segunda serie de datos más completa, pues reporta información suficiente para evaluar este indicador del 2008 al 2013 y en este periodo sólo las concentraciones promedio anual de 2011 y 2013 son superiores a la norma en 7.8 y 3.6%, respectivamente.

Finalmente, con respecto a este grupo, los SMCA de Chihuahua y Ensenada presentan información sólo para dos años. Mientras en Chihuahua, uno de esos dos registros se ubica por debajo del límite normado (2007) y otro apenas 5% por arriba del mismo (2012), en Ensenada ambos valores son inferiores a la norma (2012 y 2013).

De las ocho ciudades que conforman el grupo 4 (Figura 6), Celaya y Salamanca son las que presentan información para una mayor cantidad de años en el periodo analizado, pues en ambos casos se cuenta con información suficiente para generar el indicador prácticamente para cada año desde el 2006. En estas ciudades destaca que, mientras en Salamanca en ninguno de los años con información disponible se ha cumplido con el límite anual permisible, en Celaya tampoco se ha cumplido con la norma en los últimos tres años de manera continua. En ambos casos se han registrado valores que son al menos 60% superiores a la norma (en 2006 en Salamanca y en 2012 en Celaya).

Figura 6. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4



En las ciudades de Tecate y Rosarito sólo fue posible estimar este indicador para los años 2000 a 2004 y en todos estos años las concentraciones anuales son entre 23 y 46% superiores al establecido en la norma, en tanto que en Silao, que presenta información de 2007 a 2013 solo en los años 2008 y 2011, se incumple con el límite permitido con concentraciones que son superiores entre 2 y 14% al límite permisible.

Pachuca - Tizayuca, Tula - Tepeji y el Distrito Minero de Molango sólo presentan información para el año 2013, y mientras en las primeras dos la concentración promedio anual reportada es superior al límite permisible (y equivalen a 2.4 y 1.4 veces el valor de la norma, respectivamente), en la tercera la concentración reportada es inferior a dicho límite.

2.1.5 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios 24 horas)

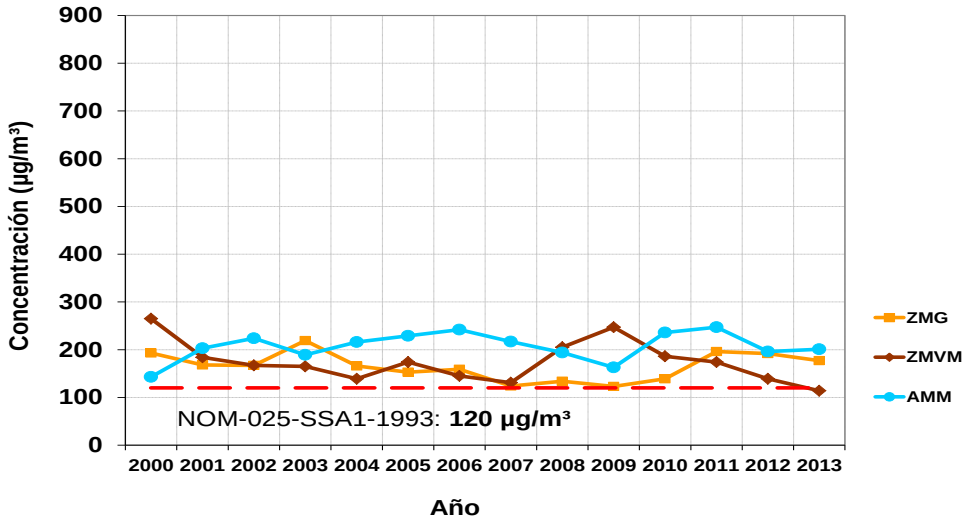
Las figuras incluidas en este numeral presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM-025-SSA1-1993, específicamente el límite de 24 horas.

La Figura 7 muestra el Percentil 98 de los promedio de 24 horas de las PM_{10} registrado en las zonas metropolitanas de Valle de México, Guadalajara y Monterrey. En ella se puede apreciar que comúnmente las concentraciones más elevadas suelen registrarse en el AMM, las cuales pueden llegar a ser muy cercanas o superiores a dos veces el valor de la norma, como por ejemplo en los años 2005, 2006, 2007, 2010 y 2011.

En la ZMVM después de experimentar concentraciones crecientes entre 2007 y 2009, se registra una disminución constante a partir de este último año que lleva al cumplimiento del límite de 24 horas en el año 2013, que es de hecho el único año en el periodo analizado en el que ello ocurre.

En la ZMG, por el contrario, se observa que después del periodo 2007-2009, cuando se estuvo muy cerca de cumplir con el límite normado se presenta una tendencia creciente en la que las concentraciones alcanzan valores que son, al menos, 48% superiores a la norma.

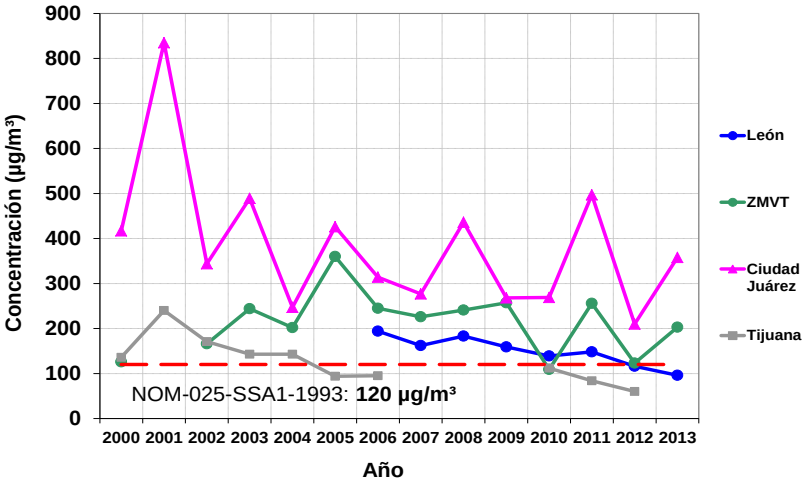
Figura 7. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM DEL GRUPO 1



De las cuatro ciudades que integran el grupo 2 (Figura 8), los SMCA de Ciudad Juárez y Toluca son los que muestran la serie de datos histórica más completa y en ambos casos es apreciable el incumplimiento del límite permisible de 24 horas en todos los años, salvo en 2010 en la ZMVT.

En ambos casos es difícil establecer una tendencia dada la gran variabilidad de los registros de un año a otro. Sin embargo, destaca el hecho de que en las dos ciudades se presentan concentraciones sumamente altas, que en el caso de Ciudad Juárez llegan a ser equivalentes a entre dos (en 2012) y siete veces (en 2001), el límite normado.

Figura 8. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS ZM y CIUDADES DEL GRUPO 2



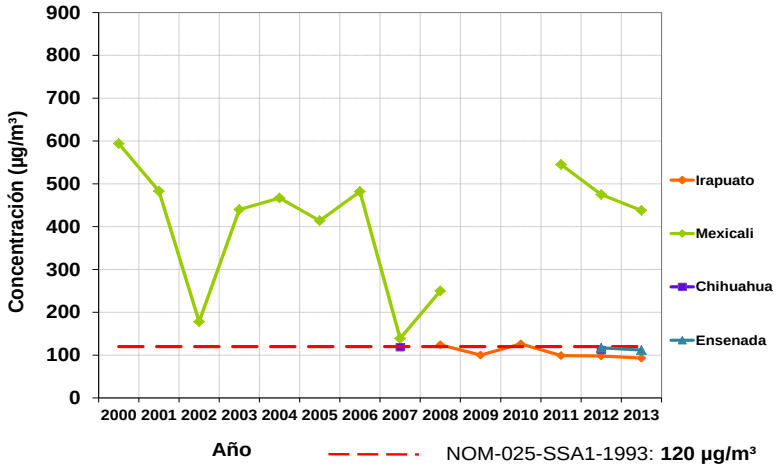
En general, de este grupo de ciudades sólo en Tijuana se cumple con el límite establecido en la norma a partir del año 2005 en todos los años en los que se cuenta con información suficiente para hacer la evaluación del cumplimiento de ésta.

En León sólo se cumple con el límite de 24 horas en los años 2012 y 2013, en tanto que en los años previos las concentraciones registradas llegan a ser hasta 62% superiores a la norma (como en 2006).

De las ciudades que conforman el grupo 3 (Figura 9), es posible observar que sólo Mexicali posee información para la mayor parte del periodo de análisis y ésta revela que en ningún año se ha cumplido con la norma. De hecho, la mayoría de las concentraciones asociadas al percentil 98 se ubican muy por arriba del límite permisible, llegando a ser incluso equivalentes hasta 4.5 veces el valor de la norma en el año 2011.

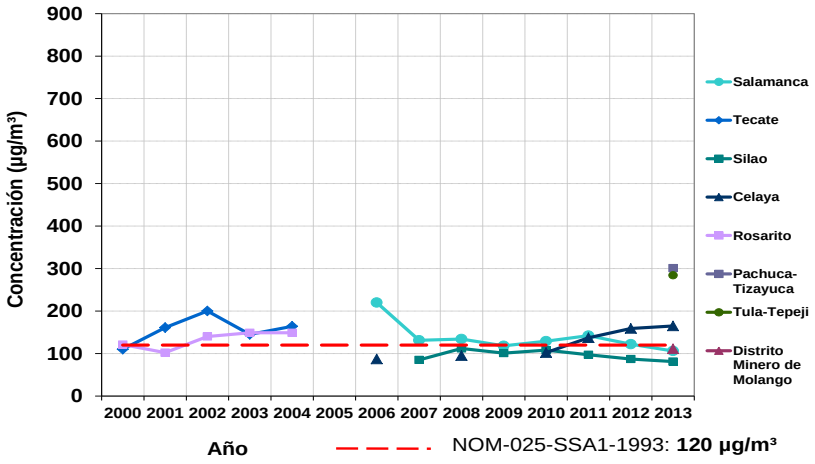
En Irapuato se reportan datos de 2008 a 2013 y en ese periodo la mayoría de las concentraciones registradas son inferiores al límite permisible, salvo en 2008 y 2010 cuando se reportan concentraciones 5% superiores a dicho límite. Chihuahua y Ensenada sólo cuentan con información para dos años en el periodo de análisis y en ambos casos las concentraciones reportadas son inferiores al valor normado.

Figura 9. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3



Con respecto a las ciudades del grupo 4 (Figura 10), destaca el caso de Salamanca por presentar información suficiente para generar este indicador en los ocho años más recientes, aunque en ese periodo sólo en dos años (2009 y 2013) se ha cumplido con el límite normado. En el resto de los años de ese periodo las concentraciones asociadas al percentil 98 han sido entre dos y 83% superiores al límite permisible.

Figura 10. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS PM_{10}, REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4



En Celaya llama la atención que aún con lo pocos datos disponibles, es apreciable una clara tendencia creciente en las concentraciones asociadas al percentil 98, que han llevado al incumplimiento de la norma durante los últimos tres años de manera consecutiva con concentraciones que son entre 14 y 37% superiores a ésta. Silao es el caso opuesto, pues en todos los años con información disponible (2007 a 2013), se ha cumplido con el límite establecido en la norma.

Los SMCA de Pachuca - Tizayuca, Tula – Tepeji y el Distrito Minero de Molango sólo reportan datos para 2013, y en el caso de las primeras dos zonas estas concentraciones son superiores al valor establecido en la norma, en tanto que en el caso de Molango, es inferior a ésta. De este grupo de ciudades también destaca que los SMCA de Tecate y Rosarito no han generado información suficiente para evaluar este indicador desde el año 2005, a pesar de que la información disponible para el periodo 2000 - 2004 revela que en ambos casos hay evidencia suficiente para suponer que existe un problema serio de calidad del aire por material particulado, específicamente PM_{10}, pues en ambas ciudades las concentraciones de 24 horas en la mayoría de los años de ese periodo son superiores al valor normado.

2.1.6 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013)

Este indicador pretende no sólo mostrar la severidad del problema de la calidad del aire por PM_{10} en una ciudad o zona metropolitana en términos del número de días con concentraciones superiores al límite permisible de 24 horas, sino también la tendencia que presentan las concentraciones inferiores, pero cercanas, a este valor.

En este contexto, las siguiente siete figuras ilustran, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las concentración de PM_{10}, de acuerdo con los intervalos definidos en la sección 3.2.3.3 del capítulo 3. El dato base para construir este indicador es la concentración máxima del día de todas las estaciones de monitoreo de una ciudad o zona metropolitana.

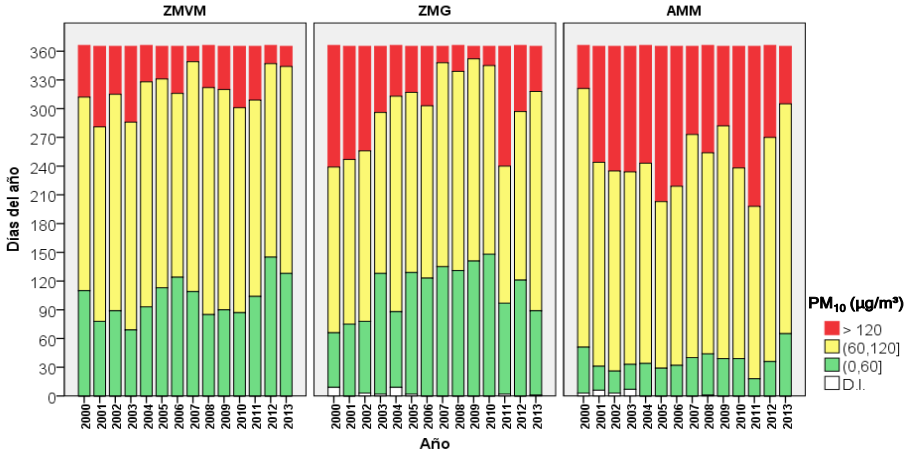
Las zonas metropolitanas que conforman el Grupo 1 (Figura 11) muestran, de acuerdo con la información recopilada a través del equipo automático de monitoreo de este contaminante, un número considerable de días por año con concentraciones superiores al límite normado de 24 horas (rojo), lo que las ubica de acuerdo con este indicador en una situación de mala calidad del aire.

Aun en este contexto se puede destacar que la ZMVM es, en este grupo de zonas metropolitanas, la que suele presentar el menor número de días con mala calidad del aire (rojo) por PM_{10}, ya que estos oscilan entre el 17 y el 23% del total de días por año en el periodo analizado.

Al mismo tiempo, junto con la ZMG, presenta la mayor cantidad de días con buena calidad del aire (verde), especialmente en los tres años más recientes. El número de días con calidad del aire regular (amarillo), oscila entre 192 y 240 días por año, lo que representa entre el 52 y el 66% de los días de cada año, durante el periodo analizado.

En la ZMG es apreciable una marcada tendencia decreciente en el número de días con mala calidad del aire (rojo) entre el año 2000 y 2010. Sin embargo, en 2011 hay un incremento significativo en el número de días en rojo que es comparable al peor año (2000), y a partir de entonces se registra un nuevo descenso que lleva a que en 2013 se presenten 47 días con esta condición, lo que representa el 13% de los días del año.

Figura 11. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM GRUPO 1, EQUIPO AUTOMÁTICO)



En consistencia con el comportamiento anterior, el número de días con buena calidad del aire (verde) muestra una tendencia creciente en el periodo 2000 – 2010, siendo este último año el que muestra el mayor número de días con esta condición (148 días).

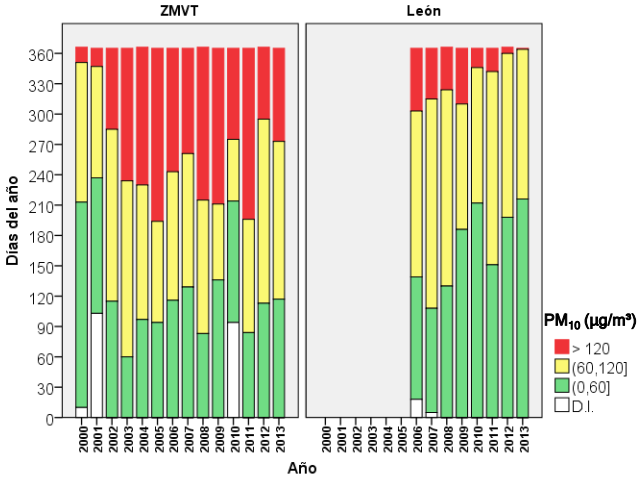
El número de días con calidad del aire regular (amarillo), osciló entre 143 y 229 días por año, lo que representa entre el 39 y el 63% de los días de cada año en el periodo analizado.

El AMM es la metrópoli que presenta la mayor cantidad de días con mala calidad del aire (rojo) en prácticamente todos los años; sin embargo, del 2011 al 2013 se aprecia una ligera mejoría en la que se pasa de 167 a 60 días en rojo. Esta última cifra representa el 16% del total de días del año, y después del año 2000, es la cifra más baja en términos del número de días con mala calidad del aire en todo el periodo analizado.

En congruencia con este comportamiento, también se observa para este mismo periodo de tres años un incremento tanto en el número de días con calidad del aire buena (verde) como regular (amarilla).

La Figura 12 muestra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las PM_{10} medidas con equipo automático en la ZMVT y León, las cuales pertenecen del grupo 2. En ella se observa que, en los años con información disponible y comparable, la ZMVT registra una mayor cantidad de días con mala calidad del aire (rojo).

Figura 12. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM Y CIUDADES GRUPO 2, EQUIPO AUTOMÁTICO)



En general, 2005 es el año con la mayor cantidad de días en rojo (con 171, lo que significa 44% de los días del año), en tanto que el año con menor cantidad de días con esta condición fue el 2000 (con 15, lo que representa el 4% de los días de ese año). Por otra parte, destaca la notable disminución en el número de días con buena calidad del aire (verde) entre el año 2000 y el 2003. En este corto periodo de tiempo se pasó de 203 a solo 60 días con esta condición. Esto es, se pasó de 56 a sólo 16% de los días del año con buena calidad del aire.

A partir de 2004 se observa una recuperación importante en el número de días en color verde; sin embargo, no se han vuelto a alcanzar los niveles registrados en el año 2000. Los días con calidad del aire regular (amarillo) muestran una diferencia notable de un año a otro, aunque de manera general se puede establecer que variaron entre el 17 y 50% de los días de cada año en el periodo analizado.

En esta misma figura se puede observar que la ciudad de León registra una tendencia decreciente destacada en el número de días con mala calidad del aire (rojo) que va de 62 días en 2006 a sólo 1 en el 2013. Igualmente se aprecia una tendencia creciente en el número de días con buena calidad del aire (verde) que sólo se ve interrumpida en el 2011. En general los días con buena calidad del aire (verde), oscilan entre el 28 % de los días en 2007 y el 60% de los días en 2013. Los días con calidad del aire regular (amarillo) oscilan entre el 34 y el 57% de los días de cada año en el periodo de tiempo con información disponible.

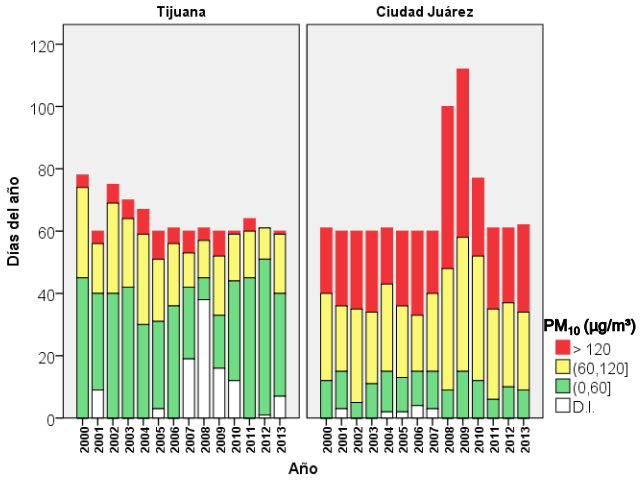
La Figura 13, muestra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a PM_{10} en Tijuana y Ciudad Juárez, que pertenecen, al igual que la ZMVT y León, al grupo 2, pero hacen su medición con equipo manual. En general, este tipo de muestreo se realiza cada seis días; sin embargo, en Ciudad Juárez se realizaron muestreos cada 3 días entre 2008 y 2010, por lo que la escala en esta figura se ajusta a 120 días.

Este ajuste también es útil para el caso de Tijuana, donde a pesar de que el muestreo se hace cada seis días, éste no es simultáneo en todas las estaciones de monitoreo, por lo que en esta circunstancia la escala también supera los 60 días.

En el caso de Tijuana destaca que sólo en el año 2012 no se presentó ningún día con mala calidad de aire (rojo), en tanto que el resto de los años la cantidad de días en rojo osciló entre el 2 y el 15% de días de cada año. También destaca el porcentaje de días con buena calidad del aire (verde) que varía entre el 11 y el 82% de los días de cada año, aunque vale la pena mencionar que el 11% se asocia al año en el que también se registra la mayor cantidad de días con información insuficiente (blanco) para calcular el indicador, que es el 2008. Los días con calidad del aire regular (amarillo) en esta ciudad variaron entre el 16 y el 43% de los días de cada año en el periodo analizado.

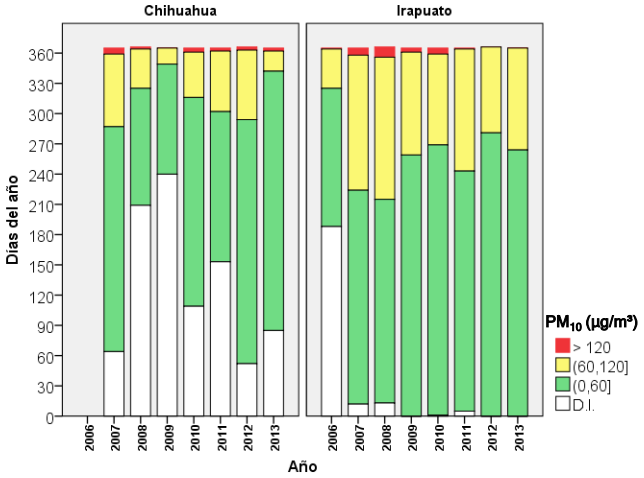
Por lo que toca a Ciudad Juárez, destaca la gran cantidad de días con mala calidad del aire (rojo). Así por ejemplo en todo el periodo analizado dichos días oscilaron entre el 33 y el 52% de los días de cada año. Estas cifras son similares a las observadas con respecto a los días con calidad del aire regular (amarillo) que fue de entre 30 y 52%, lo cual hace aún más evidente que la cantidad de días con buena calidad del aire (verde) en esta Ciudad es muy baja y varía entre el 8 y el 21% de los días de cada año.

Figura 13. DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN ZM Y CIUDADES GRUPO 2, EQUIPO MANUAL)



En el caso de las ciudades que conforman el grupo 3, la Figura 14 muestra la situación de Chihuahua e Irapuato, cuyos SMCA hacen la medición de las PM_{10} con equipo automático. En esta figura se parecía con claridad que en el caso de Chihuahua persiste, durante todo el periodo analizado, un problema de insuficiencia de datos (blanco), siendo esto más evidente entre 2007 y 2010.

Figura 14. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 3, EQUIPO AUTOMÁTICO)



Asimismo destaca el hecho de que sólo en el año 2009 no se presenta ni un día con mala calidad del aire (rojo), situación que si ocurre en el resto de los años, en donde el número de días en rojo, en cada año, osciló entre 2 y 6, lo que representa en ambos casos menos del 2% del total de los días del año. En congruencia con esta tendencia, se observa que el número de días con buena calidad del aire (verde), domina en la mayoría de los años del periodo analizado y en los años en los que no son mayoría son sólo superados por la cantidad de días con información suficiente para generar el indicador.

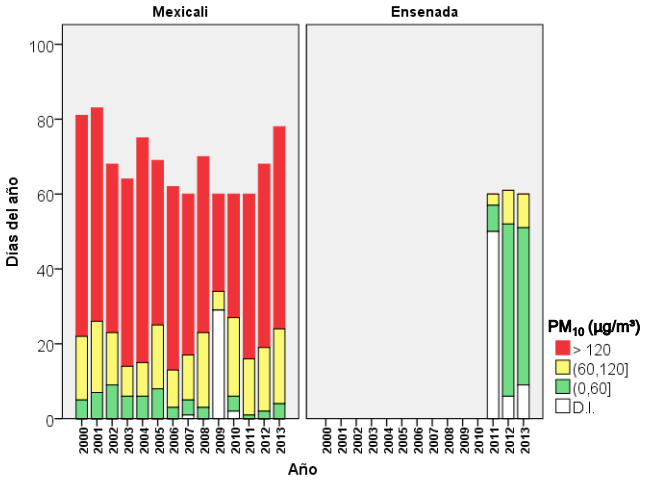
En Irapuato lo que más llama la atención es que en todos los años, salvo en el 2006 donde hay una importante escasez de información (blanco), domina claramente la proporción de días con buena calidad del aire (verde), siendo esto más evidente en los dos años más recientes donde los días con esta condición representan más del 70% del total de días de cada año. La mala calidad del aire (rojo) se presenta, en general, en menos de 10 días por año llegando incluso a no estar presentes como en los años 2012 y 2013.

Continuando con las ciudades que integran el grupo 3, en la Figura 15 se presenta la distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala en Mexicali y en Ensenada, ciudades donde las PM_{10} son monitoreadas con equipo manual. En Mexicali, al igual que en Tijuana, el muestreo se hace cada seis días pero éste no es simultáneo en todas las estaciones de monitoreo, por lo que el número de muestreos realizados es superior a 60 a lo largo del año, lo que hace necesario adecuar la escala en la figura antes referida.

En general, destaca la mala calidad del aire que históricamente ha padecido la ciudad de Mexicali debido a las altas concentraciones de PM_{10}. En todo el periodo analizado, la cantidad de días por año con mala calidad del aire (rojo) oscila entre 43 (en 2009) y 80% (en 2004), en tanto que los días con buena calidad del aire (verde) varían sólo entre 0 (en 2009) y 13% (en 2002), incluso los días con calidad del aire regular (amarillo) suelen ser inferiores a la cantidad de días con mala calidad del aire.

En Ensenada, la situación es radicalmente opuesta a la descrita para Mexicali. En este caso sólo se cuenta con información para los tres años más recientes y en ninguno de ellos se han presentado días con mala calidad del aire (rojo), e incluso la proporción de días con calidad del aire regular (amarillo) es muy baja comparada con la fracción de días por año en los que se registran concentraciones ambientales de PM_{10} que permite calificarla con buena calidad del aire (verde).

Figura 15. DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 3, EQUIPO MANUAL)

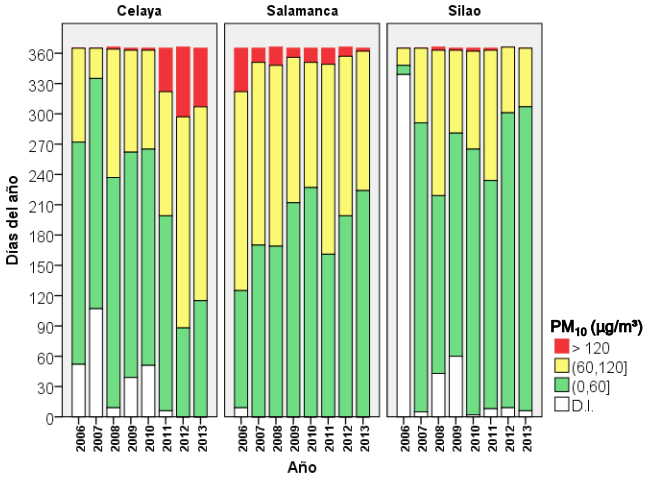


La Figura 16 muestra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las PM10 medidas con equipo automático en las ciudades de Celaya, Salamanca y Silao, las cuales pertenecen al grupo 4. En dicha figura se aprecia que en Celaya se ha presentado un incremento notable en el número de días con mala calidad del aire (rojo) en los últimos tres años, donde aproximadamente entre el 10 y el 20% de los días de cada uno de estos años presenta esta situación.

Por el contrario, en Salamanca se observa una tendencia decreciente en los días con mala calidad del aire y se pasa de un total de 43 días en esta condición en 2006 a 3 en 2013. Silao por su parte muestra pocos días en rojo en todo el periodo analizado, e incluso en los años 2012 y 2013 no se presentan días en esta situación.

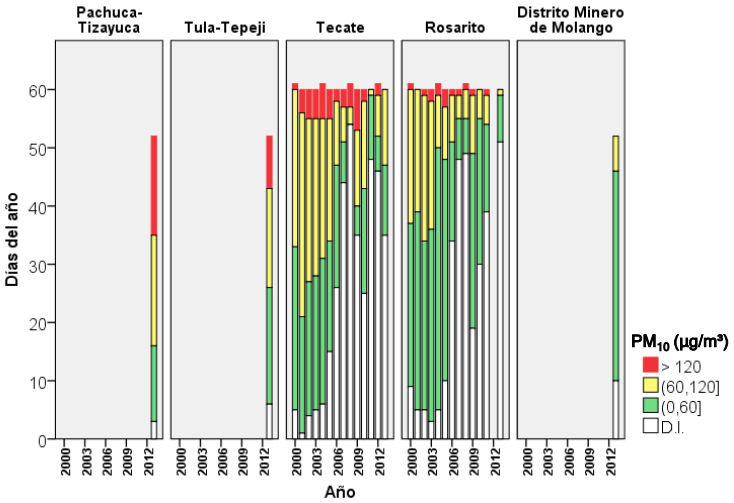
Con respecto a los días con buena calidad del aire (verde) se observa que tanto en Silao como en Salamanca su frecuencia de ocurrencia se incrementa con el tiempo, particularmente en los últimos años tres años, situación contraria al caso de Celaya, donde en todo el periodo de análisis es evidente la tendencia decreciente en el número de días en verde.

Figura 16. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 4, EQUIPO AUTOMÁTICO)



La Figura 17, muestra la situación de las ciudades de Pachuca - Tizayuca, Tula-Tepeji, Tecate, Rosarito y el Distrito Minero de Molango, las cuales también pertenecen al grupo 4, pero hacen su medición con equipo manual. En ella se aprecia claramente que Pachuca - Tizayuca, Tula - Tepeji y el Distrito Minero de Molango, donde el muestreo manual se realiza cada 7 días, presentan información sólo para el año 2013 y el comportamiento observado es distinto.

Figura 17 DISTRIBUCIÓN DE MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA (PM_{10} EN CIUDADES GRUPO 4, EQUIPO MANUAL)



Así, mientras en el Distrito Minero de Molango dominan los días con buena calidad del aire (verde), seguido de los días con calidad del aire regular (amarillo) y no se presenta ni un día con mala calidad del aire (rojo), en Pachuca-Tizayuca dominan los días con calidad del aire regular (amarillo), seguido de los días con mala calidad del aire (rojo) y los días con buena calidad del aire (verde) son los menos frecuentes.

Tula - Tepeji muestra una situación intermedia entre las dos ciudades antes descritas y los días con calidad del aire buena (verde) y regular (amarillo) se presentan casi con la misa frecuencia, en tanto que los días en rojo representan casi el 50% del nivel de ocurrencia registrado en Pachucha - Tizayuca.

Por lo que toca a las ciudades de Tecate y Rosarito, donde el muestreo manual se realiza cada seis días, lo primero que destaca es la gran escasez de información (blanco), particularmente a partir del año 2006, año a partir del cual entre el 42 y el 89% de los días en caso de Tecate y entre el 32 y el 80% de los días en el caso de Rosarito no se cuenta con información suficiente para evaluar la calidad del aire en cada ciudad.

Con la información disponible para evaluar la calidad del aire en estas ciudades se observa que los días con mala calidad del aire (rojo) están presentes prácticamente en todo el periodo de análisis en ambas ciudades, salvo en los años 2001, 2011 y 2013 en Rosarito y en 2011 y 2013 en el caso de Tecate. Los días con buena calidad del aire (verde) son, en general, más frecuentes en Rosarito que en Tecate; sin embargo, en ambos casos representan menos del 50% del total de los días desde al año 2006.

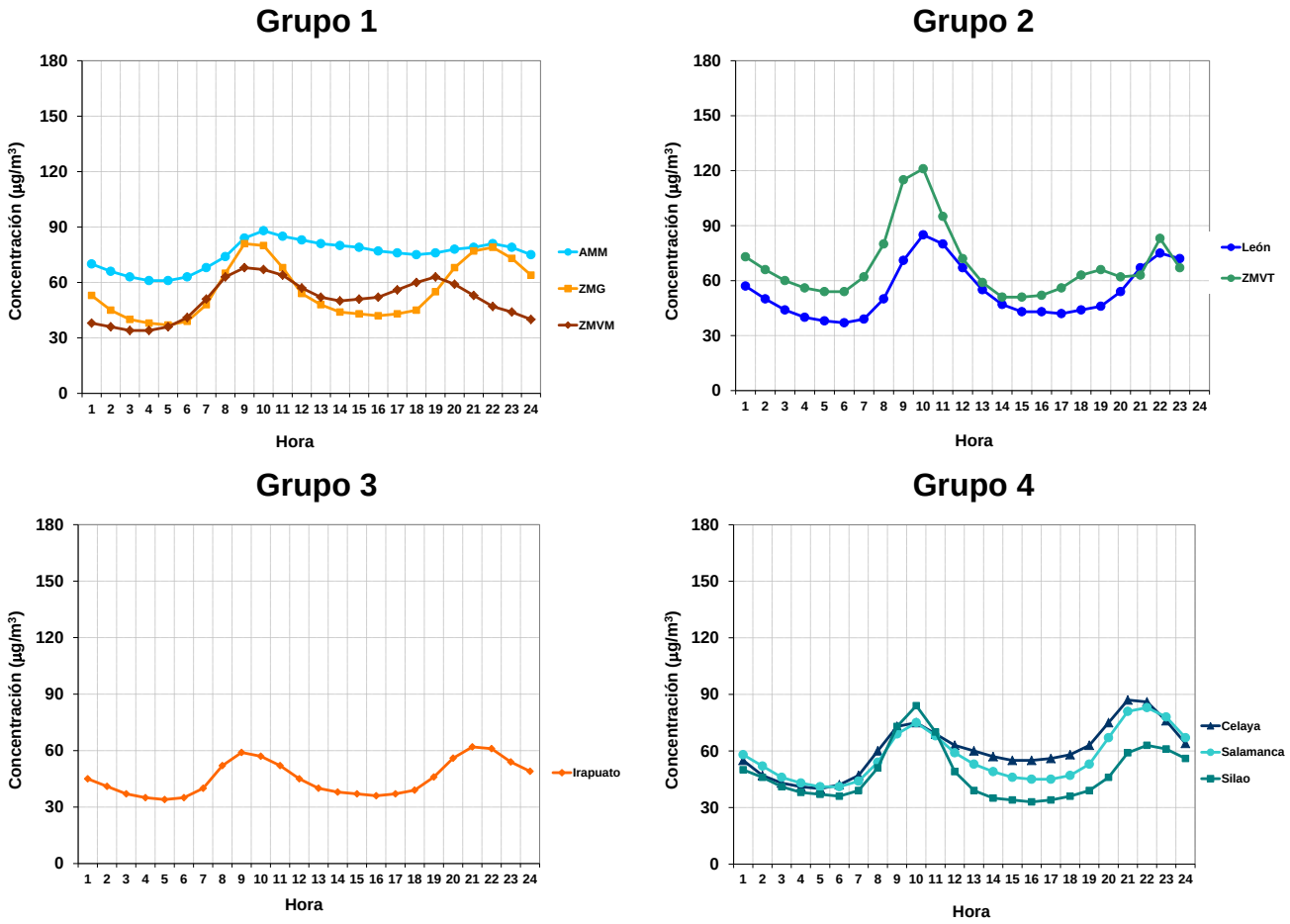
2.1.7 Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año

En esta sección se ilustran, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, el comportamiento de las PM_{10} en diferentes escalas temporales, las cuales incluyen el comportamiento horario, semanal y mensual. Así, la Figura 18 muestra el comportamiento de las concentraciones horarias de las PM_{10} y en ella se puede apreciar con claridad que en la mayoría de las ciudades y zonas metropolitanas el comportamiento del contaminante es bimodal y que las concentraciones horarias más elevadas se presentan por la mañana (entre las 7:00 y las 11:00 horas) y por la tarde-noche (entre las 18:00 y 22:00 horas), coincidiendo con las horas de mayor actividad vehicular.

En la zona metropolitana de Monterrey este comportamiento, aunque está presente, es menos evidente que en el resto de las ciudades. Esto se debe a que las concentraciones horarias se mantienen con poca variación desde las 9 de la mañana hasta las 12 de la noche, probablemente como resultado de la existencia de otras fuentes importantes de este contaminante además de las vehiculares.

Otros dos aspectos que destacan en esta figura son, por una parte, el hecho de que las concentraciones horarias más altas de todas las ciudades se presentan en las Zonas Metropolitanas de Toluca y Monterrey, y por otra parte, que las concentraciones horarias más altas en las ciudades de Irapuato, Celaya y Salamanca se registran por la tarde y no por la mañana, como en el resto de las ciudades.

Figura 18. COMPORTAMIENTO HORARIO DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013)

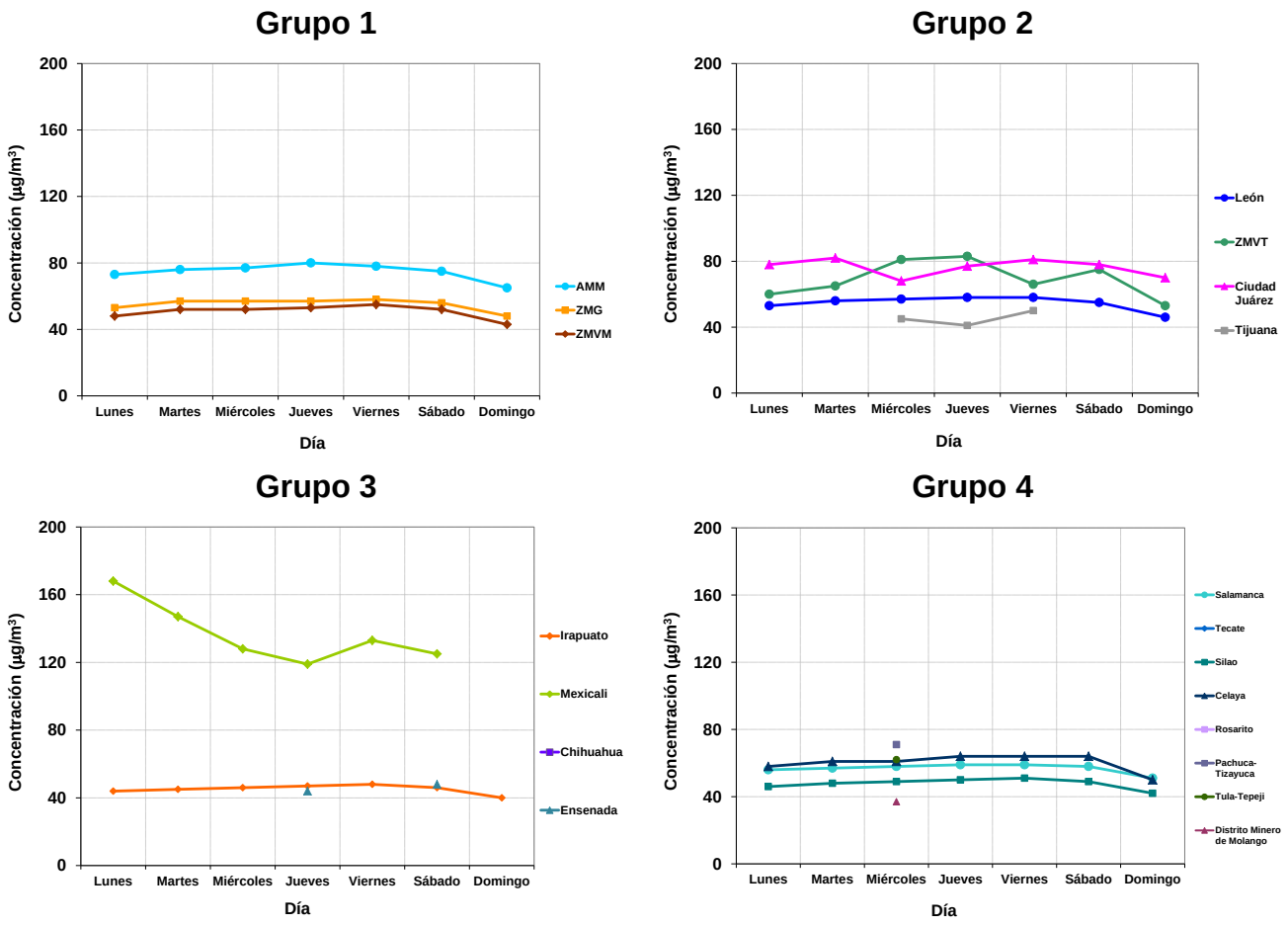


El comportamiento de las concentraciones promedio máximas diarias durante el periodo de análisis (Figura 19) muestra que las diferencias entre los días con la concentraciones más altas y aquellos con las concentraciones más bajas varían entre el 9% (en Ensenada) y el 57% (en la ZMVT).

No hay un patrón claro con respecto al día de la semana con las concentraciones diarias más altas, aunque en la mayoría de las ciudades esto ocurre en día viernes (como en la ZMVM, ZMG, Tijuana, León, Irapuato, Celaya, Salamanca y Silao); hay otras ciudades en las que dichas concentraciones pueden registrarse en lunes (como en Mexicali), martes (como en Cd. Juárez), jueves (como el AMM y la ZMVT) o sábado (como en Ensenada).

Por el contrario, las concentraciones más bajas suelen ocurrir predominantemente en día domingo (como en la ZMVM, ZMG, AMM, ZMVT, León, Cd. Juárez, Irapuato, Celaya, Salamanca y Silao), aunque también se registraron en día jueves (como en Tijuana y Mexicali).

Figura 19. COMPORTAMIENTO DIARIO DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013)



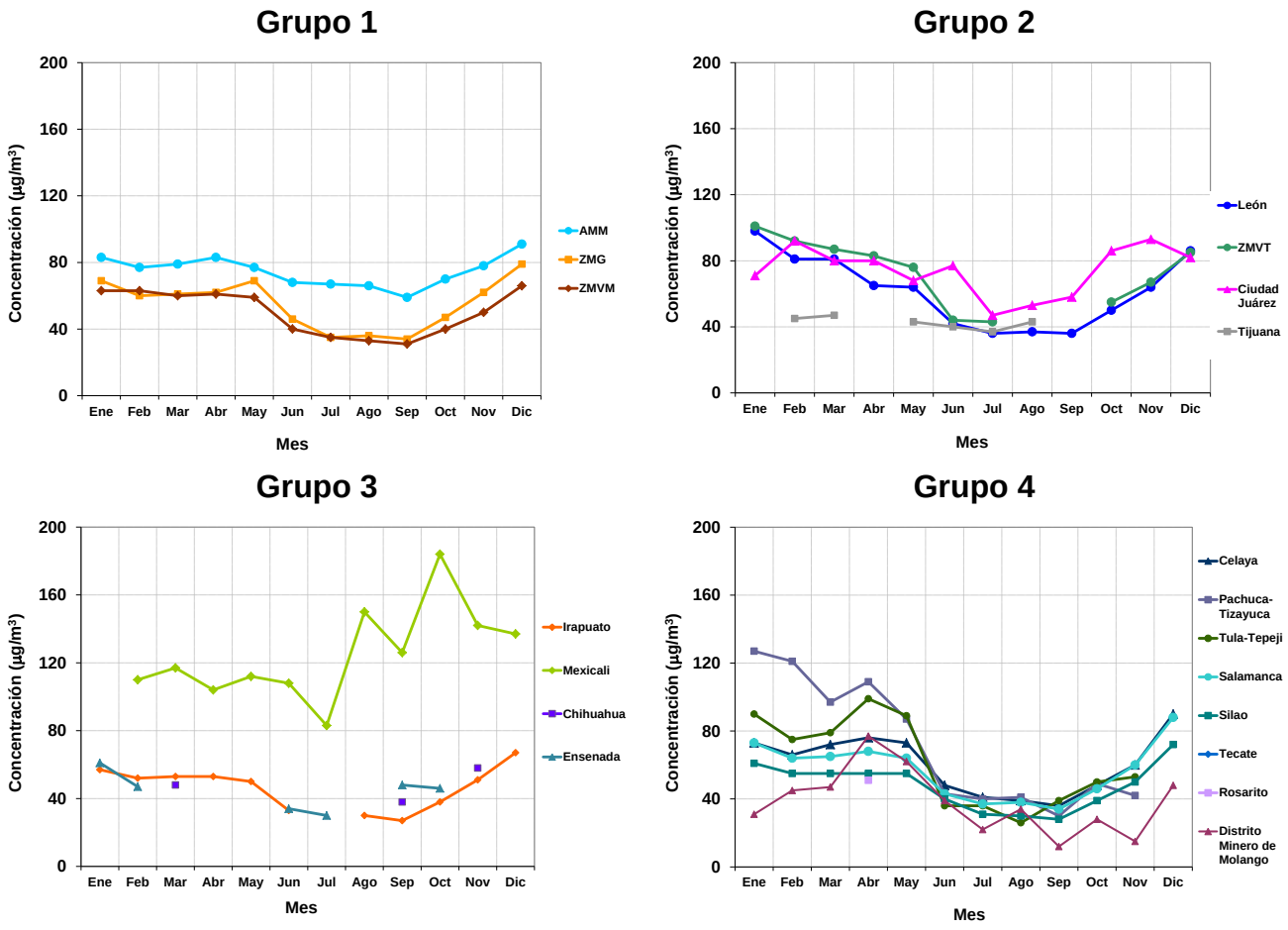
Destaca también el hecho de que las concentraciones promedio diarias más elevadas de todas las ciudades se presentan consistentemente en la ciudad de Mexicali y éstas suelen superar los 110 µg/m^3, le siguen en orden de magnitud la Zona Metropolitana de Monterrey, Ciudad Juárez y Toluca. Por el contrario, las concentraciones diarias más bajas se presentan en la ciudad de Irapuato y nunca superan los 50 µg/m^3.

En la Figura 20 se observa que las concentraciones más altas de PM_{10} a lo largo del año suelen presentarse, en la mayoría de las ciudades analizadas, en los meses fríos del año (noviembre a febrero), en tanto que las concentraciones más bajas coinciden con la época de lluvias (junio a septiembre).

Este comportamiento puede obedecer a que en los meses fríos existe una menor capacidad de dispersión del contaminante en la atmósfera y se facilita su acumulación, así como al hecho de que por tratarse de la época seca del año, ocurre una mayor resuspensión de partículas provenientes del suelo. Por el contrario, en la época de lluvias las partículas son eliminadas por retención y arrastre en las gotas de lluvia, lo que contribuye a la limpieza de la atmósfera.

Destaca también el comportamiento tan particular observado en la ciudad de Mexicali, donde no sólo se presentan las concentraciones más elevadas en todo el año sino que también se observa una alta variabilidad en los registros de un mes a otro, particularmente entre junio y noviembre, donde dichas variaciones oscilan entre 20 y 80%.

Figura 20. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE PM_{10} EN ZM Y CIUDADES MEXICANAS (2000-2013)



2.1.8 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000-2013

Este indicador permite identificar el número de estaciones en donde fue posible generar, al menos, el 75% de datos horarios válidos respecto del total de datos horarios posibles en un año calendario (vease sección de metodología para conocer a detalle la construcción de este indicador).

En la Tabla 19 se puede observar que históricamente el SMCA de la ZMVM es la que tiene el mayor número de estaciones donde se mide de manera automática las PM_{10}, contando actualmente con un total de 20 sitios de medición.

Tabla 19. ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE PM10 POR SMCA (EQUIPO AUTOMÁTICO)

GRUPO	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**ZMVM**	9 de 16	13 de 15	12 de 15	12 de 15	13 de 15	13 de 14	11 de 14	13 de 14	12 de 14	11 de 15	13 de 14	11 de 17	13 de 16	18 de 20
	ZMG	8 de 8	8 de 8	8 de 8	7 de 8	7 de 8	7 de 8	8 de 8	8 de 8	8 de 8	7 de 8	7 de 8	6 de 9	8 de 9	5 de 10
	AMM	4 de 5	2 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 7	7 de 7	7 de 7	8 de 9	9 de 9
Grupo 2	**ZMVT**	4 de 7	0 de 7	6 de 7	7 de 7	6 de 7	7 de 7	5 de 7	3 de 7	3 de 7	3 de 7	0 de 7	6 de 7	3 de 7	6 de 7
	León							1 de 2	2 de 2	2 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3
Grupo 3	**Irapuato**							0 de 3	1 de 3	2 de 3	3 de 3	2 de 3	2 de 3	2 de 3	3 de 3
Grupo 4	**Celaya**							0 de 2	0 de 2	1 de 2	1 de 2	1 de 2	1 de 3	3 de 3	3 de 3
	Salamanca							2 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3
	Silao							0 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1

Entre los años 2000 y 2013 entre el 56% y el 93% de las estaciones en operación cada año generaron información suficiente para cumplir con el criterio de 75% de datos horarios válidos en un año.

El menor porcentaje corresponde al año 2000, lo que obedece a que en dicho año 6 de las estaciones de monitoreo en cuestión empezaron a operar en junio, lo que le imposibilitó alcanzar la meta de 75% de datos horarios posibles en un año.

La ZMG muestra una tendencia negativa con respecto a este indicador, pues a pesar de que en los cuatro años más recientes se incrementó el número de estaciones de monitoreo donde se mide de manera automática este contaminante el porcentaje de estaciones que logra generar al menos el 75% de datos horarios válidos se ha reducido de manera significativa pasando del 100% en el 2008 a sólo el 50% en el 2013.

El AMM por su parte a pesar de haber incrementado el número de estaciones con medición continua de PM_{10} entre 2009 y 2013 ha mantenido una operación satisfactoria de sus equipos, lo que se ve reflejado en el hecho de que en ese mismo periodo entre el 70% y el 100% de las estaciones lograron obtener, al menos, el 75% de datos horarios válidos posibles en cada año calendario.

De las ciudades que conforman el grupo 2, destaca la irregularidad de la operación del SMCA de la ZMVT, pues lo mismo hay años donde ninguna de las estaciones genera información horaria válida suficiente (2001 y 2010), que años en los que el 100% de las estaciones lo consigue (2003 y 2005).

De los tres años más recientes, sólo en 2011 y 2013 más del 80% de las estaciones generaron más del 75% de datos horarios válidos. León, por su parte, empezó a operar equipos automáticos en 2006, y del 2009 a la fecha ha logrado que 100% de sus estaciones de monitoreo generen cada año al menos 75% de datos horarios válidos.

En Irapuato, la medición automática de PM_{10} también inició en el año 2006 en tres estaciones de monitoreo y sólo en los años 2009 y 2013 se ha logrado recopilar, al menos el 75% de los datos horarios válidos, en las tres estaciones. En los demás años, al menos una estación de monitoreo ha fallado en generar tal cantidad de datos.

El SMCA de Celaya cuenta con monitoreo automático de PM_{10} desde 2006 y actualmente dicha medición se hace en tres estaciones de monitoreo, las cuales han logrado generar, en los dos años más recientes, al menos 75% de los datos esperados. Salamanca y Silao cuentan con 3 y 1 estaciones de monitoreo automático de PM_{10}, respectivamente desde que entraron en operación en 2006, y en ambos casos todos sus equipos han generado información horaria suficiente desde el 2007 a la fecha.

Por lo que toca a los equipos manuales de medición de PM_{10}, la Tabla 20 muestra el número de estaciones de monitoreo, por ciudad o zona metropolitana, que han generado al menos 75% de los datos esperados en un año. Aquí se puede observar que en la ZMVM, a diferencia de lo observado con otros contaminantes, el número de estaciones se ha ido reduciendo, y de contar con 12 estaciones de monitoreo manual de PM_{10} en el año 2000 ha pasado a sólo 9 estaciones en 2013.

En cualquier caso destaca el hecho de que en todo el periodo de análisis el 100% de las estaciones de monitoreo ha logrado generar, al menos, el 75% de los datos esperados.

Tijuana y Ciudad Juárez, que pertenecen al grupo 2, muestran tendencias contrarias en cuanto al número de estaciones de monitoreo manual de PM_{10}. Mientras el SMCA de Tijuana ha reducido su número pasando de 5 estaciones en el año 2000 a 4 en el 2013, Ciudad Juárez las ha incrementado de manera notable, pasando de 5 estaciones en el año 2000 a 11 en 2013. Salvo el periodo 2007 a 2009 en Tijuana, en el resto de los años el 100% de las estaciones de monitoreo manual en operación en ambas ciudades generaron al menos 75% de los datos posibles.

Tabla 20. ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE PM_{10} POR SMCA (EQUIPO MANUAL)

GRUPO	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**ZMVM**	12 de 12	12 de 12	12 de 12	12 de 12	11 de 11	11 de 11	11 de 11	10 de 10	10 de 10	10 de 10	10 de 10	10 de 10	10 de 10	9 de 9
Grupo 2	**Tijuana**	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	0 de 5	0 de 4	0 de 5	4 de 4	4 de 4	3 de 3	4 de 4
	Ciudad Juárez	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	4 de 4	5 de 5	3 de 3	5 de 5	9 de 9	11 de 11	11 de 11	11 de 11	11 de 11	11 de 11
Grupo 3	**Mexicali**	6 de 6	6 de 6	5 de 5	5 de 5	6 de 6	6 de 6	6 de 6	6 de 6	6 de 6	0 de 6	6 de 6	6 de 6	5 de 5	5 de 5
	Ensenada												0 de 1	1 de 1	1 de 1
Grupo 4	**Pachuca-Tizayuca**										S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	3 de 3
	Tula-Tepeji					S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	3 de 3
	Tecate	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1
	Rosarito	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	0 de 1	F.O.	0 de 1
	Distrito Minero de Molango														1 de 1

F.O. = Fuera de operación.
S. I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC.
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición

Los SMCA de las ciudades de Mexicali y Ensenada, pertenecientes al grupo 3, muestran un desempeño bastante bueno con respecto a este indicador, pues en ambos casos sólo en un año no fue posible generar información suficiente en ninguna de sus estaciones de monitoreo (2009 en el caso de Mexicali y 2011 en el caso de Ensenada). En el resto de los años en los que se hizo medición, en ambos casos fue posible generar al menos 75% de la información posible en todas las estaciones que operaron en cada ciudad.

De las cinco ciudades que conforman el grupo 4, destacan Tecate y Rosarito por tener la serie histórica más completa de medición manual de PM_{10}. En ambos casos, esta medición se realiza desde al año 2000 en una sola estación de monitoreo y a pesar de ello desde el 2006 en ninguna de estas ciudades se ha podido generar al menos 75% de la información esperada en cada año.

Por otra parte, los SMCA de Pachuca - Tizayuca y Tula - Tepeji, que sólo reportan datos al INECC para el año 2013, indican que al menos para dicho año todas sus estaciones de monitoreo (3 en cada caso) fueron capaces de generar al menos el 75% de la información esperada. Finalmente, con respecto a este grupo de ciudades, el Distrito Minero de Molango inició la medición manual de PM_{10} en 2013 y generó la información mínima esperada de acuerdo con este indicador.

2.1.9 Indicadores de la calidad del aire para $PM_{2.5}$ (2003-2013)

En esta sección se describirán las tendencias observadas en la calidad del aire, con respecto a las partículas suspendidas $PM_{2.5}$, conforme a la información generada en el periodo 2003 a 2013 por 9 SMCA pertenecientes a las siguientes zonas metropolitanas o ciudades: Valle de México, Monterrey, Toluca, Irapuato, Mérida, Tula - Tepeji, Salamanca, Silao y el Distrito Minero de Molango.

Los indicadores de la calidad del aire, con respecto a las partículas $PM_{2.5}$, calculados de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia de información descritos en la metodología, incluidos en esta sección son:

- Evaluación del cumplimiento de la NOM
  - ✓ Cumplimiento de los límites de concentración de 24 horas y anual en el año 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración anual (promedio anual de los promedios de 24 horas), en el periodo 2003 - 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración de 24 horas (percentil 98 de los promedios de 24 horas), en el periodo 2003 - 2013.
- Número de días con calidad del aire buena, regular y mala, teniendo como referencia los promedios de 24 horas, en el periodo 2003 - 2013
- Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año
  - ✓ Comportamiento horario para el periodo 2003 - 2013
  - ✓ Comportamiento diario para el periodo 2003 - 2013
  - ✓ Comportamiento mensual para el periodo 2003 - 2013
- Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2003 - 2013.

Al igual que las PM_{10}, las $PM_{2.5}$ se pueden medir con equipo automático o manual. La Tabla 21 muestra cómo se distribuyen las ciudades de acuerdo con el tipo de monitoreo que se lleva a cabo en ellas. Como se puede observar, en la mayoría de ellas se miden las $PM_{2.5}$ con un solo tipo de equipo, automático o manual. Por ello los indicadores de calidad del aire antes referidos se construyeron, para cada ciudad o zona metropolitana, con la información disponible.

Sólo en la ZMVM se llevan a cabo mediciones con ambos tipos de equipo, sin embargo, 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 provenientes de los equipos automáticos para el resto de los indicadores (vease capítulo de Metodología).

Tabla 21. DISTRIBUCIÓN DE LAS CIUDADES DE ACUERDO AL MÉTODO DE MEDICIÓN DE $PM_{2.5}$

MONITOREO AUTOMÁTICO (CONCENTRACIONES HORARIAS)		MONITOREO MANUAL (CONCENTRACIONES INTEGRADAS DE 24 HORAS)
ZMVM	Mérida	ZMVM
AMM	Salamanca	Tula Tepeji
ZMVT	Silao	Distrito Minero de Molango
Irapuato		

2.1.10 Evaluación del cumplimiento de la NOM

Para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, se hace el análisis del cumplimiento de los límites permisibles de concentración de 24 horas y anual, primero de manera particular para el año 2013 y luego de manera general para el periodo 2003 - 2013.

La Tabla 22 muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 24 horas y anual en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia la NOM-025-SSA1-1993. En dicho cuadro se puede observar que el límite de 24 horas (65 µg/m^3), sólo se cumple en los SMCA de: ZMVM, Mérida y Salamanca y que el límite anual (15 µg/m^3), sólo se cumple en los SMCA de ZMVT y Mérida.

Tabla 22. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE $PM_{2.5}$ EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-025-SSA1-1993		
			LÍMITE DE 24 HORAS 65 µg/m³ PERCENTIL 98	LÍMITE ANUAL 15 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-1993
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	60	**28**	**No**
	Nuevo León	AMM	**D.I.**	**D.I.**	**No**
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	**87**	**42**	**No**
Grupo 3	Yucatán	Mérida	24	11	Sí
	Guanajuato	Irapuato	**D.I.**	**D.I.**	**No**
Grupo 4	Hidalgo	Tula-Tepeji	**497**	**131**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	51[a]	**23**[a]	**No**
	Guanajuato	Silao	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango	**99**	**35**	**No**

[a] El indicador se generó con datos provenientes de una sola estación de monitoreo que cumplió con el criterio de suficiencia de información de un total de tres.

Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de partículas sólo si se satisface con el criterio de suficiencia de información (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, la norma se cumple únicamente en uno de los nueve SMCA incluidos en el análisis, dicho SMCA es el de Mérida.

- Los valores más altos del percentil 98 (límite de 24 horas), se registran en Tula-Tepeji (497 µg/m^3), el Distrito Minero de Molango (99 µg/m^3) y la Zona Metropolitana de Valle de Toluca (87 µg/m^3).

- Los promedios anuales más altos se registran en Tula - Tepeji (131 µg/m^3), Distrito Minero de Molango (35 µg/m^3) y la Zona Metropolitana del Valle de México (28 µg/m^3).

- Los SMCA de AMM, Irapuato y Silao no generaron información suficiente en 2013 (75% de datos válidos), por lo que no fue posible estimar el indicador ni para el límite de 24 horas ni para el promedio anual.

Por otra parte, la Figura 21 muestra el estatus de cumplimiento o incumplimiento de la NOM-025-SSA1-1993 con respecto a las partículas suspendidas $PM_{2.5}$ en el año 2013 en los 9 SMCA incluidos en este análisis, bajo la consideración de que dicha norma se cumple sólo cuando no se rebasa ninguno de los dos valores límite (24 horas y anual).

Figura 21 CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 DE $PM_{2.5}$ EN 2013

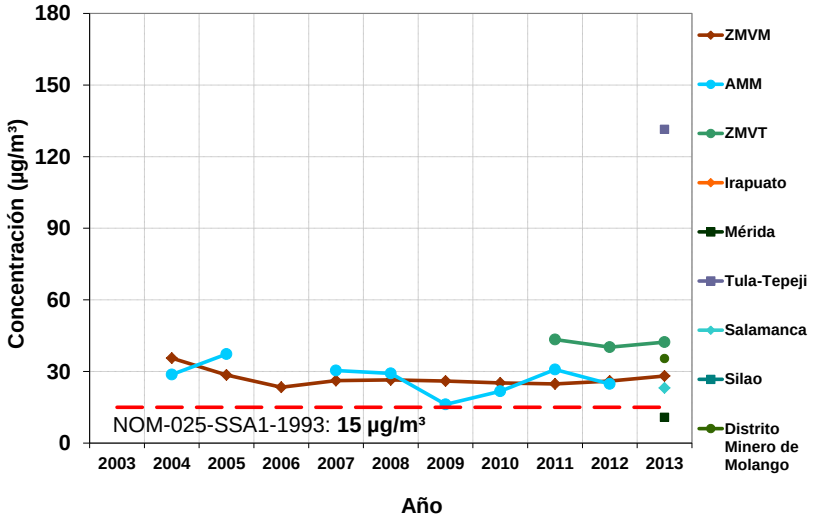
En ella se puede observar claramente que en 2013 sólo el SMCA de Mérida cumplió con la NOM-025-SSA1-1993. En el resto de los SMCA se incumple al menos uno de los dos límites incluidos en la norma referida.

En el Anexo I se incluye un cuadro que muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 24 horas y anual en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia tanto la NOM-025-SSA1-1993 como la NOM-025-SSA1-2014 que entró en vigor en octubre de 2014. Es importante destacar que, considerando que el cumplimiento o incumplimiento de una norma se da sólo a partir del momento en que ésta entra en vigor, el análisis presentado se hace sólo como un ejercicio para visualizar el impacto potencial de la nueva norma en el supuesto de que las concentraciones de partículas $PM_{2.5}$ se mantuvieran en los mismos niveles que los registrados en el 2013.

2.1.11 Evaluación del cumplimiento del límite anual (promedio anual de los promedios 24 horas)

En las figuras de esta sección se presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM-025-SSA1-1993, específicamente el límite anual. De esta manera la Figura 22 muestra el promedio anual de los promedios de 24 horas de las $PM_{2.5}$ de los 9 SMCA considerados en este análisis.

Figura 22. PROMEDIO ANUAL DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE LAS $PM_{2.5}$



En ella se aprecia con claridad que el AMM y la ZMVM son los SMCA que tienen las series históricas más completas con respecto a este indicador y revelan que en ninguno de los años con información disponible se cumple con el límite anual en estas zonas. Del resto de las ciudades incluidas en el análisis sólo Mérida cumple con esta norma en el año 2013. Otros hechos a destacar en esta figura son, por un lado, la escasa información disponible para evaluar este indicador en la mayoría de las ciudades o zonas metropolitanas, siendo el caso extremo las ciudades de Irapuato y Silao, donde no hay información disponible o suficiente para ninguno de los años en el periodo analizado.

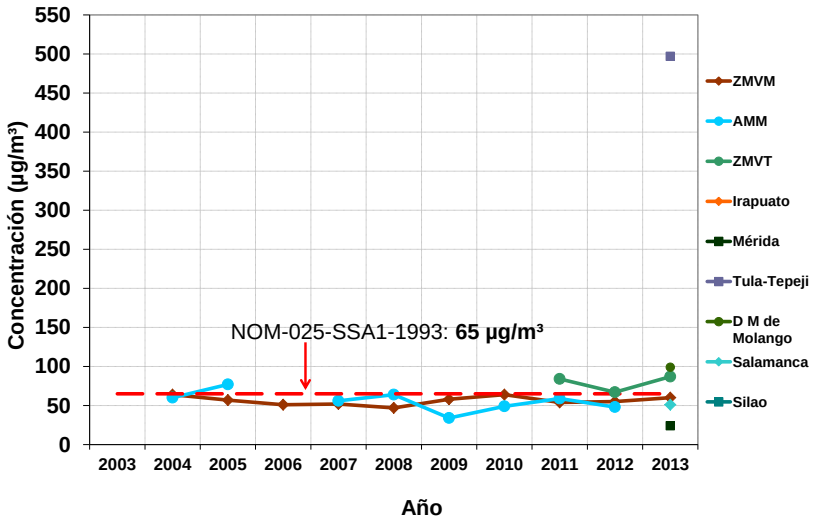
Por otra parte, ciudades como Tula - Tepeji, Salamanca y el Distrito Minero Molango, además de la ZMVT muestran, en los años con información disponible, concentraciones que son superiores al límite permisible que equivalen 1.5 veces dicho valor en el caso de Salamanca, 2.3 veces en el caso del Distrito de Minero de Molango, casi 3 veces en el caso de la ZMVT y casi nueve veces en el caso de Tula - Tepeji.

El valor extremo reportado para la zona de Tula - Tepeji, es un dato validado por las autoridades locales responsables de la gestión del SMCA y las causas probables de dicho valor son tanto las características climatológicas como de actividad industrial que se registra en la zona. La región Tula - Tepeji es considerada una zona árida que con frecuencia reporta grandes tolvaneras, y en ella se observa una importante actividad tanto de la industria cementera y calera como de explotación de varios bancos pétreos.

2.1.12 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas (percentil 98 de los promedios 24 horas)

La Figura 23 muestra el percentil 98 de los promedios de 24 horas de las $PM_{2.5}$ registrado en los 9 SMCA considerados en este análisis. En ella se puede apreciar que sólo en la ZMVM, Mérida y Salamanca se cumple con el límite de 24 horas en todo el periodo analizado, en tanto que en el caso del AMM, sólo en el 2005 se registran concentraciones superiores al valor de la norma y en el resto de los años con información disponible éstas se mantienen por debajo del mismo. La ZMVT sólo presenta información para los tres años más recientes y en todos ellos las concentraciones asociadas al percentil 98 son superiores, entre el 3 y el 34%, al valor normado.

Figura 23. PERCENTIL 98 DE LOS PROMEDIO DE 24 HORAS DE LAS $PM_{2.5}$



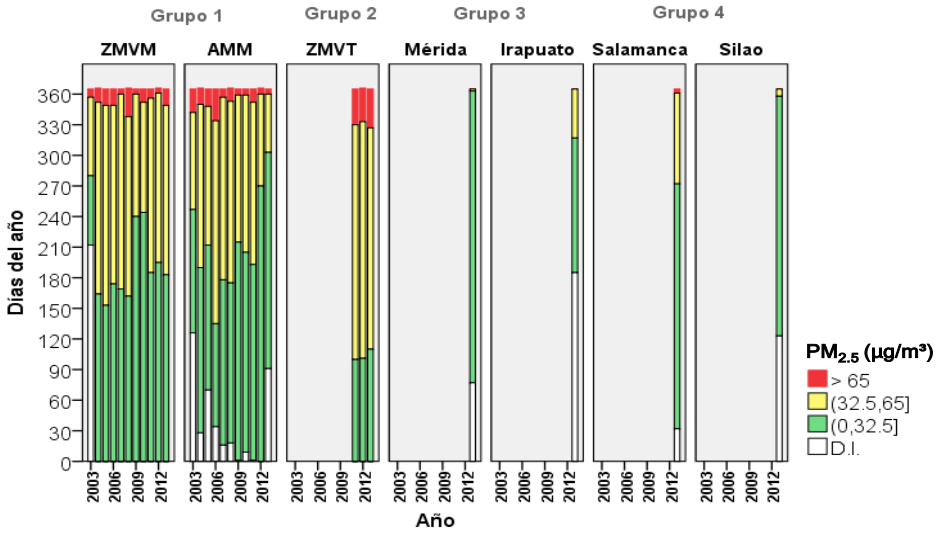
En Irapuato y Silao no hay información disponible o suficiente para ninguno de los años en el periodo analizado, en tanto que Tula – Tepeji y el Distrito Minero de Molango sólo presentan información para el año 2013; en ambos casos las concentraciones registradas son superiores al límite permisible con valores que son equivalentes a 7.6 y 1.5 veces dicho límite. Como ya se explicó anteriormente, el valor extremo registrado en la región Tula - Tepeji puede ser producto tanto de las características climatológicas y como de actividad industrial que se registra en la zona.

2.1.13 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2003-2013)

Las figuras de la presente sección ilustran, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las concentración de $PM_{2.5}$. El dato base para construir este indicador es la concentración máxima del día de los promedios de 24 horas de todas las estaciones de monitoreo de una ciudad o zona metropolitana.

La Figura 24 muestra la situación que se ha registrado en las ciudades o zonas metropolitanas que conforman los grupos 1 a 4 que realizan el monitoreo de este contaminante a través del equipo de monitoreo automático. En ella se puede advertir que la ZMVM y el AMM presentan entre el 1 y el 8% de los días de cada año con mala calidad del aire (rojo), y que a partir del año 2009 en al menos el 50% de los días de cada año se registran concentraciones que permiten calificar la calidad del aire como buena (verde).

Figura 24. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE LAS $PM_{2.5}$ (EQUIPO AUTOMÁTICO)

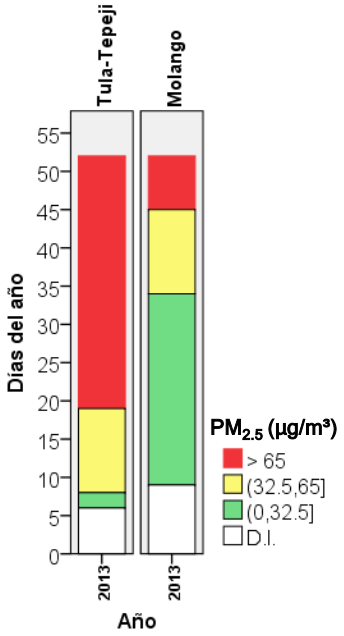


La ZMVT sólo presenta información para los años 2011 a 2013, y en todos ellos se puede notar una distribución muy homogénea en la cantidad de días con calidad del aire buena, regular y mala. Así, por ejemplo, en todos los años se observa que entre 9 y 10% de los días presentan mala calidad del aire (rojo), del 59 al 63% de los días corresponden a una calidad del aire regular (amarillo) y sólo entre 27 y 30% de los días tienen buena calidad del aire (verde).

Mérida, Irapuato, Salamanca y Silao presentan información sólo para el año 2013 y únicamente en Salamanca se registran días con mala calidad del aire, en tanto que en las otras tres ciudades dominan los días con buena calidad del aire (verde) o con información insuficiente (blanco) para estimar el indicador. En todos los casos menos del 25% de los días presentan calidad del aire regular (amarillo).

La Figura 25 ilustra la situación presente en la ciudades de Tula - Tepeji y el Distrito Minero de Molango, donde el monitoreo de las $PM_{2.5}$ se realiza cada siete días con equipo manual. Llama la atención el caso de la región Tula - Tepeji donde el 63% de los muestreos realizados a lo largo del 2013 reportan mala calidad del aire en tanto que en sólo 4% de los días la calidad del aire es buena (verde). En el Distrito Minero de Molango a pesar de que dominan los días con buena calidad del aire (verde), los muestreos que reportan mala calidad del aire son superiores al 10%. En ambos casos, en más del 10% de los muestreos no fue posible estimar, por diferentes razones, la concentración de $PM_{2.5}$.

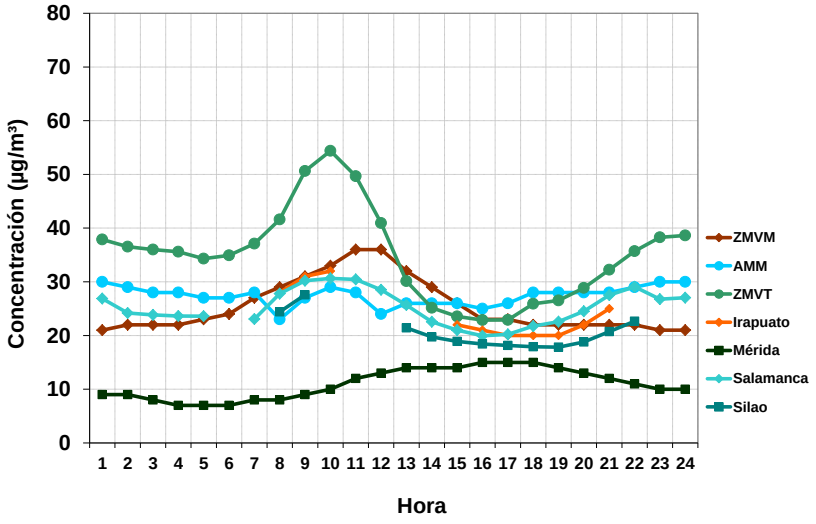
Figura 25 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUESTREOS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE LAS $PM_{2.5}$ (EQUIPO MANUAL)



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

En esta sección se ilustra el comportamiento horario, semanal y mensual de las $PM_{2.5}$. Así, la Figura 26 permite observar la trayectoria de las concentraciones horarias y en ella se puede apreciar que no existe una tendencia que sea común a todas las ciudades en las que fue posible estimar este indicador. De hecho, lo que se observa es que existen patrones diferenciados entre las ciudades, probablemente debido a las características propias del contaminante y sus fuentes de origen en cada sitio. Por ejemplo, en la ZMVT y Salamanca se puede identificar un comportamiento bimodal en el que las concentraciones horarias más elevadas se presentan por la mañana (entre las 8:00 y las 13:00 horas) y por la tarde-noche (a partir de las 21:00 horas).

Figura 26 COMPORTAMIENTO HORARIO DE LAS $PM_{2.5}$ EN 7 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2003-2013)



En la ZMVM la distribución de las concentraciones horarias es unimodal y los registros más altos ocurren entre las 8 y las 14 horas, en tanto que en el AMM no es posible identificar un pico de concentración ya que éstas tienen poca variación a lo largo del día.

En Mérida es apreciable cómo de las 11 a las 21 horas se registran las concentraciones horarias más elevadas, aún sin que éstas sean significativamente mayores a las registradas en el resto del día. En Irapuato y Silao no es posible identificar ningún patrón debido a que no fue posible generar la serie completa de datos horarios debido a que para alguna horas no se contó con información suficiente para ello.

En términos de la magnitud de las concentraciones, es notable cómo en la ZMVT se registran las concentraciones horarias más elevadas.

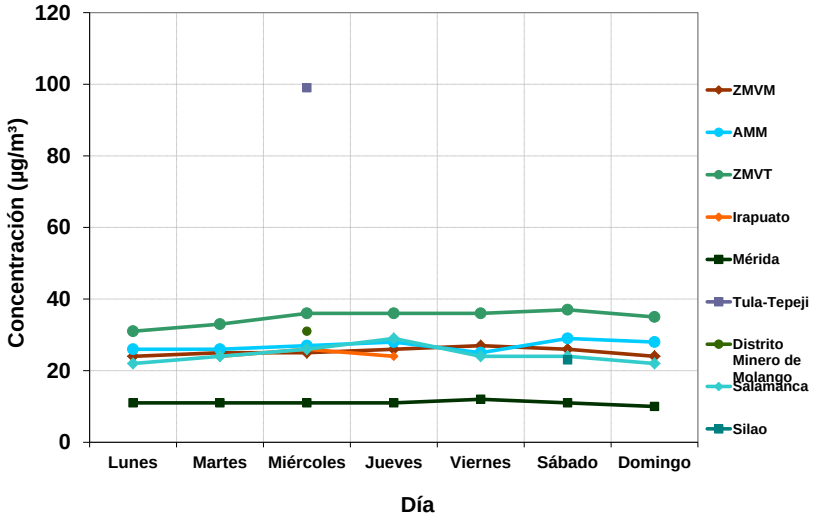
La ZMVM, el AMM y la ciudad de Salamanca muestran un comportamiento muy similar y con muy poca variación en las concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ de cada uno de los días de la semana (Figura 27).

En la ZMVT se registran las concentraciones diarias más elevadas y en Mérida las más bajas, en tanto que Irapuato, Tula - Tepeji, el Distrito Minero de Molango y Silao no es posible identificar ningún tipo de patrón debido a que no fue posible estimar una concentración promedio para todos los días de la semana.

Por ejemplo, en el caso de Tula - Tepeji y el Distrito Minero de Molango solo hay datos para el día miércoles debido a que los muestreos se llevan a cabo cada siete días y por lo tanto siempre caen en el mismo día de la semana.

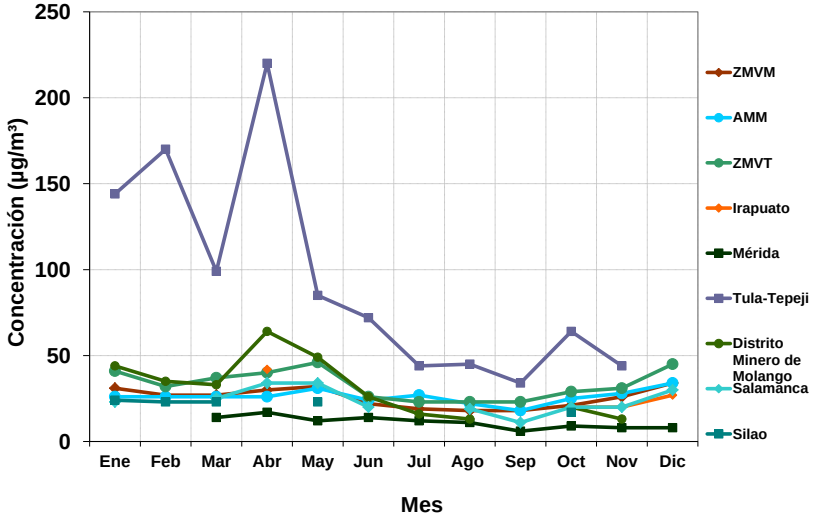
En general, se observa poca variación en los niveles de concentración registrados en los diferentes días de la semana y en todas las ciudades las concentraciones más bajas suelen ocurrir en día domingo o lunes, sin que éstas sean significativamente menores a las registradas en los demás días.

Figura 27. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE LAS $PM_{2.5}$ EN 9 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



Con respecto al comportamiento a lo largo del año, en la Figura 28 destaca el hecho de las concentraciones promedio mensuales más elevadas se registran consistentemente en la región Tula - Tepeji y que, en general, en todas las ciudades las concentraciones más bajas suelen ocurrir en el periodo de lluvias, de julio a septiembre, en tanto que las concentraciones más altas se presentan en los meses fríos y secos del año.

Figura 28. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LAS $PM_{2.5}$ EN 9 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



2.1.15 Número de estaciones de monitoreo con datos suficientes por SMCA, en el periodo 2003-2013

En la Tabla 23 se puede observar que históricamente el SMCA de la ZMVM es la que tiene el mayor número de estaciones donde se mide de manera automática las $PM_{2.5}$ y que en la mayoría de los años ha sido posible que al menos el 90% de las estaciones en operación generen información suficiente para cumplir con el criterio de 75% de datos diarios válidos en un año.

Sólo en los años 2009, 2011 y 2012 el porcentaje de estaciones que alcanzó esta meta osciló entre 67 y 77%. Mención aparte merece el año 2003 cuando ninguna de las estaciones de monitoreo en operación lo consiguió, debido a que los equipos de medición entraron en operación en agosto de ese mismo año.

Tabla 23. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE LAS $PM_{2.5}$ POR SMCA, EQUIPO AUTOMÁTICO

GRUPO	SMCA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	ZMVM	0 de 8	8 de 8	8 de 8	8 de 8	8 de 9	9 de 9	6 de 9	8 de 9	8 de 11	10 de 13	13 de 13
	AMM	0 de 5	2 de 5	0 de 5	0 de 5	1 de 5	3 de 5	1 de 7	3 de 7	5 de 6	5 de 7	0 de 6
Grupo 3	ZMVT									6 de 7	3 de 7	6 de 7
	Mérida											1 de 1
	Irapuato											0 de 1
Grupo 4	Salamanca											0 de 3
	Silao											0 de 1

Esta misma tabla pone en evidencia que en el AMM ha habido problemas para operar adecuadamente el equipo de monitoreo automático de $PM_{2.5}$, pues sólo en los años 2011 y 2012 ha sido posible que más del 70% de las estaciones en operación generen información suficiente para cumplir con el criterio de 75% de datos diarios válidos en un año. En los demás años incluidos en el análisis el porcentaje de estaciones que han alcanzado esta meta oscila entre 0 y 60%. El año 2003, se puede asumir como excepción debido a que los equipos empezaron a operar en mayo de ese año.

La ZMVT presenta un buen desempeño con respecto a este indicador, pues de los tres años para los que reporta información en dos de ellos (2001 y 2013), el 85% de las estaciones en operación (6 de 7) han generado información suficiente para cumplir con el criterio de suficiencia de 75% de datos diarios válidos en un año. En 2012 esto fue posible sólo en 3 de las 7 estaciones de monitoreo automático en operación.

Mérida, Irapuato, Silao y Salamanca reportan datos para el año 2013. Las primeras tres ciudades lo hacen sólo para una estación de monitoreo, que en el caso de Mérida cumple con el criterio de suficiencia, en tanto que Irapuato y Silao no lo consiguen. Salamanca tiene tres estaciones en operación y ninguna de ellas generó al menos 75% de los datos diarios válidos esperados.

La Tabla 24 muestra el mismo indicador antes referido pero para las ciudades en las que se realiza el monitoreo a través de equipo manual. Aquí se puede observar que nuevamente el SMCA de la ZMVM es la que tiene el mayor número de estaciones donde se mide de manera manual las $PM_{2.5}$ y en este caso en todos los años todas las estaciones de monitoreo consiguen generar al menos el 75% de los datos esperados en un año. El año 2003, como se ha dicho antes, es la excepción debido a que los equipos empezaron a operar en agosto de dicho año.

Tula - Tepeji y el Distrito Minero de Molango reportan datos sólo para 2013 y en ambos casos, todas las estaciones en operación consiguen generar al menos 75% de los datos esperados en un año.

Tabla 24 NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE LAS $PM_{2.5}$ POR SMCA, EQUIPO MANUAL

SMCA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ZMVM	0 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7
Tula-Tepeji											3 de 3
Distrito Minero de Molango											2 de 2

2.2 Ozono (O_3)

El problema de la contaminación atmosférica por ozono presenta una naturaleza compleja, entre otras razones, debido a que la concentración de este contaminante es resultado de una multiplicidad de procesos que se producen en el seno de la atmósfera a partir de la emisión de sustancias precursoras (como los óxidos de nitrógeno -NOx y los compuestos orgánicos volátiles -COV), que son transportadas y transformadas químicamente en presencia de luz solar. Las emisiones de contaminantes debido a la actividad humana (como por ejemplo el tráfico, las industrias, etc.) contribuyen a la formación de ozono en la atmósfera, siendo la causa principal de los niveles de contaminación por este contaminante en los últimos años.

Desde el punto de vista químico, el ozono es un gas con un alto poder oxidante, que en concentraciones elevadas tiene efectos adversos sobre la salud humana, la vegetación y los materiales. La principal vía de afección al ser humano se produce a través del intercambio de gases en el proceso respiratorio. La respuesta varía mucho entre individuos por razones genéticas (capacidad de respuesta antioxidante de las células), edad (los niños y las personas mayores son los grupos más sensibles), y por la presencia de afecciones respiratorias (como alergias y asma).

Durante episodios de elevada concentración de ozono no resulta aconsejable la práctica de actividades físicas, ya que al aumentar el ritmo de la respiración se incrementa la entrada de ozono en los pulmones.

La exposición a ozono ambiental puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar o agravar problemas de asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan.

Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan 0.3% y 0.4%, respectivamente, con un aumento de 10 $\mu g/m^3$ en la concentración de ozono (WHO, 2014).

Por otro lado, estudios epidemiológicos realizados en la Zona Metropolitana del Valle de México han encontrado evidencia que asocia al O_3 con un incremento en las tasas de mortalidad (CAM, 2002), en las visitas a salas de emergencia por asma (CAM, 2002) y por infecciones respiratorias (Evans et al., 2002), así como en los síntomas de padecimientos de las vías respiratorias altas (Borja et al., 2000).

El ozono también es responsable de ciertas complicaciones respiratorias en niños asmáticos y de la aparición de patrones de variabilidad en la frecuencia cardiaca en adultos mayores.

Con base en la evidencia científica proporcionada por numerosos estudios epidemiológicos, la OMS establece las pautas para la protección de la salud con respecto a la calidad del aire que respira la población. Para el ozono, la OMS recomienda a todos los países que adopten como límite máximo el valor de 100 µg/m³ (0.05 ppm) como máximo diario para la concentración promedio móvil de 8 horas.

De la misma manera que para otros contaminantes, dicha organización exhorta a los países en los que no se cumplan los valores recomendados para que establezcan un plan de manera que, gradualmente, se cumpla un objetivo intermedio (denominado OI-1) a fin de alcanzar, en el menor tiempo posible, el límite recomendado (WHO, 2006).

2.2.1 Normatividad

La FIGURA 29 ilustra el estado actual de la normatividad vigente en materia de ozono, tanto en México como en los Estados Unidos de América y la Unión Europea. Igualmente hace referencia a los límites de concentración recomendados por la OMS.

En el caso concreto de México es oportuno destacar que el 19 de agosto de 2014, se publicó en el *Diario Oficial de la Federación*, la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O_3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación, la cual entró en vigor el 18 de octubre del mismo año.

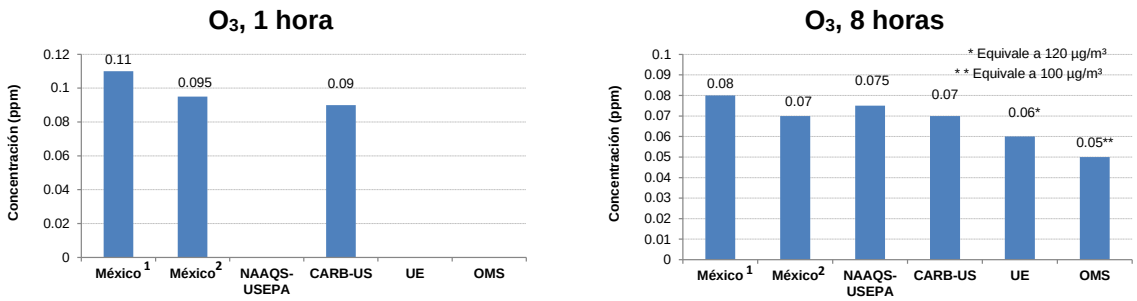
La actualización de la Norma Oficial Mexicana antes referida establece límites permisibles de concentración de ozono, de 1 y 8 horas, más estrictos que los definidos en la norma anterior (NOM-020-SSA1-1993[25]) del 30 de octubre de 2002.

En el caso del límite de una hora (0.095 ppm como promedio horario, el cual nunca debe ser rebasado), es 14% más riguroso que el anterior y sólo 6% más laxo que el estándar vigente en California, Estados Unidos de América de América. En la OMS no existe recomendación con respecto a este lapso de tiempo y la Unión Europea no cuenta con un estándar similar. Finalmente, es importante destacar que el estándar nacional en Estados Unidos de América para este periodo fue revocado desde 1997.

Con respecto al promedio móvil de 8 horas, existen diferencias entre los estándares de México, Estados Unidos de América, Unión Europea, OMS y California, tanto desde el punto de vista del valor límite, como de la frecuencia con que se puede rebasar dicho valor en cada caso.

[25] Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.

FIGURA 29. LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA O_3 Y NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US) Y UNIÓN EUROPEA (UE)



[1]Límite vigente hasta el 17 de octubre de 2014
[2] Límite vigente a partir del 18 de octubre de 2014

Fuente: NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002)
NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014b)
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

Actualmente, por ejemplo, para evaluar el cumplimiento de la norma en México se usa el 5° máximo en un año calendario y este valor no debe exceder el límite permisible de 0.08 ppm.

En Estados Unidos de América, la norma federal usa como valor para evaluar el cumplimiento de su estándar el 4° máximo como promedio de tres años y éste no debe rebasar el valor de 0.075 ppm. En California y las Guías de la OMS el estándar (0.07 y 0.05 ppm, respectivamente) no debe excederse ni una vez en un año calendario, en tanto que en la Unión Europea el estándar (0.06 ppm) puede excederse hasta 25 veces como promedio en un periodo de 3 años.

Al margen de las diferencias anteriores, desde el punto de vista estrictamente numérico el límite máximo de concentración, como promedio móvil de ocho horas, establecido en la nueva Norma Oficial Mexicana (137 µg/m³ o 0.07 ppm), es 13% más exigente que el anterior e igual de estricto que el estándar de California. Es también 7% más exigente que el estándar nacional de Estados Unidos de América. Sin embargo, seguirá siendo más laxo con respecto al valor límite establecido por la Unión Europea (14%) y al valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (29%).

Al margen de los cambios en la normatividad mexicana antes referidos con respecto a ozono, es oportuno destacar que la descripción y análisis que se hace en este informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas, en relación con este contaminante, toma como referencia la NOM-020-SSA1-1993 del 30 de octubre de 2002, dado que dicha NOM estaba vigente al momento de elaborar el presente documento.

2.2.2 Indicadores de la calidad del aire para ozono (2000-2013)

En esta sección se describirán las tendencias observadas en la calidad del aire, con respecto al ozono, conforme a la información generada en el periodo 2000 a 2013 por 21 SMCA pertenecientes a las siguientes zonas metropolitanas o ciudades: Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Mexicali, Mérida, Chihuahua, Aguascalientes, Morelia, Irapuato, Ensenada, Celaya, Pachuca - Tizayuca, Tula - Tepeji, Salamanca, Silao, Tecate y Rosarito.

Los indicadores de la calidad del aire, con respecto al ozono, calculados de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia de información descritos en la metodología, incluidos en esta sección son:

- Evaluación del cumplimiento de la NOM
  - ✓ Cumplimiento de los límites de concentración de 1 y 8 horas, en el año 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración del promedio móvil de 8 horas en el periodo 2000-2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración de 1 hora en el periodo 2000 - 2013.
- Número de horas, por año, en el que se rebasa el límite de concentración de 1 hora, en el periodo 2000 - 2013.
- Número de días con calidad del aire buena, regular y mala, teniendo como referencia las concentraciones máximas diarias de una hora, en el periodo 2000 - 2013.
- Comportamiento durante las horas del día, los días de la semana y los meses del año
  - ✓ Comportamiento horario para el periodo 2000 - 2013
  - ✓ Comportamiento diario para el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Comportamiento mensual para el periodo 2000 - 2013.
- Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000 - 2013.

2.2.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM

Se analiza el cumplimiento de los límites permisibles de concentración de 1 y 8 horaspara cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, primero de manera particular para el año 2013 y luego de manera general para el periodo 2000 - 2013.

La Tabla 25 muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de una y 8 horas en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia la NOM-020-SSA1-1993.

Tabla 25. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 DE OZONO EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-020-SSA1-1993 LÍMITE DE UNA HORA 0.110 ppm MÁXIMO HORARIO	NOM-020-SSA1-1993 LÍMITE DE 8 HORAS 0.080 ppm QUINTO MÁXIMO DE LOS MÁXIMOS DIARIOS DE LOS PROMEDIOS DE 8 HORAS	CUMPLE NOM
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	**0.184**	**0.120**	**No**
	Jalisco	ZMG	**0.210**	**0.116**	**No**
	Nuevo León	AMM	**0.163**	**0.093**	**No**
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	**0.116**	**0.082**	**No**
	Baja California	Tijuana	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	León	**0.135**	**0.096**	**No**
	Chihuahua	Ciudad Juárez	0.079	0.054	Sí
Grupo 3	Baja California	Mexicali	**0.124**	**D.I.**	**No**
	Yucatán	Mérida	0.085	0.069	Sí
	Chihuahua	Chihuahua	0.061	0.044	Sí
	Aguascalientes	Aguascalientes	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Michoacán de Ocampo	Morelia	0.107	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	Irapuato	**0.136**	**0.091[a]**	**No**
	Baja California	Ensenada	**D.I**	**D.I.**	**No**
Grupo 4	Guanajuato	Celaya	0.079	0.054	Sí
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca	**0.124**	0.072[a]	**No**
	Hidalgo	Tula-Tepeji	**0.127**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	**0.120**	0.071	**No**
	Guanajuato	Silao	0.106	**0.090**	**No**
	Baja California	Tecate	F.O.	F.O.	---
	Baja California	Rosarito	**D.I.**	**D.I.**	**No**

F.O. = Fuera de operación.
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento por falta de datos.
[a] El valor del quinto máximo se evaluó con datos de una sola estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de información de un total de tres estaciones

Así pues, bajo las consideraciones descritas en el cuadro anterior, se puede observar que:

- El límite de una hora (0.110 ppm), sólo se cumple en los SMCA de: Ciudad Juárez, Mérida, Chihuahua, Morelia, Celaya y Silao.

- El límite de 8 horas (0.080 ppm), sólo se cumple en los SMCA de: Ciudad Juárez, Mérida, Chihuahua, Celaya, Pachuca - Tizayuca y Salamanca.

- Los SMCA de Tijuana, Aguascalientes, Ensenada y Rosarito incumplen los límites de 1 y 8 horas, por insuficiencia de datos, es decir, por tener menos del 75% de datos válidos.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de ozono sólo si se satisface el criterio de suficiencia de información (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 1 y 8 horas, la norma se cumple en los SMCA de: Ciudad Juárez, Mérida, Chihuahua y Celaya.

- Los sistemas de monitoreo de Mexicali, Morelia y Tula - Tepeji incumplen la NOM de 8 horas, por insuficiencia de datos, es decir, por tener menos del 75% de datos válidos.

- Las concentraciones máximas de una hora registradas en las zonas metropolitanas del grupo 1 (ZMVM, ZMG y AMM), son más altas que en cualquier otra ciudad incluida en el análisis.

- Las concentraciones máximas de 8 horas de la ZMVM y ZMG son más altas que en el resto de las ciudades y llama la atención que la concentración de 8 horas de ozono de la ciudad de León es más alta que la registrada en el AMM.

La Figura 30 muestra de manera gráfica el estatus de cumplimiento o incumplimiento de la NOM-020-SSA1-1993 de ozono en el año 2013 en los 21 SMCA incluidos en este análisis, bajo la consideración de que dicha norma se cumple sólo cuando no se rebasa ninguno de los dos valores límite (1 y 8 horas).

En ella se puede observar claramente que en 2013 sólo 4 de los 21 SMCA evaluados cumplieron con la NOM-020-SSA1-1993. Estos SMCA son los que se ubican en: Cd. Juárez, Chihuahua, Celaya y Mérida. En el resto de los SMCA se incumple al menos uno de los dos límites incluidos en la norma referida.

En el Anexo II se incluye un cuadro que muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 1 y 8 horas en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia tanto la NOM-020-SSA1-1993 como NOM-020-SSA1-2014 que entró en vigor en octubre de 2014.

Es importante destacar que, considerando que el cumplimiento o incumplimiento de una norma se da sólo a partir del momento en que entra en vigor, el análisis presentado se hace sólo como un ejercicio para visualizar el impacto potencial de la nueva norma en el supuesto de que las concentraciones máximas de ozono de una hora y ocho horas se mantuvieran en los mismos niveles que los registrados en el 2013.

Figura 30. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 DE OZONO EN 2013

2.2.4 Evaluación del cumplimiento del límite anual (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas)

En las siguientes figuras se presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002), específicamente el límite de 8 horas.

De esta manera, la Figura 31 muestra el quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas para el primer grupo de zonas metropolitanas, en el que se incluye a la Zona Metropolitana del Valle de México, Zona Metropolitana de Guadalajara y Área Metropolitana de Monterrey.

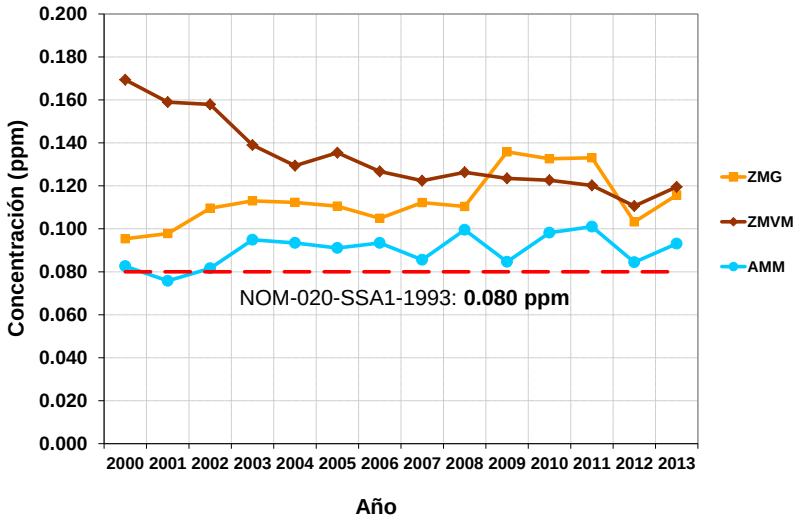
En este primer grupo destaca el hecho de que en ninguna de ellas se cumple con el límite anual en todo el periodo analizado, salvo en 2001 en el AMM, donde también se observa un comportamiento bastante estable entre el 2003 y 2013 con concentraciones que oscilan entre 0.082 ppm (en el 2002) y 0.101 ppm (en 2011).

Igualmente destacable es la tendencia decreciente observada en la ZMVM, donde se pasa de una concentración de 0.169 ppm en el 2000 a una de 0.120 ppm en el 2013.

Esto es, una importante reducción de aproximadamente 30% en el periodo analizado, aunque aún resulta insuficiente para lograr el cumplimiento de la

norma, ya que la concentración registrada en este último año es 50% superior al establecido en la misma.

Figura 31. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DEL GRUPO 1



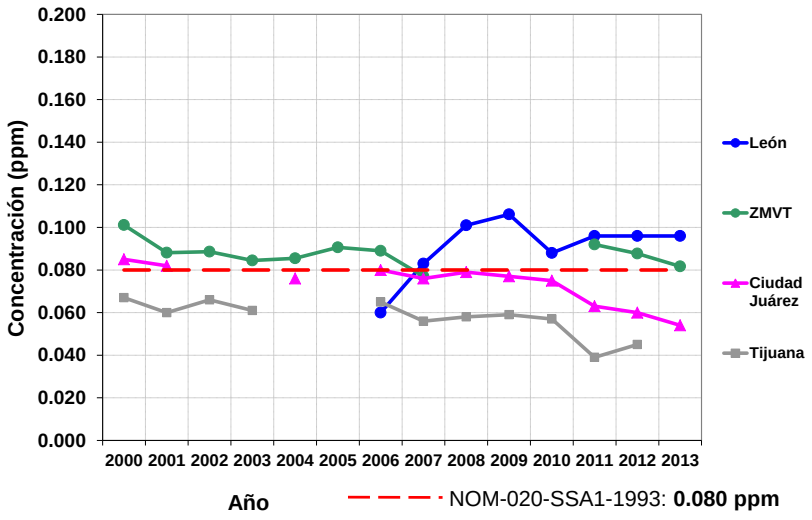
En la ZMG, por el contrario, llama la atención que después de registrarse concentraciones relativamente estables hasta el año 2008, entre 2009 y 2011 hubo un incremento significativo en el valor anual, que llegó a ser entre 66 y 70% superior al valor de la norma, para después volver a caer a niveles similares a los ocurridos entre el año 2000 y 2008, donde las concentraciones fueron en promedio 34% superiores al límite establecido en la norma.

En general, las concentraciones máximas de ocho horas más altas en casi todo el periodo de análisis se registraron en la ZMVM, seguida de la ZMG y del AMM. En relación con el resto de las ciudades o zonas metropolitanas incluidas en este documento las concentraciones registradas en este grupo de zonas metropolitanas fueron las más altas en todo el periodo de análisis.

En el segundo grupo de ciudades (Figura 32) destaca el hecho de en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca se incumple la norma en todos los años con información disponible, salvo en 2007. Los niveles de concentración registrados son superiores al límite normado en un rango que va de 26% en el año 2000 a sólo 2% en el 2013. Una situación similar se presenta en la ciudad de León donde sólo en el año 2006 el quinto máximo fue inferior al límite permisible; en el resto de los años con información disponible dicho valor fue entre 4% y 30% superior a la norma.

Los datos disponibles para Tijuana muestran que, en todos los años en los que fue posible evaluar el cumplimiento del límite anual, las concentraciones registradas se mantienen por debajo del límite establecido en la norma, mientras que en Ciudad Juárez ésta se cumple con regularidad del 2004 a la fecha.

Figura 32. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS Y CIUDADES DEL GRUPO 2

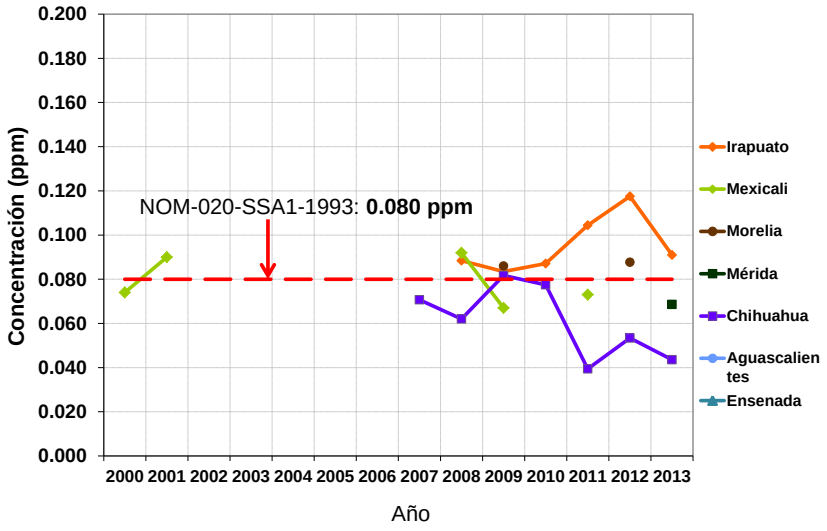


El comportamiento mostrado por el límite de ocho horas en las siete ciudades que pertenecen al Grupo 3 se presenta en la Figura 33. En ella sobresale la escasez de información generada por los diferentes SMCA para evaluar el cumplimiento de esta norma. Sólo en Irapuato y en Chihuahua se ha generado información de manera regular para 2006 y 2007 (respectivamente) a la fecha y estos datos revelan que mientras en Chihuahua se ha cumplido con la norma en todos los años con información disponible (salvo en 2009 cuando se registró una concentración apenas 3% superior al valor de ésta), en Irapuato esto no ha ocurrido en ningún año e incluso se observa una tendencia creciente en las concentraciones entre 2009 y 2012, siendo este último año el que registra la concentración más alta la cual es 48% mayor al valor de la norma.

Destaca el caso de Mexicali, donde a pesar de tener en operación su SMCA desde antes del año 2000, la información generada por éste no ha sido lo suficientemente regular como para estimar el indicador que permita evaluar apropiadamente el cumplimiento del límite de 8 horas en todo el periodo analizado.

Sólo se dispone de datos suficientes para cinco años, y en tres de ellos se registran concentraciones inferiores al valor normado (2000, 2009 y 2011), en tanto que en los dos restantes (2001 y 2008) se rebasó dicho valor.

Figura 33. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3



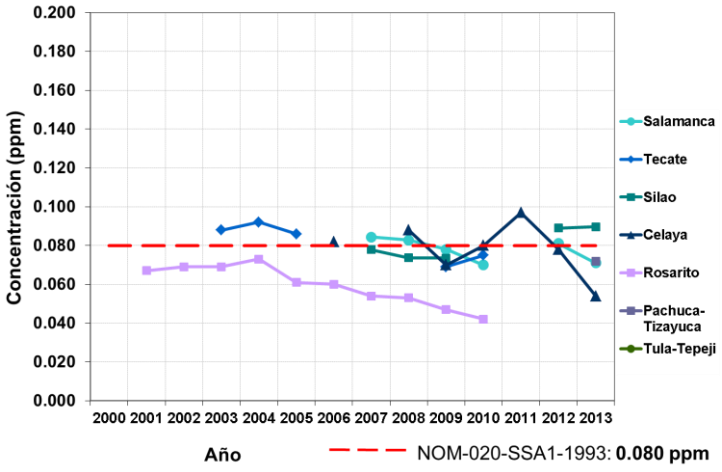
En Morelia sólo se reportan datos suficientes para evaluar el cumplimiento de la norma en dos años (2009 y 2012) y en ambos casos las concentraciones registradas fueron entre 8 y 10% superiores a ésta. En Mérida sólo se reportan datos para 2013 y la concentración registrada en este año fue inferior al límite normado. En Aguascalientes sólo hubo información disponible para 2013 y en Ensenada para 2012 y 2013. En todos los casos ésta fue insuficiente para generar el indicador.

En el conjunto de ciudades que forman el grupo 4 (Figura 34), se observa que la serie de datos histórica más completa pertenece a la ciudad de Rosarito, Baja California, a pesar de no cubrir todo el periodo de análisis. En dicha serie se observa que en todos los años con información disponible, las concentraciones de 8 horas de ozono se mantienen por debajo del valor de la norma y muestran, además, una tendencia decreciente.

Tecate y Silao reportan, de forma discontinua, datos para 5 años en los cuales se observan comportamientos contrastantes. Mientras la ciudad de Tecate muestra concentraciones superiores a la norma en el periodo 2003 - 2005 y luego inferiores a ella en el periodo 2009 - 2010, la ciudad de Silao registra concentraciones inferiores a la norma para el periodo 2007 - 2009 y luego superiores a ella en 2012 y 2013.

Celaya reporta datos para los años 2006 y 2008 a 2013 y se cumple con el valor límite de 8 horas en los años 2009-2010 y 2012-2013. En los años restantes las concentraciones registradas son superiores al límite normado entre 2 y 21%. En Salamanca se reportan datos para el periodo 2007 - 2013, pero en este caso la norma de 8 horas sólo se cumple en los años 2009, 2010 y 2013, en tanto que en los años 2007, 2008 y 2012 las concentraciones reportadas son entre 1 y 5 % más altas que el valor límite.

Figura 34. LÍMITE ANUAL (QUINTO MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4



En la región de Pachuca - Tizayuca sólo se dispone de información para el año 2013 y la concentración de 8 horas que se reporta es inferior al valor límite, en tanto que la zona Tula - Tepeji la información disponible no fue suficiente para generar el indicador.

Finalmente, es importante destacar que de manera general, resulta imprescindible lograr el correcto funcionamiento de los SMCA en la mayoría de las ciudades analizadas a fin de poder recopilar información confiable, suficiente y de manera permanente para estar en posibilidades de hacer una vigilancia apropiada de la calidad del aire a través del tiempo. Esta información es fundamental en el diseño de la política pública orientada a controlar y prevenir la contaminación del aire así como para proteger la salud de la población.

2.2.5 Evaluación del cumplimiento de límite horario (máximo horario)

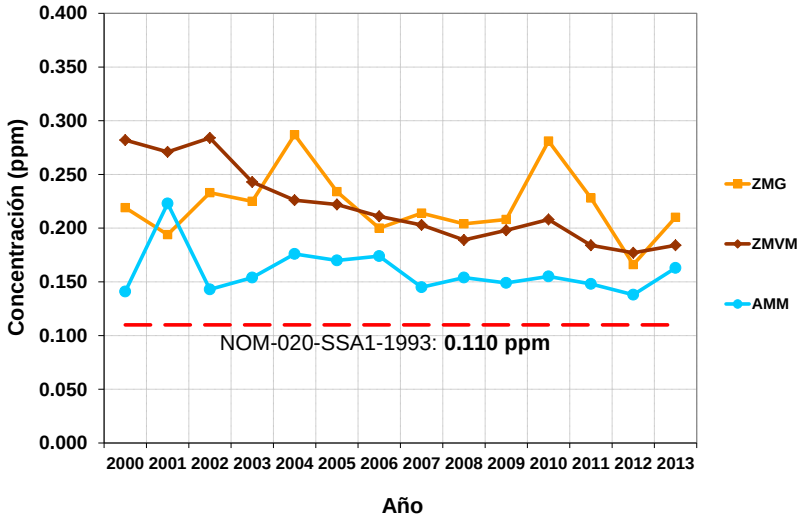
Las figuras de la sección presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, las series de tiempo de los indicadores para evaluar el cumplimiento de la NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002), específicamente el límite de 1 hora. En este caso fue posible calcular el indicador para una mayor cantidad de años, pues los criterios de suficiencia de información varían con respecto al indicador analizado en la sección anterior.

En la Figura 35 se muestra el máximo horario anual de las concentraciones diarias en las zonas metropolitanas de Valle de México, Guadalajara y Monterrey. En ella se puede apreciar que el denominador común en todas las zonas metropolitanas de este grupo es el incumplimiento de la norma en todo el periodo analizado.

En la ZMVM es clara una tendencia constantemente decreciente, pero con concentraciones aún lejanas del valor de la norma. Por ejemplo, el valor más bajo registrado hasta ahora es 0.177 ppm en el 2012, el cual es 61% superior a la norma.

En la ZMG y el AMM las concentraciones máximo horarias más bajas registradas hasta ahora también se dan en el 2012 y son 51 y 25% más altas que el valor de referencia definido en la norma. Igualmente llama la atención el hecho de que desde el 2004 las concentraciones máximas horarias registradas en Guadalajara superan a las registradas en el Valle de México, excepto en 2006 y 2012. Los valores registrados en el AMM son las más bajas dentro de este grupo.

Figura 35. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DEL GRUPO 1

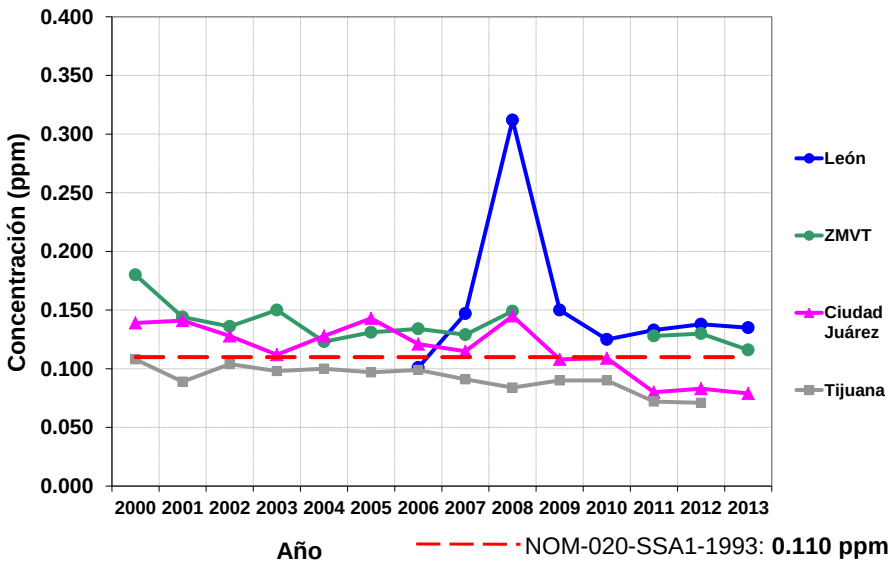


De las cuatro ciudades que integran el grupo 2, sólo en Tijuana se cumple con el límite establecido en la norma en todos los años en los que se cuenta con información suficiente para hacer la evaluación del cumplimiento de ésta (Figura 36). El caso opuesto es la ZMVT, en donde en ninguno de los años con información disponible las concentraciones registradas han sido inferiores al límite normado.

En el caso de la ciudad de León destaca que desde el año 2007 sus concentraciones máximas horarias han sido superiores al valor de la norma, así como el hecho de que en el año 2008 se registró una concentración equivalente a casi tres veces el valor límite permisible (Figura 36), sin que se conozca la causa.

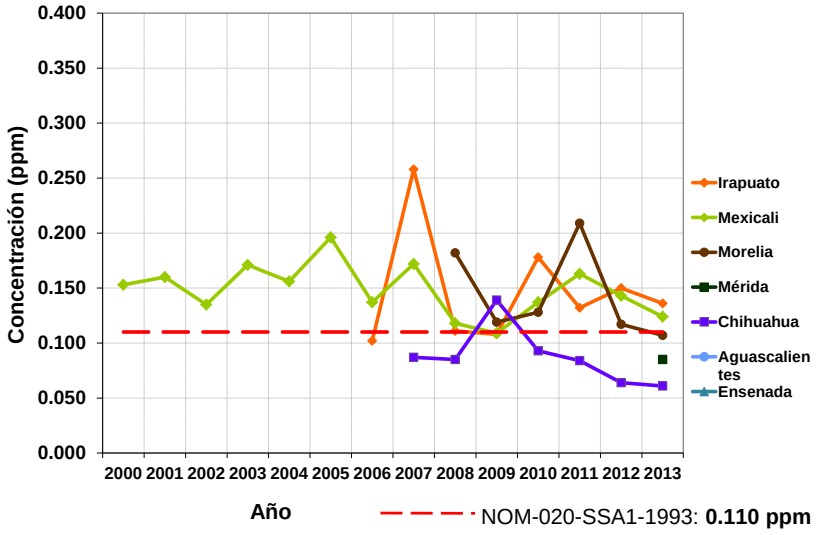
En Ciudad Juárez es posible apreciar una mejora considerable en la calidad del aire con respecto a este indicador, pues mientras entre el año 2000 y el 2008 se registran concentraciones superiores a la norma, a partir del 2009 y hasta la fecha los valores registrados han sido inferiores a ésta.

Figura 36. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 2



De las ciudades que conforman el grupo 3, en la Figura 37, es posible observar que sólo Mexicali posee información para todo el periodo de análisis y ésta revela que sólo en el año 2009 se cumplió con la norma, en tanto que en el resto del periodo analizado se presentaron concentraciones máximas horarias superiores al límite permisible entre 7% (en 2008) y 78% (en 2005).

Figura 37. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3



En términos de información disponible, el caso opuesto se presenta en Aguascalientes y Ensenada, en donde no hubo información suficiente para estimar el indicador en ninguno de los años analizados (2013 en el caso de Aguascalientes y 2012-2013 en el caso de Ensenada).

Mérida es otro caso con poca información, pues sólo reporta datos para el año 2013, debido a que empezó a operar en marzo de dicho año. La información

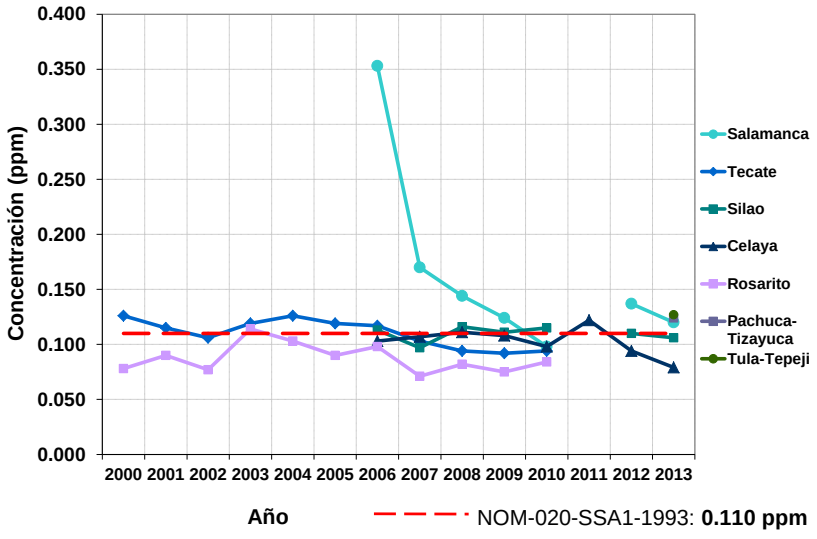
muestra que el valor disponible para el 2013 es inferior al límite establecido en la norma.

Chihuahua, Morelia e Irapuato muestran mediciones sólo después del año 2005 y éstas revelan que mientras en Chihuahua, salvo en 2009, se cumplió con el límite permitido de una hora; en Morelia, por el contrario sólo se cumple con dicho valor en 2013, en tanto que en todos los años anteriores éste es superado, llegando incluso a registrar una concentración equivalente a casi dos veces el valor de la norma en el 2011. Irapuato, por su parte, cumple con el límite permisible de una hora sólo en 2006 y 2009, mientras en el resto de los años con información disponible las concentraciones reportadas son superiores a éste y su concentración más alta (registrada en el año 2007) equivale a 2.3 veces el valor de la norma.

Con respecto a las ciudades del grupo 4 (Figura 38), destaca el caso de Salamanca por presentar las concentraciones más elevadas, siempre superiores a la norma y con un registro superior a 3 veces el valor de ésta en 2006. La causa de este valor extraordinario se desconoce.

Por otra parte, en la ciudad de Tecate se ha cumplido la norma desde el 2007 y en los últimos tres años no ha sido posible generar información suficiente para evaluar este indicador. En Rosarito también se ha cumplido con la norma en todos los años con información disponible, salvo en 2003, y al igual que en Tecate el SMCA ha presentado problemas de operación que se reflejan en el hecho de que en los últimos tres años no se ha podido generar información suficiente para evaluar el cumplimiento de la norma.

Figura 38. MÁXIMO HORARIO REGISTRADO EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4



En Silao se reporta información desde el año 2006, y sólo en 2007, 2012 y 2013 se ha cumplido con el límite permisible de una hora. Celaya presenta información desde 2006 y sólo en los años 2008 y 2011 se rebasa el valor límite. Pachuca-

Tizayuca y Tula - Tepeji, reportan datos únicamente para el año 2013 y en ambos casos las concentraciones registradas fueron superiores, entre 13 y 15%, al límite permisible.

2.2.6 Número de horas por año, en el que se rebasa el límite de concentración de 1 hora en el periodo 2000-2013.

En términos prácticos, el cumplimiento o incumplimiento de la norma de calidad del aire para ozono se evalúa muy fácilmente cuando se toman como referencia los límites máximos permisibles de 1 y 8 horas y la frecuencia con que se exceden dichos valores en cada caso.

Sin embargo, este análisis no es muy robusto para ilustrar la magnitud del problema cuando se está en una situación de no cumplimiento. Con esta consideración en mente se generó el indicador “Número de horas por año, en el que se rebasa el límite de concentración de 1 hora”.

Dicho indicador pretende no sólo mostrar la severidad del problema de la calidad del aire por ozono en una ciudad o zona metropolitana sino también su evolución a través del tiempo, de tal forma que sea posible inferir si las políticas públicas implementadas en cada región para atender el problema de la calidad del aire han tenido algún impacto positivo, aun cuando no se haya podido lograr el cumplimiento de la normatividad aplicable.

En este contexto, la Figura 39 y la Tabla 26 presentan, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, el número de horas por año en que se rebasa el límite de una 1 hora de ozono (0.11 ppm), para el periodo 2000 a 2013. En ellas es posible apreciar que:

- En las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey, que integran el grupo 1, el número de horas en que se excede el límite de una hora es significativamente mayor que en cualquiera de las ciudades que integran los restantes grupos.

- La ZMVM muestra una clara tendencia decreciente, pasando de 1,635 horas por arriba del límite de una hora en el año 2000 a 310 horas en el 2012. Ello significa una reducción de aproximadamente 80%. Sin embargo, en 2013 se presenta un ligero incremento y el límite de una hora se excede en 390 horas. Si bien esta situación aún ubica a la ZMVM en una situación lejana al cumplimiento del límite horario, revela una tendencia que va en la dirección deseada.

- Las Zonas Metropolitanas de Guadalajara y Monterrey muestran una tendencia creciente, aunque de diferente magnitud, entre el año 2000 y el 2011. En este periodo, el año con el menor número de horas por arriba del límite horario fue el 2001 con 93 en el caso de Guadalajara y el 2000 con 16 horas en el caso de Monterrey, en tanto que el año con el mayor número

de horas por arriba de dicho límite fue el 2011 en ambos casos, con 474 horas por arriba del límite en el caso de Guadalajara y 101 horas en el caso de Monterrey.

Estos últimos registros representan una cifra aproximadamente 5 y 6 veces mayores a los registrados en los años 2001 y 2000, respectivamente. Después de este periodo, se registra una caída significativa en el número de horas por arriba del límite referido en los años 2012 y 2013 en ambas ciudades.

- Las ciudades que integran el grupo 2, muestran un comportamiento bastante diferente al observado en el grupo 1. Muestra de ello es el caso de Tijuana donde en ninguno de los años del periodo analizado se registran concentraciones horarias superiores al límite permisible. Existen sin embargo, áreas como la ZMVT, en donde en todos los años con información disponible se registran concentraciones horarias superiores al límite normado, que van de 71 horas en el año 2000 a 4 horas en el año 2013.

- En Ciudad Juárez destaca el hecho de que desde el año 2009 ya no se han registrado concentraciones horarias superiores al límite permisible en ninguna ocasión, en tanto que en León no se aprecia una tendencia clara, pues muestra altibajos en el número de horas con concentraciones superiores al límite en el periodo de tiempo con información disponible. Así por ejemplo, entre 2007 y 2009 se observa una tendencia creciente, en 2010 hay una caída significativa y otra vez entre 2011 y 2013 se presentan un incremento importante en el número de horas con concentraciones superiores al límite normado.

- Del grupo 3 destaca que las ciudades de Mérida, Aguascalientes y Ensenada no registran concentraciones horarias superiores al límite de la norma en ninguno de los años con información disponible. En tanto que en Chihuahua se reporta solo una hora con una concentración superior al valor normado y esto sucedió en 2009.

- Mexicali, es la ciudad con la serie histórica más completa de información para este indicador dentro de las localidades que conforman el grupo 3; en ella se observa una clara tendencia decreciente entre el año 2000 y el 2008, donde el año con el mayor número de horas por encima del límite horario fue el 2001 con 43 y el año con el menor número de horas por arriba de dicho límite fue el 2008 con 5.

  En 2009 no se registra ninguna concentración horaria por arriba del límite; sin embargo, entre 2010 y 2013 nuevamente se reportan este tipo de registros y en ellos se aprecia una tendencia creciente.

- Morelia destaca por la alta variabilidad de sus registros con respecto a este indicador a través del tiempo, pues a pesar de que se reporta información

sólo para los 6 años más recientes, en este periodo se observan tanto años con un elevado número de horas por arriba del valor límite (como en 2008 con 228 horas y 2011 con 147 horas), como años con cifras significativamente menores como 2009, 2010 y 2012 con 7, 9 y 1 horas por arriba del límite normado, respectivamente. En 2013 no hay reporte de una sola hora con concentraciones por arriba del límite referido.

- En Irapuato sólo en dos años (2006 y 2009) no se reportan horas con concentraciones superiores al límite de la norma. Para el resto de los años con información disponible se presenta una situación variable, donde hay años con pocas horas con concentraciones por arriba del valor límite (como en el 2008 con sólo una hora), y otros con un número considerable de horas en esta situación (como 2012 y 2013 con 77 y 27 horas, respectivamente).

- Las ciudades que integran el grupo 4 tienen un mejor panorama con respecto a este indicador, pues presentan una mejor situación en términos del número de horas con concentraciones superiores al límite horario. Por ejemplo, las ciudades de Celaya, Silao, Tecate y Rosarito, no han registrado una sola concentración de ozono con estas características en los más recientes 2, 3, 7 y 9 años, respectivamente.

- Las zonas de Pachuca - Tizayuca y Tula - Tepeji, sólo disponen de información para el año 2013 y ésta indica que el límite de una hora ha sido rebasado en 3 y 7 horas, respectivamente.

- Finalmente, en este grupo de ciudades, Salamanca muestra una mejora considerable en el periodo 2006 a 2011, donde pasó de 53 horas con concentraciones que superaron el límite normado de una hora, en 2006, a cero horas, en 2010 y 2011. Sin embargo, para los años 2012 y 2013 nuevamente se registran 11 y 4 horas, respectivamente, con concentraciones superiores al límite.

Figura 39. NÚMERO DE HORAS, POR AÑO, EN QUE DE REBASA EL LÍMITE DE 1 HORA DE OZONO, EN EL PERIODO 2000-2013

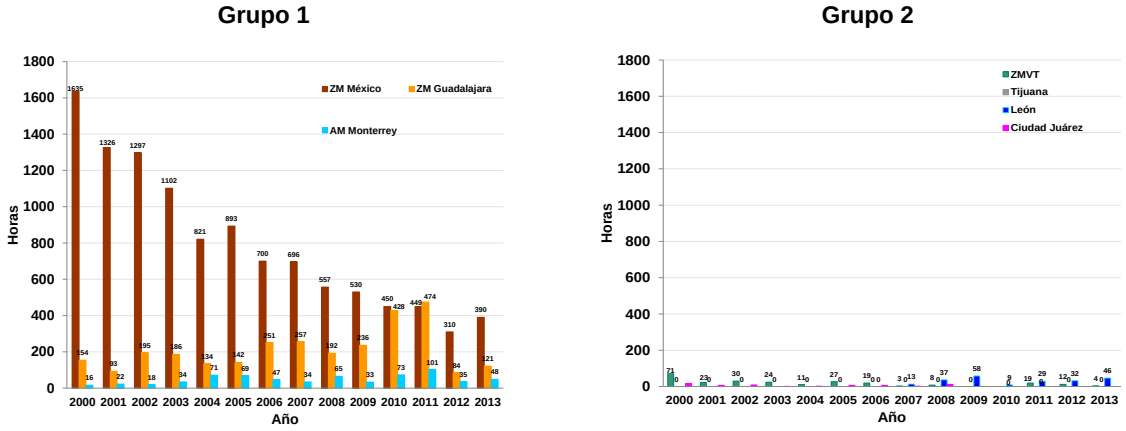


Tabla 26. NÚMERO DE HORAS QUE SE REBASA EL LÍMITE DE 1 HORA DE OZONO POR SMCA, EN EL PERIODO 2000-2013

	Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	ZMVM	1635	1326	1297	1102	821	893	700	696	557	530	450	449	310	390
	ZMG	154	93	195	186	134	142	251	257	192	236	428	474	84	121
	AMM	16	22	18	34	71	69	47	34	65	33	73	101	35	48
Grupo 2	ZMVT	71	23	30	24	11	27	19	3	8	F.O.	F.O.	19	12	4
	Tijuana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	León							0	13	37	58	9	29	32	46
	Ciudad Juárez	17	7	9	1	2	7	7	2	12	0	0	0	0	0
Grupo 3	Mexicali	24	43	14	15	8	22	10	11	5	0	5	10	21	6
	Mérida														0
	Chihuahua								0	0	1	0	0	0	0
	Aguascalientes	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	0
	Morelia									228	7	9	147	1	0
	Irapuato							0	6	1	0	31	23	77	27
	Ensenada													0	0
Grupo 4	Celaya							0	0	1	0	0	8	0	0
	Pachuca-Tizayuca										S.I.	S.I	S.I	S.I	3
	Tula-Tepeji					S.I.	S.I.	S.I.	N.I.	N.I.	S.I.	S.I	S.I	S.I	7
	Salamanca							53	15	2	3	0	0	11	4
	Silao							2	0	1	1	3	0	0	0
	Tecate	5	2	0	5	4	2	2	0	0	0	0	0	0	F.O.
	Rosarito	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	F.O.	0

F.O. = Fuera de operación.
S. I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC.
N.I. = No se incluyó. Se recibió información que no cumplió con los requisitos para su inclusión en el análisis.
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición.

2.2.7 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013)

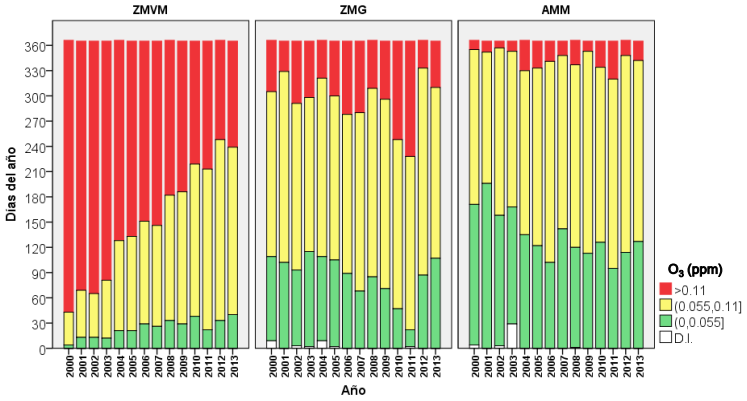
Las figuras que ilustran este apartado, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, se refieren a la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las concentración de ozono. El dato base de este indicador es el máximo diario de las concentraciones horarias.

Las zonas metropolitanas que conforman el Grupo 1 (Figura 40) muestran un número considerable de días por año con concentraciones superiores al límite normado de una hora (rojo), lo que los ubica de acuerdo con este indicador en una situación de mala calidad del aire.

La ZMVM a pesar de mostrar, a través de los años, una tendencia decreciente es la zona que muestra la situación más severa, pues aún en 2012, el año con el mejor desempeño con respecto a este indicador, el número de días con mala calidad del aire es de 118, que equivalen al 32% del total de los días del año.

El número de días con buena calidad del aire (verde) se mantiene relativamente estable a través del tiempo, en tanto que los días con calidad del aire regular (amarillo) se incrementan en la medida que disminuyen los días en rojo.

Figura 40. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 1



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

En la ZMG se aprecia un incremento considerable de días con mala calidad del aire entre 2008 y 2011. En dicho periodo el número de días en rojo pasó del 16 al 38% de los días del año. Después de esta tendencia incremental se aprecia una caída considerable en 2012 y 2013, dónde los días en rojo fueron de 9 y 15%, respectivamente. Sin embargo, en todo ese periodo se observa que en más de 200 días de cada año se presenta una calidad del aire regular (amarillo), lo que indica el riesgo de que se incremente el número de días en los que se rebase la norma. En este caso, el número de días con buena calidad del aire (verde) muestran una mayor relación con la variación en el número de días con mala calidad del aire (rojo) que con los días de calidad del aire regular (amarillo).

El AMM es, dentro de este grupo, la que muestra tanto el menor número de días con mala calidad del aire (menos del 12% de los días de cada año), como el mayor número de días con buena calidad del aire (entre 30 y 54% de los días de cada año), en todo el periodo de análisis. El número de días con calidad del aire regular ha mostrado un comportamiento regular, particularmente desde 2005 con más de 200 días de cada año.

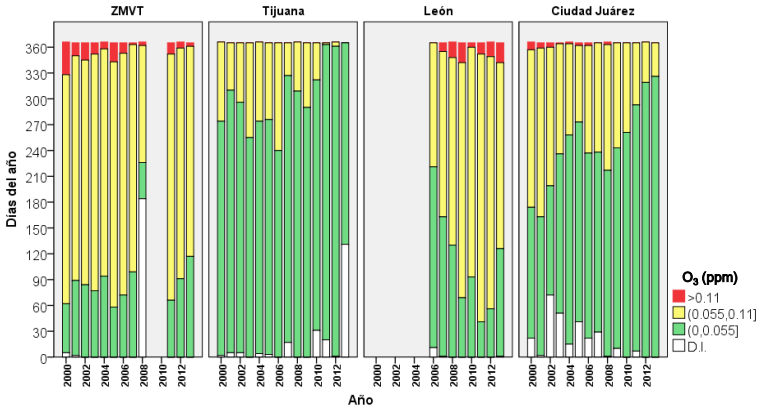
La Figura 41, muestra la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto al máximo de las concentraciones horarias de ozono en las ciudades del grupo 2. En ella se observa que en la ZMVT se registran días con mala calidad del aire (rojo) en todos los años con información disponible, si bien es cierto que también hay una clara tendencia decreciente a través del tiempo en la que se pasa de tener 38 días con esta condición en el año 2000 a 4 días en el año 2013.

La ciudad de León, también presenta días con mala calidad del aire en todos los años con información disponible (excepto en el 2006), pero en este caso se aprecia una tendencia creciente en el periodo 2010-2013, donde se pasa de 5 a 23 días con esta condición.

Tijuana es la ciudad con el mejor desempeño con respecto a este indicador pues no se registran días con mala calidad del aire (rojo) en ninguno de los años del periodo analizado, y por el contrario, el número de días con buena calidad del aire (verde) oscila entre 234 y 310 por año, esto es entre 64 y 85% de los días de cada año. Ciudad Juárez es un caso intermedio respecto a la situación de las ciudades antes descritas, pues mientras los días con mala calidad del aire se registraron entre los años 2000 y 2009, en cantidades que oscilan entre 1 y 9 días por año, a partir del 2010 sólo se presentan días con calidad del aire regular (amarillo) y buena (verde).

Destaca que del 2002 al 2013 el número de días con buena calidad del aire (verde) crece de manera consistente y pasa, en ese periodo, de 127 a 326 días con esta condición, lo que representa entre el 35% y el 89% de los días de cada año.

Figura 41. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 2

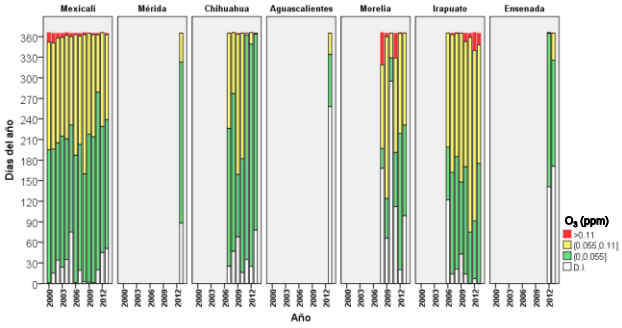


D.I. = Datos insuficientes. No se cumplió con el criterio de suficiencia de información en el día de al menos el 75% de concentraciones horarias

En el caso de las ciudades que conforman el grupo 3 (Figura 42), destaca Mexicali que tiene cuenta con la serie de datos histórica más completa y en ella se observa una clara tendencia a la baja en el número de días con mala calidad del aire (rojo), aunque en los años 2009 y 2012 no se registra un solo día con esta condición. Asimismo, se aprecia que los días con buena calidad del aire (verde), que oscilan entre el 43 y el 71% de los días de cada año, dominan sobre los días con calidad del aire regular (amarillo), los cuales varían entre el 23 y el 55% de los días de cada año.

En contraste, Mérida, Aguascalientes y Ensenada, tienen las series de datos más escasas pues sólo hay información para un año en el caso de las primeras dos ciudades y dos años para la tercera. Dicha información revela que en Mérida sólo se registra un día con mala calidad del aire (rojo), en tanto que en Aguascalientes y Ensenada sólo se registran días con calidad del aire buena (verde) y regular (amarillo). Sin embargo, también es claro que en estas dos ciudades hay un número significativo de días con datos insuficientes para estimar el indicador (blanco).

Figura 42. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 3



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

Para Chihuahua hay información disponible desde el año 2007, y desde entonces sólo se registra un solo día con mala calidad del aire (rojo) en el 2009. En general, dominan los días con buena calidad del aire (verde) en todo el periodo de análisis, aunque esta situación es más evidente entre el 2011 y 2013, cuando el número de días en esta condición varían entre el 78 y el 90% de los días de cada año.

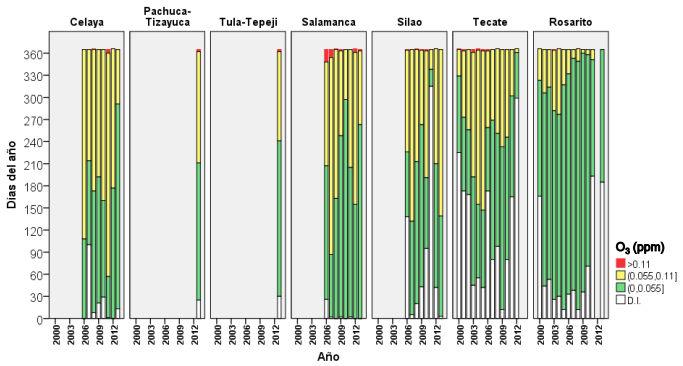
En la ciudad de Morelia destaca la insuficiencia de información (blanco) para generar el indicador en un número significativo de días durante todo el periodo de análisis. A pesar de ello, se puede observar la ocurrencia de un número importante de días con mala calidad del aire en 2008 y 2011, con 47 y 36 días, respectivamente, en tanto que los días con calidad del aire regular (amarillo) dominan sobre los días con buena calidad del aire (verde) en todos los años.

Finalmente, de las ciudades que conforman este grupo, Irapuato muestra una ocurrencia cada vez mayor de días con mala calidad del aire (rojo) en años recientes (2010 a 2013), así como un dominio significativo del número de días con calidad del aire regular (amarillo), sobre los días con buena calidad del aire (verde) en prácticamente todo el periodo de análisis.

De las ciudades del grupo 4 (Figura 43) destaca Rosarito tanto por tener la serie histórica de datos más completa, como por presentar la mayor cantidad de días con buena calidad del aire (verde), los cuales varían entre 43 y 92% de los días de cada año en todo el periodo de análisis. En esta ciudad sólo se registra un día con mala calidad del aire (rojo) y esto ocurre en el año 2003.

Tecate, que también muestra una serie histórica en la que sólo falta información para un año (2013), no presenta días con mala calidad del aire (rojo) desde 2007, año a partir del cual predominan con claridad los días con buena calidad del aire (los cuales varían entre el 17 y el 52% de los días de cada año) sobre los días con calidad del aire regular (los cuales varían entre el 1 y el 36% de los días de cada año). Es igualmente notoria, en esta ciudad, la cantidad tan importante de días en los que no se cuenta con información suficiente (blanco) para generar el indicador en todo el periodo analizado.

Figura 43. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA EN LAS CIUDADES DEL GRUPO 4



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

En contraste con Rosarito y Tecate las zonas de Pachuca - Tizayuca y Tula - Tepeji, sólo reportan información para el año 2013, la cual indica que en ambos casos se registran 3 días con mala calidad del aire (rojo), a pesar de que también, en ambos casos, el número de días con buena calidad del aire es superior al 50% de los días del año.

Celaya, Salamanca y Silao, presentan información a partir del 2006 y su desempeño con respecto a este indicador es contrastante, pues mientras en Salamanca se presentan con mayor frecuencia días con mala calidad del aire (rojo), en Celaya y Silao hay un número significativo de días con insuficiencia de datos para estimar el indicador en varios años dentro del periodo de análisis.

Sin embargo, con la información disponible es posible apreciar que mientras en Celaya y Silao no se registran días con mala calidad del aire en los últimos 2 años, en Salamanca se presentan días con esta condición en ambos años.

Destaca también el hecho de que mientras en Salamanca, en la mayoría de los años analizados, dominan los días con buena calidad del aire (verde) sobre los días con calidad del aire regular (amarillo), en Silao y Celaya ocurre lo contrario, esto es, en la mayoría de los años dominan los días con calidad del aire regular (amarillo) sobre los días con buena calidad del aire (verde).

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

En esta sección se ilustran, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, el comportamiento del O_3 en diferentes escalas temporales, las cuales incluyen el comportamiento horario, semanal y mensual. Así, por ejemplo, las figuras que acompañan este apartado muestran el comportamiento del ozono en las escalas temporales antes referidas en las ciudades o zonas metropolitanas que conforman los grupos 1 a 4.

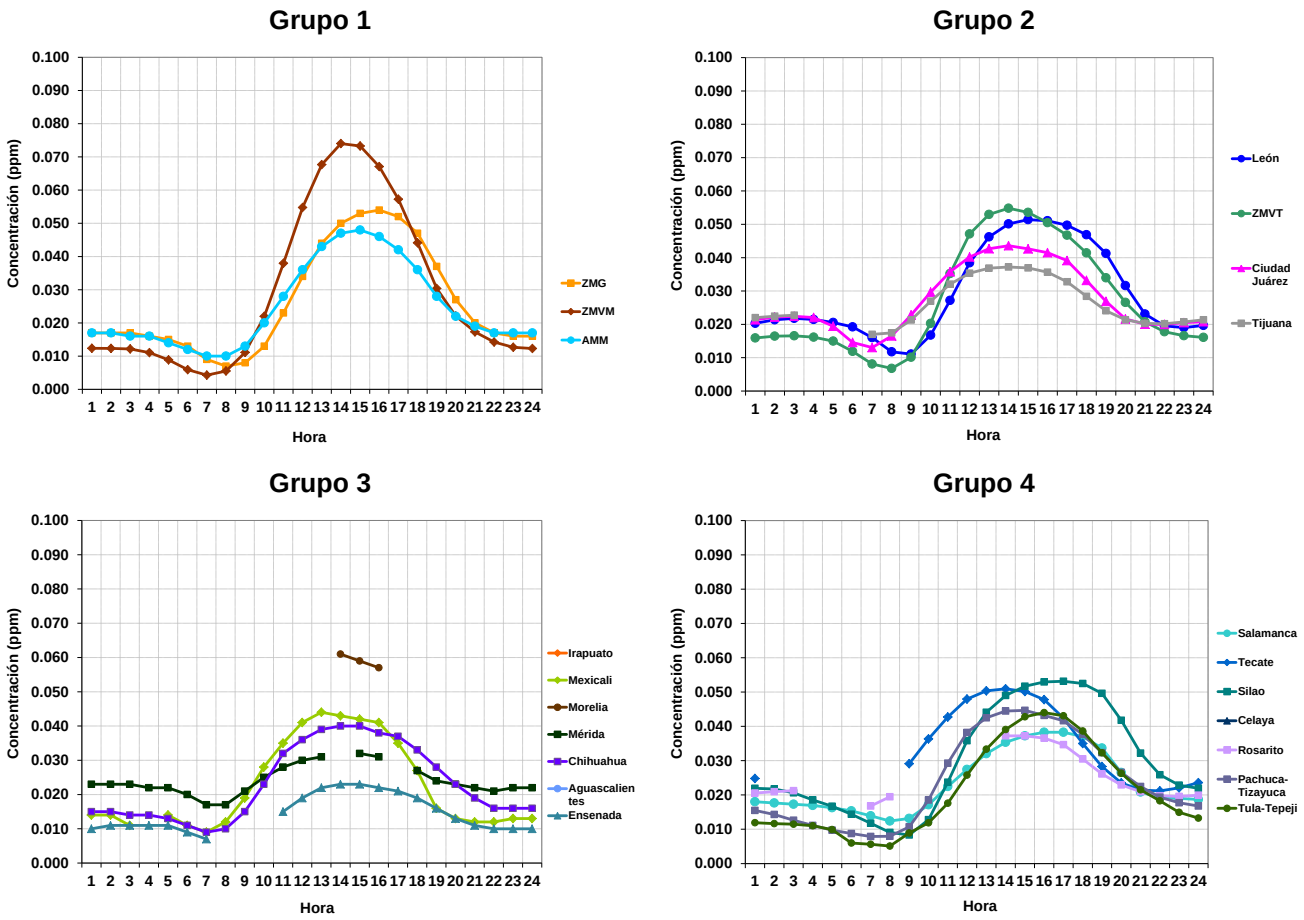
En la Figura 44 que muestra el comportamiento de las concentraciones horarias del ozono, se puede apreciar con claridad que todas las ciudades muestran el comportamiento típico de este contaminante durante el día, en el cual se empieza a registrar un incremento en las concentraciones entre las 10 y 11 de la mañana, el cual se mantiene hasta llegar a su máximo entre la 1 y las 4 de la tarde, dependiendo de qué ciudad se trate. A partir de dicho punto se registra un descenso continuo en las concentraciones hasta las 8 o 9 de la noche, momento en el que se empiezan a estabilizar.

Llama la atención, sin embargo, el comportamiento observado en las ciudades de Salamanca y Silao, donde las concentraciones máximas suelen registrarse un poco más tarde, entre las 4 y las 6 de la tarde. En general, el patrón descrito es muy característico de este contaminante y suele estar asociado a los patrones de emisión de sus precursores (los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno), así como a los patrones horarios de temperatura y radiación solar.

Si bien el comportamiento es similar en todas las ciudades, la magnitud de los picos de concentración es claramente mayor en la ZMVM (Grupo 1), donde la concentración máxima horaria es 20% mayor al máximo estimado más cercano, que corresponde a la ciudad de Morelia (Grupo 3).

Las concentraciones máximas horarias estimadas que le siguen en magnitud son las registradas en: Toluca (Grupo 2), ZMG (Grupo 1), Silao (Grupo 4), León (Grupo 2), Tecate (Grupo 4) y AMM (Grupo 1).

Figura 44. COMPORTAMIENTO HORARIO DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)

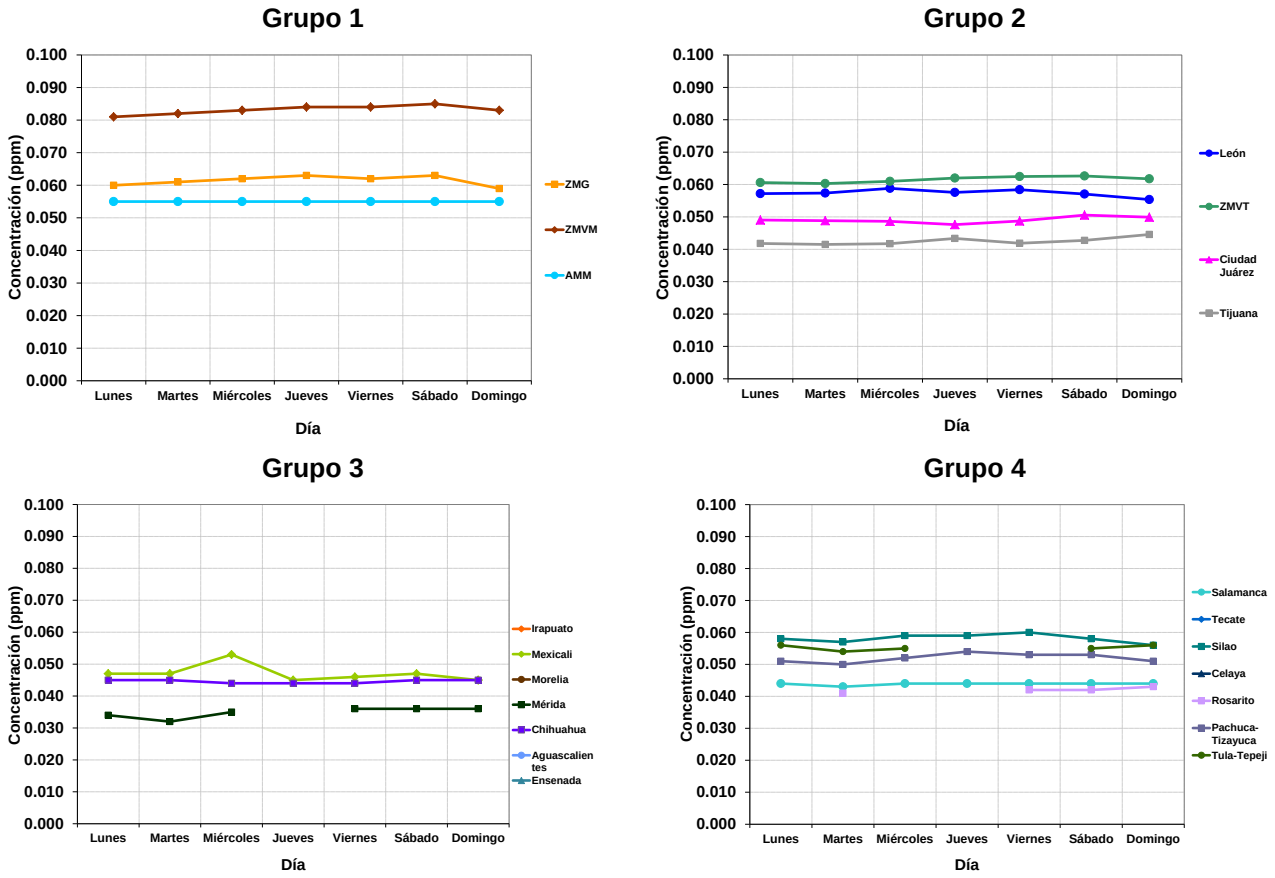


El comportamiento de las concentraciones promedio máximas diarias durante el periodo de análisis (Figura 45) muestra un patrón muy similar en todas las ciudades, con concentraciones relativamente constantes de lunes a domingo, donde las diferencias entre los días con la concentraciones más altas y aquellos con las concentraciones más bajas varían entre el 1 y el 5 % en la mayoría de los casos. Sólo en ciudades como Mexicali, Tijuana y Mérida las diferencias son un poco mayores (alrededor del 10%).

La magnitud de las concentraciones que se aprecian en la Figura 45 son mayores a las que pueden observarse en el Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009) (INE-SEMARNAT, 2011), debido a que en este documento se utiliza como dato base para generar el indicador el máximo diario en lugar del dato horario (vease descripción metodológica en la sección 3.2.3.2).

Este cambio se hizo con la finalidad de observar las diferencias de las concentraciones entre días de la semana pero sin atenuar la magnitud del indicador al considerar todas las concentraciones horarias, pues ello implica la inclusión de concentraciones nocturnas que, por la naturaleza fotoquímica del contaminante, suelen ser muy bajas.

Figura 45. COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



Destaca que en todas las ciudades las concentraciones de sábado y domingo son tan altas como las registradas en los días entre semana y, ocasionalmente son incluso ligeramente mayores, como en la ZMVM, ZMVT, Cd. Juárez, Tijuana, Mérida, Chihuahua, Tula y Rosarito.

Esta situación ha sido observada en varias ciudades del mundo y se le ha denominado “efecto de fin de semana” (IAL, 2007), el análisis de este fenómeno ofrece la oportunidad de entender mejor el régimen químico responsable de la formación de ozono y el aspecto central a explicar por qué las concentraciones de este contaminante se mantienen relativamente sin cambios durante los fines de semana, en relación con los días entre semana, cuando la emisión de precursores es considerablemente menor.

Al respecto Lawson (2003), resumió las posibles razones en términos de las siguientes seis hipótesis:

- Menores emisiones de NOx en fin de semana conducen a una menor inhibición en la formación de O_3, bajo condiciones limitantes de VOC.
- Retraso temporal en las emisiones de NOx en fines de semana.
- Arrastre de contaminantes del día previo a nivel de superficie.
- Arrastre de contaminantes del día previo en altura.
- Mayores emisiones de COV en fin de semana.
- Mayor fotólisis en fin de semana debido a una menor presencia de aerosoles.

La hipótesis que mejor explique el efecto de fin de semana en cada ciudad o zona metropolitana dependerá enteramente de las particularidades de cada una de ellas.

Como ocurre con el comportamiento durante el día, la ZMVM exhibe las concentraciones diarias más altas de todas las ciudades o zonas metropolitanas analizadas, llegando a ser casi del doble de lo registrado en ciudades como Rosarito, Tijuana, Mérida y Salamanca, donde se reportan los máximos diarios más bajos.

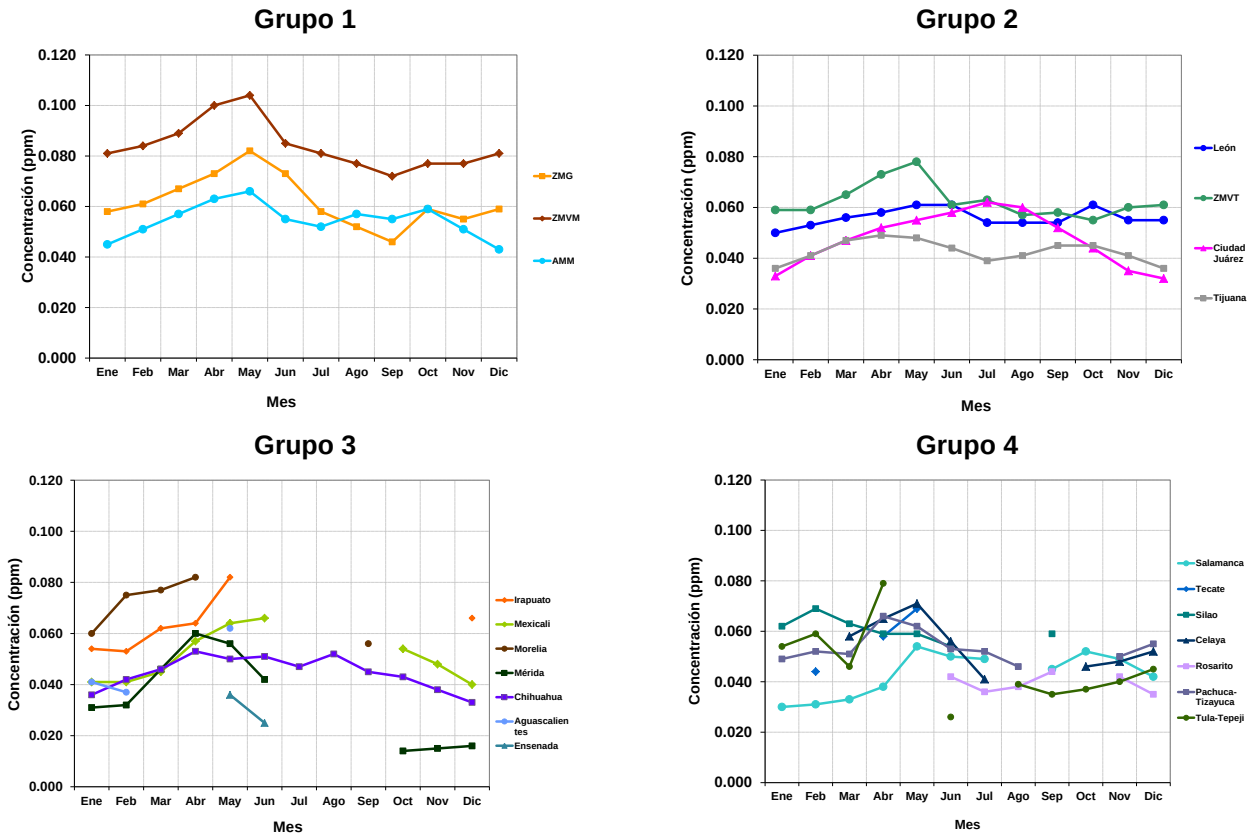
En relación con el comportamiento del ozono durante el año, en la Figura 46 se observa que la época de mayores concentraciones, en todas las ciudades analizadas, se presenta a finales de la primavera y principios de verano, principalmente debido a que en estos meses se presentan condiciones meteorológicas tanto locales como sinópticas que favorecen la formación y acumulación de este contaminante.

En la mayoría de la ciudades incluidas en este análisis las concentraciones más altas ocurren en los meses de abril y mayo, salvo en Rosarito y Mexicali que presentan sus máximos en junio y Ciudad Juárez, que los registra en julio.

La ZMVM es, de todas las ciudades analizadas, la zona que registra las concentraciones promedio mensuales más altas durante todo el año. Las ciudades con el promedio mensual más alto después de la ZMVM son Guadalajara, Morelia e Irapuato, en donde dicha concentración fue apenas 21% inferior.

Llama la atención que la concentración promedio mensual más alta de Irapuato y Morelia (0.081 ppm), ciudades con menos de un millón de habitantes, sea de la misma magnitud que la registrada en la ZMG y mayor a lo reportada para la ZMVT y el AMM, donde además de existir una actividad industrial intensa la población sobrepasa los dos y cuatro millones de habitantes, respectivamente.

Figura 46. COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL OZONO EN 21 CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



Las concentraciones promedio mensuales más bajas suelen ocurrir, en la mayoría de las ciudades analizadas, en la época fría del año, entre noviembre y febrero, sin embargo, ciudades como Celaya, Tula - Tepeji y Pachuca - Tizayuca, todas pertenecientes al grupo 4, registran sus concentraciones más bajas entre junio y agosto, lo cual es poco habitual, pues como se ha referido con anterioridad, en el verano suelen presentarse las condiciones meteorológicas más favorables (por ej. altas temperaturas y radiación solar intensa) para la formación de este contaminante.

Es importante destacar que la mayoría de las ciudades que conforman el grupo 3, y varias más del grupo 4, muestran una escasez importante de información que les impide satisfacer el requerimiento de suficiencia para poder generar el indicador.

2.2.9 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000 - 2013

A fin de tener un diagnóstico sobre la cantidad de información generada a través de las mediciones de ozono realizadas en cada SMCA, se desarrolló el presente indicador que permite identificar la evolución temporal tanto del número total de estaciones de monitoreo donde se mide este contaminante, como del número de estaciones en donde es posible generar, al menos, 75% de datos válidos horarios respecto del total de datos horarios posibles en un año calendario (vease sección de metodología para conocer el detalle sobre la construcción de este indicador).

En la Tabla 26 se puede observar que históricamente el SMCA de la ZMVM es la que tiene el mayor número de estaciones donde se mide el ozono y que sólo en los años 2001, 2002 y 2010 fue posible que todas las estaciones en operación generaran información suficiente para cumplir con el criterio de 75% de datos horarios válidos. Por el contrario, el año con el peor desempeño fue 2011 cuando sólo en el 48% de las estaciones (14 de 29) se cumplió esta meta.

Sin embargo, esta situación se explica por el hecho de que en este año dos estaciones de monitoreo dejaron de medir el contaminante a partir de febrero y en el segundo semestre del año se incorporaron a medir el contaminante siete estaciones nuevas. Esto es, durante 2011 hubo 9 estaciones en las que no era posible esperar que se generara información suficiente para cumplir con la meta del 75% de los datos horarios posibles en un año calendario. En el resto de los años analizados entre el 73 y 96% de las estaciones alcanzaron esta meta.

En la ZMG, en promedio para todo el periodo de análisis, 90% de las estaciones de monitoreo donde se mide el ozono generó al menos 75% de los datos horarios válidos esperados en cada año calendario, siendo los años 2001, 2002 y 2006 los únicos en los que el 100% de las estaciones alcanzaron este objetivo.

En todos los demás años sólo una de las estaciones de monitoreo en operación no fue capaz de producir, al menos, el 75% de los datos horarios válidos esperados.

El AMM muestra un muy buen desempeño general con respecto a este indicador. En él se puede observar que en 9 de los 13 años considerados en este análisis todas las estaciones de monitoreo en operación, durante cada año, fueron capaces de generar al menos 75% de los datos horarios válidos esperados en cada año. Por otra parte, en los años 2000, 2001, 2012 y 2013 sólo una de las estaciones de monitoreo en operación no fue capaz de alcanzar esta meta, en tanto que 2009 éste fue el caso en 2 de las 7 estaciones en funcionamiento.

TABLA 27. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DE OZONO POR SMCA

AÑO		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	ZMVM	19 de 20	20 de 20	20 de 20	19 de 20	19 de 20	18 de 21	18 de 20	19 de 22	19 de 22	16 de 22	22 de 22	14 de 29	24 de 26	27 de 28
	ZMG	7 de 8	8 de 8	8 de 8	7 de 8	7 de 8	7 de 8	8 de 8	7 de 8	7 de 8	7 de 8	7 de 8	8 de 9	8 de 9	9 de 10
	AMM	4 de 5	4 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 5	5 de 7	7 de 7	7 de 7	8 de 9	8 de 9
Grupo 2	ZMVT	5 de 5	4 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	7 de 7	5 de 7	3 de 7	0 de 7	F.O.	F.O.	6 de 7	6 de 7	5 de 7
	Tijuana	3 de 3	1 de 3	2 de 3	2 de 3	3 de 3	3 de 3	3 de 3	1 de 3	1 de 3	2 de 3	1 de 3	1 de 3	2 de 2	0 de 2
	León							1 de 2	2 de 2	2 de 3	3 de 3	3 de 3	2 de 3	3 de 3	3 de 3
	Ciudad Juárez	1 de 3	2 de 3	1 de 3	2 de 3	2 de 3	2 de 3	1 de 3	2 de 3	2 de 3	1 de 3	2 de 3	2 de 3	3 de 3	2 de 3
Grupo 3	Mexicali	3 de 4	1 de 4	0 de 3	0 de 3	0 de 3	0 de 3	1 de 4	0 de 4	3 de 4	3 de 4	1 de 4	1 de 3	0 de 4	0 de 3
	Mérida														1 de 1
	Chihuahua								1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1
	Aguascalientes	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	0 de 1
	Morelia									0 de 1	1 de 1	0 de 1	0 de 1	1 de 1	1 de 1
	Irapuato							0 de 3	0 de 3	2 de 3	2 de 3	1 de 3	2 de 3	3 de 3	2 de 3
	Ensenada													0 de 1	0 de 1
Grupo 4	Celaya							2 de 3	0 de 3	1 de 3	1 de 3	1 de 3	3 de 3	3 de 3	2 de 3
	Pachuca-Tizayuca										S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	1 de 3
	Tula-Tepeji					S.I.	S.I.	S.I.	N.I.	N.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	1 de 4
	Salamanca							0 de 3	3 de 3	3 de 3	1 de 3	0 de 3	0 de 3	3 de 3	3 de 3
	Silao							0 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	0 de 1	1 de 1	1 de 1
	Tecate	0 de 1	0 de 1	0 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	1 de 1	0 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	0 de 1	F.O.
	Rosarito	0 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	1 de 1	0 de 1	F.O.	0 de 1

F.O. = Fuera de operación.
S. I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC.
N.I. = No se incluyó. Se recibió información que no cumplió con los requisitos para su inclusión en el análisis.
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición.

De las ciudades que conforman el grupo 2, la ciudad de León, que es la que tiene menos tiempo operando su SMCA, cuenta con el mejor desempeño general durante todo el periodo de análisis con respecto a este indicador, con el 85% de sus estaciones de monitoreo, en promedio, generando al menos 75% de los datos horarios válidos esperados en cada año. Le siguen la ZMVT con el 75%, Tijuana con el 62% y Ciudad Juárez donde sólo el 60% de sus estaciones alcanzaron esta meta.

En el año más reciente (2013), sin embargo, destaca que en Tijuana sólo operaron dos estaciones de monitoreo y ninguna de ellas alcanzó la meta referida, en tanto que en Ciudad Juárez y en la ZMVT sucedió lo mismo en una y dos estaciones de monitoreo, respectivamente.

Los SMCA de las ciudades Mérida, Aguascalientes y Ensenada son, dentro del grupo 3, los que tienen menos años de monitoreo de ozono (1 y 2 años, respectivamente), y a pesar de que la medición se hace únicamente en un sitio de monitoreo sólo en Mérida fue posible generar información horaria suficiente para rebasar el 75% del total de datos posibles en un año, en tanto que en Aguascalientes y Ensenada esto no se logró.

Chihuahua, Morelia e Irapuato, por su parte, tienen más tiempo realizando mediciones de ozono (desde el 2007 la primera, 2008 la segunda y 2006 la tercera) y sólo en la primera de ellas, la única estación de monitoreo en operación, ha logrado generar más del 75% de los datos horarios esperados en todos los años.

En Morelia esto se ha conseguido sólo en los años 2012 y 2013 y en Irapuato, donde se han mantenido en operación 3 estaciones de monitoreo que miden ozono, sólo en 2012 se consiguió que en todas las estaciones se generaran más del 75% de datos horarios válidos posibles.

En Mexicali que es, dentro de este grupo, la única ciudad en la que se reporta la medición de ozono durante todo el periodo de análisis, en promedio menos del 25% de las estaciones de monitoreo en operación cada año fue capaz de generar más del 75% de los datos horarios válidos posibles, e incluso en los dos años más recientes en ninguna de las estaciones de monitoreo en operación esto fue posible.

En el grupo 4 se observa que los SMCA de Tecate y Rosarito han realizado el monitoreo del ozono por más tiempo, aunque en una sola estación de monitoreo, y sólo de manera muy puntual en algunos años (2003-2005, 2007 y 2009-2010 en Tecate y 2001 a 2010 en Rosarito) se ha conseguido asegurar la generación de más del 75% de los datos horarios. En Silao, donde se mide el ozono desde el año 2006, en una estación de monitoreo, se reportan mediciones suficientes sólo en los años 2007 a 2009 y 2012 a 2013.

En Celaya y Salamanca se realiza la medición de ozono desde el año 2006 en tres estaciones de monitoreo. En la primera se reporta la generación de al menos 75% de los datos horarios de este contaminante en todas las estaciones de monitoreo en los años 2011 y 2012. En los demás años, en al menos una de las estaciones de monitoreo, no se alcanza esta meta. En Salamanca, por su parte, se aprecia un mejor desempeño y la generación suficiente de información se registra en las tres estaciones de monitoreo en los años 2007 a 2008 y 2012 a 2013.

Los SMCA de las regiones de Pachuca - Tizayuca y Tula - Tepeji sólo reportan datos para el año 2013 y en ambos casos la medición del ozono cumple con el criterio de suficiencia antes definido en únicamente una de las estaciones de monitoreo donde se realiza dicha medición.

2.3 Dióxido de azufre (SO_2)

El azufre está presente en el petróleo y el carbón en su estado natural, y se señala desde hace décadas al dióxido de azufre (SO_2) y a los óxidos de nitrógeno (NO_x) como responsables en buena medida de las “lluvias ácidas” y de la contaminación del aire que afectan a las zonas urbanas e industriales. Recientemente, se han reconocido a las emisiones de SO_2 por su contribución a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, partículas finas que son perjudiciales para la salud humana.

El dióxido de azufre se genera como emisión tanto de fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y puede oxidarse para formar trióxido de azufre (SO_3) así como iones sulfato (SO_4), que forman sales inorgánicas y ácido sulfúrico, componentes importantes de las partículas secundarias.

Se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria; constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con el material particulado (PST, PM_{10}) y dar lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica. Esta combinación, dióxido de azufre/partículas menores a 10 micrómetros de diámetro fracción inhalable (SO_2/PM_{10}), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, es la responsable de episodios poblacionales de mortalidad en diferentes partes del mundo, así como del incremento de la morbilidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias superiores (DOF, 2010).

Información científica de estudios epidemiológicos sobre los efectos que se producen por la exposición a periodos de 24 horas de SO_2, de manera individual o asociado a material particulado o a otros contaminantes, establece un aumento en la sintomatología de pacientes sensibles, cuando se exceden los valores de 0.087 ppm (228 $\mu g/m^3$) en presencia de materia particulada (Johnson et al., 2002).

La OMS recomienda a todos los países que adopten como límite máximo el valor de 20 $\mu g/m^3$ (0.008 ppm) para la concentración promedio de 24 horas y un máximo de 500 $\mu g/m^3$ (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.

La misma organización exhorta a los países en los que no se cumplan los valores recomendados, como lo hace para otros contaminantes, para que establezcan un plan de manera que, gradualmente, se cumplan dos objetivos intermedios (denominados OI-1 y OI-2) a fin de alcanzar, en el menor tiempo posible, el límite recomendado (WHO, 2006).

2.3.1 Normatividad

La Figura 47 muestra los límites de concentración recomendados por la OMS para este contaminante y su comparación con la normatividad de México, Estados Unidos de América (NAAQS-USEPA), California (CARB-US) y Unión Europea.

En ella se puede observar que la OMS sólo establece recomendaciones para los promedios de 10 minutos y 24 horas, en tanto que en México la normatividad vigente considera límites para periodos de 8 horas, 24 horas y anual.

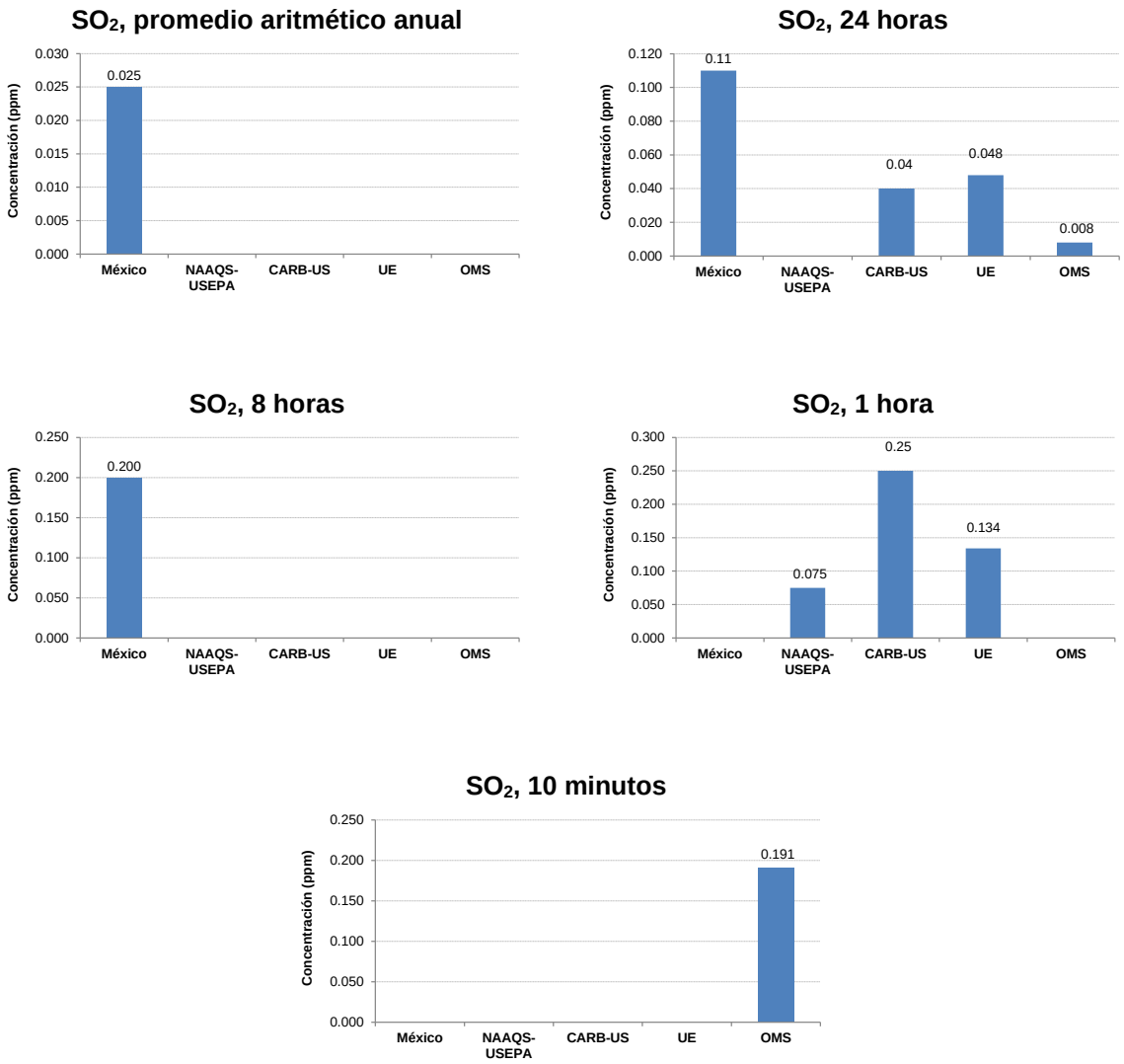
En México, la NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010) especifica como límite máximo de la concentración promedio de 24 horas 0.110 ppm (288 µg/m³), que es casi 14 veces el valor recomendado por la OMS (20 µg/m³ o 0.008 ppm).

California y la Unión Europea también definen límites de 24 horas, y con respecto a ellos la norma mexicana es equivalente a 2.75 y 2.29 veces el valor establecido en cada estándar, respectivamente.

Los límites anual y de 8 horas, sólo están definidos en la normatividad mexicana y no tienen parámetros de referencia o comparación en ninguna otra región, país o ciudad incluidos en este análisis.

Los límites de 1 hora y de 10 minutos no están considerados por el momento en la normatividad mexicana. Sin embargo, será necesario en un futuro evaluar la evidencia epidemiológica que sustenta dichos límites (WHO, 2006; Official Journal of the European Union, 2008; EPA, 2010), para evaluar la conveniencia de incluirlos o no en la NOM-022-SSA1-2010.

Figura 47 LÍMITES DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADOS POR LA OMS PARA SO_2 Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVIDAD DE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (NAAQS-USEPA), CALIFORNIA (CARB-US), UNIÓN EUROPEA



Fuente: NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010)
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

2.3.2 Indicadores de la calidad del aire para SO_2 (2000-2013)

En esta sección se describirán las tendencias observadas en la calidad del aire, con respecto al dióxido de azufre, conforme a la información generada en el periodo 2000 a 2013 por los SMCA pertenecientes a la ZMVM, Salamanca y Tula -Tepeji.

Los indicadores de la calidad del aire, con respecto a este contaminante, calculados de acuerdo con el procedimiento y los criterios de suficiencia de información descritos en la metodología, incluidos en esta sección, son:

- Evaluación del cumplimiento de la NOM

  - ✓ Cumplimiento de los límites de concentración de 8 horas, 24 horas y anual en el año 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración del promedio de 8 horas, en el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite de concentración de 24 horas, en el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Cumplimiento del límite anual, en el periodo 2000 - 2013.

- Número de días con calidad del aire buena, regular y mala, teniendo como referencia las concentraciones máximas diarias, en el periodo 2000 - 2013.

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

  - ✓ Comportamiento horario para el periodo 2000 - 2013
  - ✓ Comportamiento diario para el periodo 2000 - 2013.
  - ✓ Comportamiento mensual para el periodo 2000 - 2013.

- Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000 - 2013.

2.3.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM

Para cada una de las ciudades y zonas metropolitanas se hace el análisis del cumplimiento de los límites permisibles de concentración de 8 horas, 24 horas y anual, primero de manera particular para el año 2013 y luego de manera general para el periodo 2000 - 2013.

La Tabla 28 muestra la evaluación del cumplimiento de los límites referidos en los tres SMCA incluidos en este análisis en el año 2013, tomando como referencia la norma vigente NOM-022-SSA1-2010. En dicho cuadro se puede observar que:

- Los límites de ocho horas (0.200 ppm), 24 horas (0.11 ppm) y anual (0.025ppm) sólo se cumplen en los SMCA de la ZMVM y Salamanca.

- El límite de 8 horas registrado en la zona de Tula - Tepeji es equivalente a 1.6 veces el valor de la norma.

- El SMCA de Tula - Tepeji no generó información suficiente en 2013 para poder evaluar el cumplimiento de los límites de 24 horas y anual.

Es importante destacar que la NOM-022-SSA1-2010, no establece ninguna directriz sobre el manejo de datos; sin embargo, por consistencia con el manejo hecho en el análisis de ozono, PM_{10} y $PM_{2.5}$ se decidió aplicar en este caso el criterio de suficiencia de datos del 75% para poder desarrollar los indicadores correspondientes, y es en este contexto que en la Tabla 28 aparece la indicación de insuficiencia de datos para estimar los indicadores de cumplimiento de los límites de 24 horas y anual en el caso del SMCA de Tula-Tepeji.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de dióxido de azufre sólo si satisface el criterio de suficiencia de información (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 8 horas, 24 horas y anual, la norma se cumple en los SMCA dela ZMVM y Salamanca pero no en el de Tula - Tepeji.

La NOM-022-SSA1-2010 tampoco establece ningún criterio sobre la evaluación de cumplimiento de la misma cuando en un SMCA se incumple al menos uno de los límites incluidos en la misma (8 horas, 24 horas y anual). Sin embargo, por consistencia con los criterios usados en la evaluación de cumplimiento de la normas de ozono (NOM-020-SSA1-1993) y partículas (NOM-025-SSA1-1993), se decidió aplicar los mismos en el caso del dióxido de azufre. Esto es, para poder determinar que se cumple con la NOM-022-SSA1-2010 es necesario que no se rebase ninguno de los límites antes referidos. Para más detalle sobre los criterios usados en este análisis se sugiere referirse al capítulo que describe la metodología.

Tabla 28 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-022-SSA1-2010 DE SO_2 EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-022-SSA1-2010			CUMPLE
			LÍMITE DE 8 HORAS 0.200 ppm SEGUNDO MÁXIMO*	LÍMITE 24 HORAS 0.11 ppm MÁXIMO**	LÍMITE ANUAL 0.025 ppm PROMEDIO ANUAL***	
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	0.193	0.079	0.010	Sí
Grupo 4	Hidalgo	Tula-Tepeji	**0.316**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	0.141	0.086	0.024	Sí

* De los promedios móviles de 8 horas.
**De los promedios de 24 horas.
***De las concentraciones horarias.

La Figura 48 muestra el estatus de cumplimiento o incumplimiento de la NOM-022-SSA1-2010 de dióxido de azufre en el año 2013 en los SMCA incluidos en este análisis, bajo la consideración de que dicha norma se cumple sólo cuando no se rebasa ninguno de los tres valores límite (8 horas, 24 horas y anual). En ella se puede observar claramente que en 2013 sólo los SMCA de la ZMVM y Salamanca cumplieron con la NOM-022-SSA1-2010.

Figura 48. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-022-SSA1-2010 DE SO_2 EN 2013

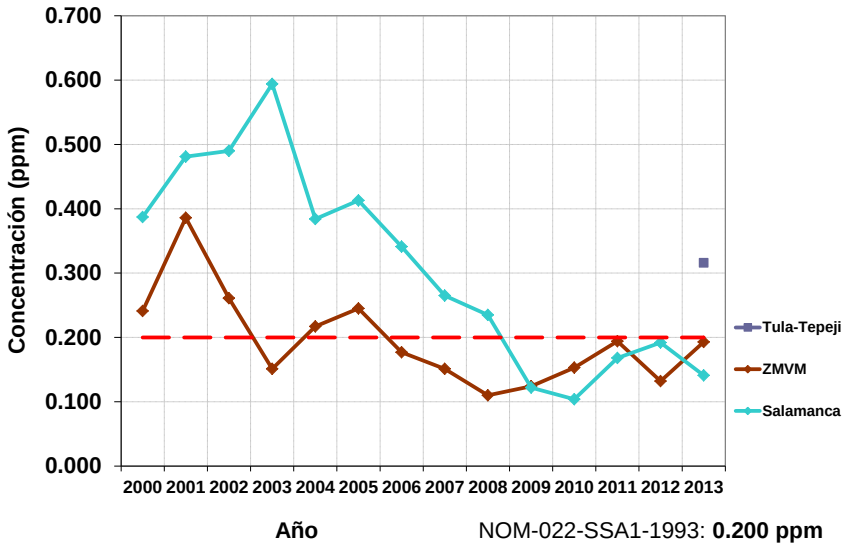
2.3.4 Evaluación del cumplimiento del límite de 8 horas de SO_2

La Figura 49 presenta, para las tres ciudades o zonas metropolitanas consideradas en este análisis, las series de tiempo usadas para evaluar el cumplimiento de la NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010), específicamente el límite de 8 horas.

En ella se puede observar que el SMCA de Tula - Tepeji sólo reporta datos para el año 2013 y el segundo máximo de los promedios móviles de ocho horas de este año es equivalente a 1.6 veces el valor límite.

La ZMVM y Salamanca, que tienen las series históricas más completas, muestran una notable tendencia decreciente a través del tiempo que las lleva a cumplir con el límite normado de manera consistente desde el año 2006 en el caso de la primera y 2009 en la segunda. Históricamente las concentraciones más elevadas suelen ocurrir en Salamanca, donde en 2003 se registró una concentración equivalente a casi 3 veces el límite normado.

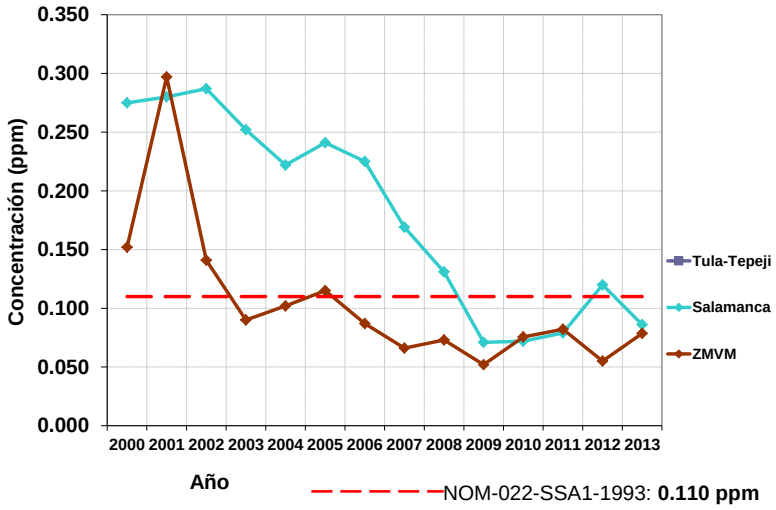
Figura 49. LÍMITE DE 8 HORAS (SEGUNDO MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO



2.3.5 Evaluación del cumplimiento del límite de 24 horas

Con respecto al límite de 24 horas, la Figura 50 muestra la tendencia histórica de la concentración máxima de los promedios de 24 horas tanto en la ZMVM como en Salamanca.

Figura 50. LÍMITE 24 HORAS (MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO

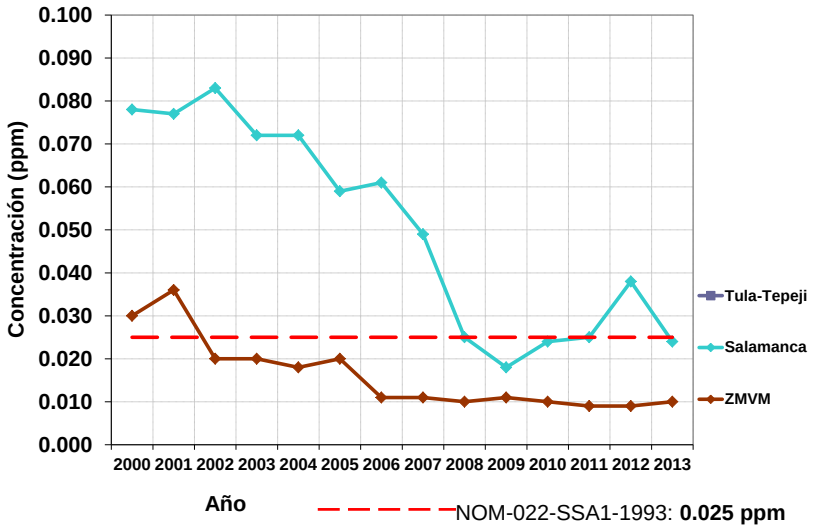


En la región Tula - Tepeji no fue posible generar el indicador por insuficiencia de datos. Al igual que en el caso del límite de 8 horas se observa una tendencia decreciente tanto en la ZMVM como en Salamanca. En el caso de la ZMVM dicha tendencia ubica los máximos de 24 horas por debajo del límite normado, de manera consistente, desde el año 2006, mientras que en Salamanca esto ha sucedido sólo en los años 2009 a 2011 y 2013. En 2012 la concentración registrada en Salamanca fue 9% superior al límite permisible.

2.3.6 Evaluación del cumplimiento del límite anual de SO_2

En términos de la evaluación de cumplimiento del límite anual, la Figura 51 muestra que en la ZMVM las concentraciones promedio anuales de 2002 a 2013 se ubican por debajo del límite máximo normado, en tanto que en Salamanca, a pesar de mostrar un marcada tendencia decreciente del año 2002 a la fecha, aún no ha sido posible cumplir con regularidad con dicho valor, pues esto se ha logrado sólo en los años 2008 a 2010 y en 2013. En la región Tula - Tepeji no fue posible generar el indicador por insuficiencia de datos.

Figura 51. LÍMITE ANUAL (PROMEDIO ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES HORARIAS) DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO



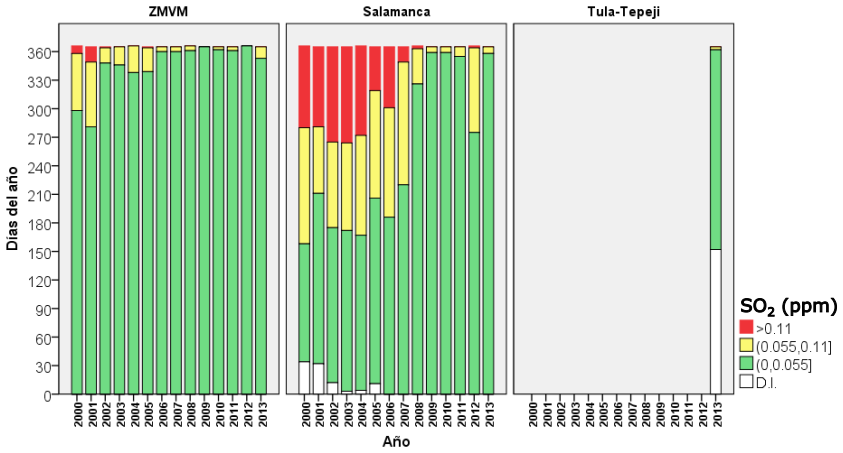
2.3.7 Número de días con calidad del aire buena, regular y mala (2000-2013)

Las figuras incluidas en esta sección ilustran, para cada grupo de ciudades o zonas metropolitanas, la distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala con respecto a las concentración de dióxido de azufre. El dato base de este indicador es el promedio de 24 horas.

De las tres ciudades o zonas metropolitanas incluidas en este análisis, se puede observar que en la ZMVM, de 2003 a la fecha, sólo se ha presentado un día con mala calidad del aire (rojo) por dióxido de azufre y ocurrió en 2005. Igualmente destaca que en esta zona metropolitana, exceptuando los años 2000 y 2001, el porcentaje de días con buena calidad del aire (verde) es superior al 90% en cada uno de los años.

De hecho, en 2009 y 2012 el 100% de los días registraron buena calidad del aire con respecto a este contaminante. Por su parte, el porcentaje de días con calidad del aire regular (amarillo) han sido menores al 10% desde el 2002.

Figura 52. DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULAR Y MALA DE SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO



Salamanca muestra una notable reducción en el número de días con mala calidad del aire (rojo), pasando del 23% de los días en esta condición en el año 2000 al 0% en los años 2010 a 2013. Por el contrario, los días con buena calidad del aire (verde) muestran una tendencia creciente en la que se pasa de sólo 124 días del año 2000 (34%) a 358 días del año 2012 (98%) en esta condición.

Los días con calidad de la aire regular (amarillo) también han venido disminuyendo desde el año 2008 en favor de los días con buena calidad del aire.

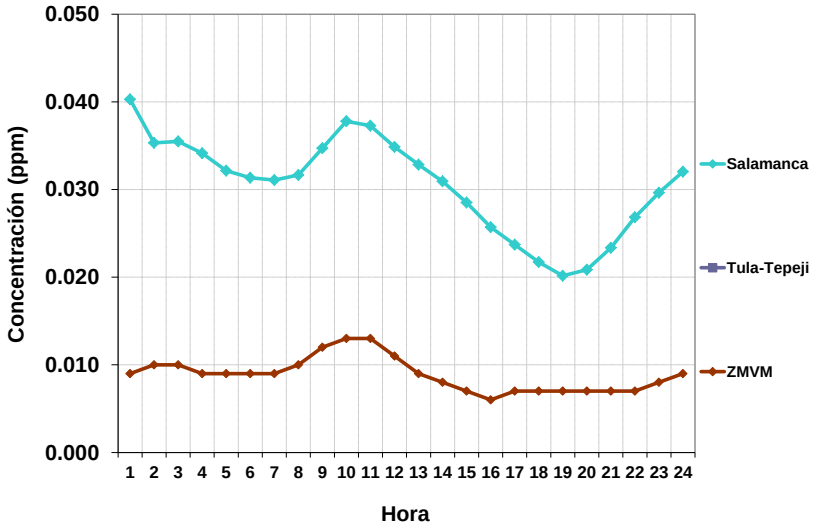
El SMCA de Tula-Tepeji sólo reporta datos para el año 2013 que revelan que durante 42% de los días del año no hubo información suficiente (blanco) para generar el indicador.

Del 58% de los días restantes 57% corresponden a días con calidad del aire buena (verde) y 1% a días con calidad del aire regular. No se reporta un sólo día con mala calidad del aire.

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

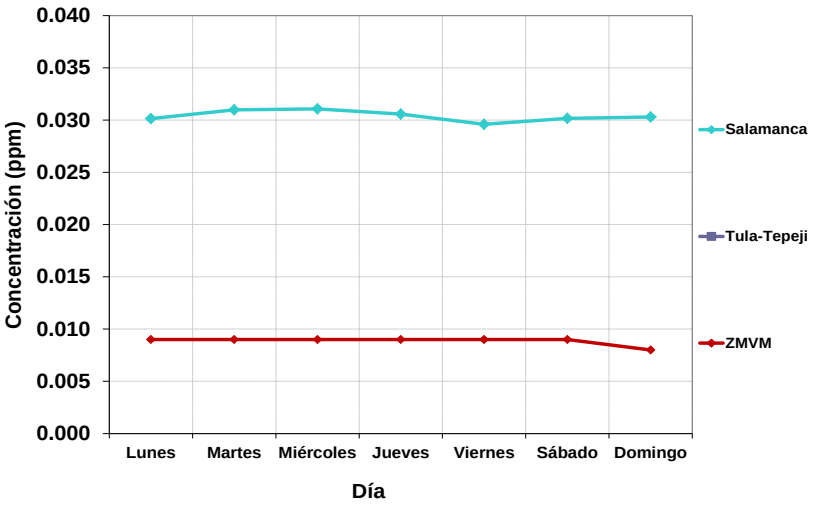
En esta sección se ilustran el comportamiento del dióxido de azufre en diferentes escalas temporales, que incluyen el comportamiento horario, semanal y mensual. Así, por ejemplo, la Figura 53 muestra el comportamiento del SO_2 durante el día en la ZMVM y Salamanca. En el Valle de México se observa un comportamiento unimodal en el que las concentraciones horarias más altas se presentan entre las 9 y 12 del día, hora a partir de la cual empiezan a decrecer y se mantienen con muy poca variación a partir de las 2 de la tarde. En el caso de Salamanca, se aprecia un comportamiento bi-modal, con un primer pico de concentración entre las 9 y 12 del día y otro, de menor intensidad, que empieza a formarse a partir de las 9 de la noche. En general, las concentraciones más altas se observan consistentemente en Salamanca durante todo el día.

Figura 53. COMPORTAMIENTO HORARIO DEL SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



El comportamiento de las concentraciones diarias (promedio de 24 horas) de SO_2 durante el periodo de análisis (Figura 54), muestra un patrón muy similar, con concentraciones relativamente constantes de lunes a domingo, donde las diferencias entre los días con la concentraciones más altas y aquellos con las concentraciones más bajas varían entre el 3% en el caso de Salamanca y el 12% en el caso de la ZMVM. En el caso de la ZMVM la concentración promedio diaria se mantiene constante de lunes a sábado (0.009 ppm) y registra una ligera caída los domingos (0.008 ppm). Por su parte Salamanca, que registra las concentraciones diarias más elevadas (normalmente superiores entre 3 y 4 veces a los valores registrados en la ZMVM), muestran variaciones menores a un 3% de un día a otro.

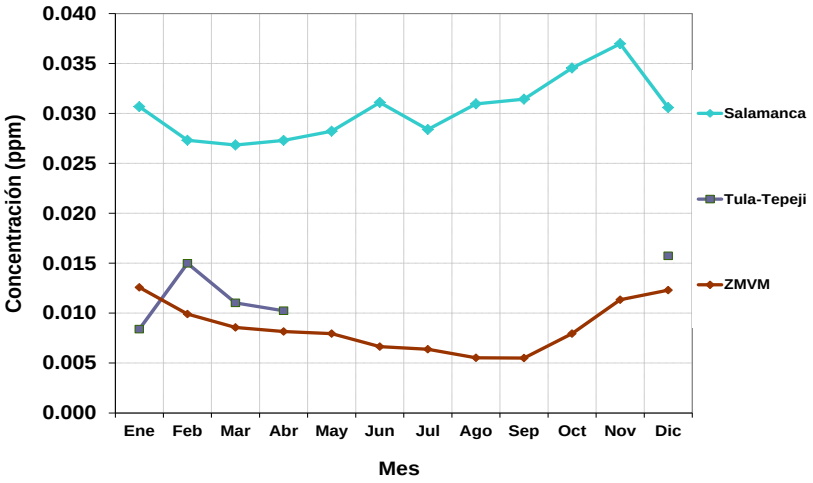
Figura 54. COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL SO_2 EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



En relación con el comportamiento del SO_2 durante el año, en la Figura 55 se observa que las concentraciones mensuales más elevadas se registran, tanto en Salamanca como en la ZMVM, entre octubre y enero. Por el contrario, las concentraciones más bajas se presentan en el verano, particularmente en la ZMVM, quizá como resultado de las lluvias que se verifican en esta época del año y que promueven el depósito húmedo de los contaminantes. En Salamanca, las concentraciones más bajas se reportan para el periodo que va de febrero a abril, y a partir de mayo empiezan a experimentar un crecimiento que culmina con la presencia de un pico de concentraciones entre octubre y enero, como se ha referido anteriormente.

El SMCA de Tula - Tepeji sólo reportó datos para 5 meses y por ello no es posible definir una tendencia específica a lo largo del año. Sólo se puede destacar que, de acuerdo con la información disponible, la concentración más alta se registra en el mes de diciembre.

Figura 55. COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL OZONO EN TRES CIUDADES O ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO (2000-2013)



2.3.9 Número de estaciones de monitoreo con suficiencia de información por SMCA, en el periodo 2000-2013

A fin de tener un diagnóstico sobre la cantidad de información generada a través de las mediciones de SO_2 realizadas en cada SMCA, el presente indicador permite identificar la evolución temporal tanto del número total de estaciones de monitoreo donde se mide este contaminante, como del número de estaciones en donde es posible generar, al menos, el 75% de datos válidos horarios respecto del total de datos horarios posibles en un año calendario (ver sección de metodología para conocer el detalle sobre la construcción de este indicador).

En la Tabla 29 se puede observar que el SMCA de la ZMVM es la que tiene el mayor número de estaciones donde se mide el SO_2 y que en todos los años, excepto 2009 y 2011, al menos el 85% de las estaciones en operación han sido capaces de generar por lo menos el 75% de los datos horarios válidos posibles.

En 2009 el porcentaje de estaciones que generaron información con la suficiencia usada en este indicador fue de 73% y ello obedeció a factores tales como retrasos en el programa de compras, reducción de contratos de servicios, ajustes presupuestales, disminución en el número de refacciones y consumibles de importación, cierre de escuelas y edificios públicos en donde se ubican algunas estaciones, daños eléctricos en los equipos de medición y problemas en el suministro de energía eléctrica (SMA-GDF, 2009). 2011 fue el año con el porcentaje más bajo de estaciones generando al menos el 75% de datos horarios válidos posibles con solo el 48% (esto es, 14 de un total de 29 estaciones de monitoreo); sin embargo, esto es consecuencia de que algunas estaciones dejaron de operar temporalmente como resultado del rediseño del que fue objeto dicho SMCA en este año.

El SMCA de Tula-Tepeji reportó datos sólo para el año 2013 y la información disponible indica que únicamente en 1 de 4 estaciones fue posible generar al menos el 75% de los datos horarios válidos posibles.

En Salamanca, donde se dispone de información desde al año 2006, se observa un comportamiento un tanto irregular, pues lo mismo hay años donde las 3 estaciones que miden este contaminante logran generar al menos el 75% de los datos horarios posibles (2007, 2008, 2012 y 2013) que años en los que ninguna de ellas lo logra (2006, 2010 y 2011).

Tabla 29. NÚMERO DE ESTACIONES DE MONITOREO CON DATOS SUFICIENTES DEL SO_2 POR SMCA

AÑO		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	ZMVM	19 de 20	20 de 20	20 de 20	19 de 20	19 de 20	18 de 21	18 de 20	19 de 22	19 de 22	16 de 22	22 de 22	14 de 29	24 de 26	27 de 28
Grupo 4	Tula-Tepeji					S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	1 de 4
	Salamanca							0 de 3	3 de 3	3 de 3	1 de 3	0 de 3	0 de 3	3 de 3	3 de 3

SI = No se recibió información del equipo de medición en el INECC.
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición.

3. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los indicadores presentados en los capítulos anteriores son resultado de la aplicación de varios procedimientos, herramientas y metodologías. A continuación se describe el procedimiento para la verificación de las bases de datos validadas proporcionadas por los diferentes SMCA al INECC, así como las herramientas y metodología utilizadas para generar los indicadores que permiten evaluar el cumplimiento de las NOM de calidad del aire publicadas por la Secretaria de Salud con respecto a por lo menos uno los siguientes contaminantes: PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2, así como analizar las tendencias temporales en las distintas ciudades y zonas metropolitanas incluidas en este documento.

3.1 Procedimiento de verificación de las bases de datos de calidad del aire

Este procedimiento de verificación de datos tiene el propósito de identificar los datos extremos o los comportamientos temporales y estacionales anómalos de los contaminantes atmosféricos para su posterior validación o invalidación con los responsables de los SMCA de acuerdo a sus bitácoras de operación. Una vez realizado este procedimiento, los datos se consideran o no en las bases de datos históricas validadas con los que se generan los indicadores que se presentan en este documento.

La verificación de datos consta de tres etapas secuenciales: 1) la limpieza de las bases de datos, 2) la identificación de los datos extremos y comportamientos anómalos y 3) la verificación de la validez de los datos sospechosos. A continuación se describe cada una de las etapas y se ilustra en la Figura 56:

Limpieza de datos

Se eliminaron valores etiquetados como *no válidos* de acuerdo con las banderas[26] asignadas por los sistemas de adquisición de datos de los analizadores. Por ejemplo, se colocan banderas a los datos, entre otras razones, por fallas en el sistema eléctrico o de comunicación, por fallas en los equipos de medición, y por la calibración o mantenimiento de los equipos de medición.

Se eliminaron datos negativos o nulos: estos datos se consideran no válidos, pues la mayoría de los equipos de monitoreo cuentan con límites inferiores de detección[27] que son mayores que cero.

[26] 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.
[27] Las concentraciones mínimas de un contaminante que el equipo de monitoreo puede registrar.

Identificación de datos extremos y comportamientos anómalos

Se identificaron los datos que presentaron un comportamiento diferente del patrón típico temporal y estacional de los contaminantes atmosféricos, este procedimiento incluyó la elaboración de:

a) Gráficas de series de tiempo horarias de cada uno de los años para identificar saltos abruptos a una diferente magnitud del parámetro medido, que puede indicar un cambio en el funcionamiento del analizador o del sensor; cuando se presentan valores extremos, y/o de poca duración y valores pegados (es decir registros con valores iguales en cuatro o más horas consecutivas) que son marcados para verificarlos con los responsables de las redes.

b) Gráficas del comportamiento del contaminante en el tiempo (en cada una de las horas del día, en cada uno de los días de la semana y en cada uno de los meses del año, ordenando por hora del día y meses del año, ordenado por días de la semana y meses del año). En estas gráficas se verificó visualmente la continuidad y tendencia de cada uno de los contaminantes con referencia a su comportamiento típico. Por ejemplo, el ozono, por ser un contaminante fotoquímico es sumamente sensible a la presencia de radiación solar, por lo que en presencia de sus precursores y a mayor radiación solar resulta una mayor concentración de ozono, es decir, las concentraciones más altas de ozono se presentan durante el día y no en la noche.

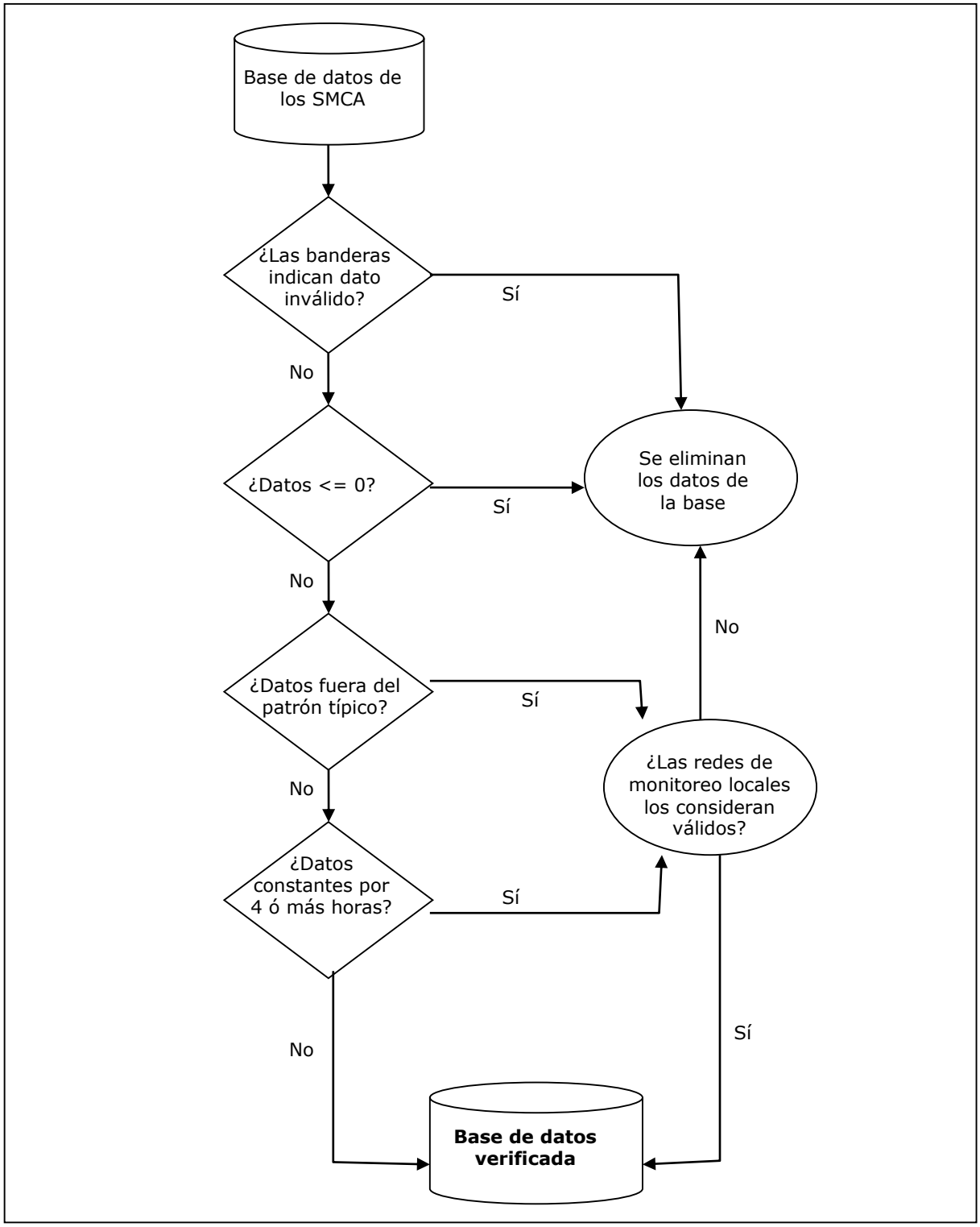
c) En el caso de las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$, se identificaron los casos en los que las concentraciones de las $PM_{2.5}$ fueron mayores que las de PM_{10} ($PM_{2.5} > PM_{10}$) en la misma estación y a la misma hora. Asimismo, se revisaron los datos consecutivos a estos registros, con el fin de observar su comportamiento y determinar con los responsables de las redes de acuerdo a sus bitácoras de operación y condiciones locales la validez de los mismos.

Verificación de la validez de los datos sospechosos

Una vez identificados los datos sospechosos se realizaron consultas directas con los responsables de los SMCA, quienes cuentan con las bitácoras de operación de los equipos de medición y cuyos registros apoyaron la validez o invalidez de dichos datos.

Una vez verificados los datos sospechosos se conformaron las bases de datos finales con las que se elaboró el diagnóstico de la calidad del aire de las ciudades y zonas metropolitanas que se incluyen en este Informe.

Figura 56. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE LAS BASES DE DATOS



3.2 Construcción de los indicadores

Después de la limpieza, revisión y verificación de las bases de datos, 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 calidad del aire, y tomando en cuenta el criterio de suficiencia de al menos 75% de datos para la realización de cada cálculo.

En las siguientes secciones se describen las herramientas, los criterios de suficiencia y los indicadores calculados para cada contaminante y cada ciudad o zona metropolitana.

3.2.1 Herramientas y bases de datos utilizadas en la generación de indicadores

La generación de los indicadores de la calidad del aire de las diferentes zonas metropolitanas y ciudades se llevó a cabo utilizando el Sistema de Consulta de Indicadores de Calidad del Aire (SCICA) desarrollado en el INECC, mismo que se alimentó a partir de las bases de datos verificadas mencionadas en la sección anterior.

En el sistema se realizaron consultas para generar los indicadores relacionados con el cumplimiento de las normas de calidad del aire (máximos, segundos máximos, quintos máximos, percentiles 98 y promedios anuales); la distribución de días buenos, regulares y malos (días en los que se rebasaron los valores límite normados); las tendencias y el comportamiento de los contaminantes hora a hora, día a día y mes a mes; las estadísticas descriptivas de los datos horarios, los datos diarios y los promedios móviles de ocho horas, lo que permitió automatizar el procesamiento de las bases de datos de calidad del aire históricas de las 22 ciudades que se analizan en este documento, con lo que se redujo la probabilidad de errores humanos.

3.2.2 Datos diarios utilizados como base para los cálculos

En la Tabla 30 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, en los cuatro contaminantes analizados se utilizó el criterio de suficiencia del al menos 75% de los datos, tal como se especifica en las normas de calidad del aire para el ozono y las partículas (DOF, 2002; DOF, 2005). Cabe mencionar que en el caso del dióxido de azufre en ausencia de los criterios de suficiencia de datos en su norma de calidad del aire y en congruencia por los criterios del ozono y las partículas, se utilizó el criterio de suficiencia de al menos 75% de datos.

Tabla 30. 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 75% de los datos (DOF, 2002)
	Máximo diario del promedio móvil de 8 horas	Al menos el 75% de los datos de promedios móviles de 8 horas (DOF, 2002)
SO_2	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios

Cabe destacar que en los informes de calidad del aire publicados con anterioridad como Almanaques de datos y tendencias de la calidad del aire en ciudades mexicanas se utilizó el criterio de suficiencia de al menos el 50% de datos horarios para obtener los datos diarios, debido a que algunos de los SMCA en México apenas cumplieron con dicho criterio para generar dichos datos.

Sin embargo, atendiendo a las recomendaciones de los protocolos de otros países y para tener una mejor representatividad estadística y en congruencia con los criterios de suficiencia de datos especificados en las NOM de ozono y partículas, en este Informe se decidió usar el criterio de suficiencia de al menos el 75% de datos para el cálculo de cualquier agregación de información, incluido el dato diario (Ministry for the Environment, 2009).

3.2.3 Indicadores relacionados con el cumplimiento de las NOM

En este documento se evalúan las zonas metropolitanas o ciudades en términos de su cumplimiento con las NOM de salud, siguiendo las especificaciones contenidas en las mismas. De manera complementaria, se obtuvo información que, si bien no representa una evaluación del cumplimiento de las normas, proporciona datos valiosos sobre la calidad del aire y su cuantificación en un año calendario.

Éste es el caso de la distribución de los días buenos, regulares y malos con respecto a la concentración de contaminantes en la atmósfera y el número de horas en el que se rebasa el límite de concentración de 1 hora de ozono.

3.2.3.1 Evaluación del cumplimiento de las NOM

Se evaluó el cumplimiento de las NOM de salud en relación con el tiempo especificado para calcular el promedio de la concentración (una 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 2% de las veces) (ver Anexo III).

La Tabla 31 resume los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOM de salud con respecto a cada uno de los contaminantes incluidos y los criterios de suficiencia de información para calcular el indicador anual.

Tabla 31. INDICADORES CALCULADOS PARA EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NOM DE SALUD

CONTAMINANTE	TIPO DE DATO UTILIZADO PARA LA EVALUACIÓN	INDICADOR	CRITERIO DE SUFICIENCIA ANNUAL
PM_{10} y $PM_{2.5}$	Dato diario (promedio de 24 horas)	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 8 horas	Quinto máximo	Al menos 75% de las concentraciones diarias provenientes de los promedios móviles de ocho horas (DOF, 2002)
	Dato horario	Máximo	Al menos 75% de las concentraciones horarias.[a]
SO_2	Promedio móvil de 8 horas	Segundo máximo	Al menos 75% de los promedios móviles de 8 horas
	Dato diario (promedio de 24 horas)	Máximo	Al menos 75% de las concentraciones diarias
	Dato horario	Promedio anual	Al menos 75% de las concentraciones horarias

[a] En el caso del dato horario del ozono en el numeral 4.3.1.1 de la NOM se especifica que aún en el caso en el que no se cumpla el criterio del 75% de los valores horarios, se incumplirá la norma cuando al menos uno de los valores horarios sea mayor a 0.110 ppm.

Evaluación del cumplimiento de los límites de la NOM por ciudad o zona metropolitana

Las normas de O_3 y PM especifican que el cumplimiento de los límites debe evaluarse por estación de monitoreo, a diferencia de la norma de SO_2. Con el fin de ser congruentes en todo el tratamiento de los datos, en el SO_2 se evaluó también el cumplimiento de sus límites por estación de monitoreo.

En todos los casos, a partir de la evaluación por estación de monitoreo se determinó el cumplimiento o incumplimiento de toda la ciudad o zona metropolitana a través de un valor representativo de acuerdo al procedimiento que se describe a continuación.

Debido a que en las NOM de 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 USEPA para evaluar el cumplimiento de sus normas de calidad del aire en regiones o áreas específicas (CFR, 2014; USEPA, 1998).

De acuerdo con esta Agencia, 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. El valor calculado, considerado como representativo de toda una zona metropolitana o ciudad, debe cumplir con los criterios de suficiencia de información descritos en la Tabla 31.

Es muy importante resaltar la consideración anterior debido a que los valores que se den a conocer de este indicador, para el periodo 2000-2009 pueden ser diferentes a los publicados en el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)* (INE-SEMARNAT, 2011), debido a que en este último, de manera adicional a los criterios de suficiencia por estación de monitoreo que incluye la normatividad, se agregó uno más que consistió en que al menos la mitad de las estaciones contaran con un indicador, y que entre esas estaciones se incluyera la estación que históricamente hubiera registrado el indicador más alto.

En este Informe con una estación que cumpla con los criterios de suficiencia se consideró como representativa de la ciudad o zona metropolitana, en los casos en que el indicador se haya calculado con menos del 50% de las estaciones se incluyó una nota al pie como referencia para el lector.

Por ejemplo, para evaluar el cumplimiento de la norma horaria del O_3 en una ciudad, se calcularon los máximos de los datos horarios de cada una de las estaciones de acuerdo al manejo de datos especificado en su norma de calidad del aire. Una vez obtenidos todos los valores por estación de monitoreo, se seleccionó el valor más alto de los máximos horarios para obtener el dato representativo de la ciudad, como se indica en la
Tabla 32.

Tabla 32. EJEMPLO DE LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL LÍMITE HORARIO DE O_3 (0.110 PPM)

AÑO	MÁXIMO DE LAS CONCENTRACIONES HORARIAS								VALOR REP. DE LA CIUDAD O ZM	DIAGNÓSTICO PARA LA CIUDAD O ZM
	EST 1	EST 2	EST 3	EST 4	EST 5	EST 6	EST 7	EST 8		
2010	**0.122**	0.106	0.108	D.I	D.I	**0.133**	S.M.	**0.126**	**0.133**	No cumplió
2011	**0.115**	**0.116**	D.I	**0.098**	D.I	**0.119**	**0.122**	**0.133**	**0.133**	No Cumplió
2012	0.075	D.I	0.087	0.103	F.O.	0.076	0.086	0.082	0.103	Cumplió
2013	0.090	**0.116**	0.083	0.073	0.087	0.088	0.084	0.087	**0.116**	No Cumplió

Est = Estación de monitoreo.
D.I. = datos insuficientes para el cálculo.
S.M. = Sin medición.
F.O. = Fuera de operación.

Los resultados de esta evaluación se muestran, a manera de gráficas de series de tiempo, en el capítulo dos de este documento, en el que se comparan los datos obtenidos de 22 ciudades (ver Anexo IV).

El Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire publicado por el INE (INE-DGCENICA, 2010) describe de manera más detallada los indicadores de O_3 y partículas, así como un ejemplo paso a paso para el cálculo de los indicadores de las PM_{10}.

Debido a que en la norma de SO_2 publicada en 2010 no se define el manejo de datos para evaluar el cumplimiento de los límites especificados, a continuación de describe el procedimiento que se siguió en el INECC para evaluar cada uno de ellos.

Límite de 8 horas

1. Se calcularon los promedios móviles de 8 horas a partir de los datos horarios en cada una de las estaciones de monitoreo, aplicando un criterio de suficiencia de al menos 75% de datos.

2. Se calculó el segundo máximo a partir de los promedios móviles de 8 horas generados en el paso anterior, siempre y cuando en el año se hubieran obtenido al menos del 75% de los promedios móviles de 8 horas o bien al menos uno de los valores se encontrará por arriba del límite de 0.200 ppm.

3. Se evaluó el cumplimiento del límite a escala de ciudad o zona metropolitana con el valor máximo de los segundos máximos de los promedios móviles de 8 horas calculados por estación de monitoreo. El límite de ocho horas de SO_2 se cumplió si el máximo de los segundos máximos de los promedios móviles de 8 horas fue menor a 0.200 ppm.

Límite de 24 horas

1. Se calcularon los promedios de 24 horas de cada día a partir de los datos horarios en cada una de las estaciones de monitoreo aplicando un criterio de suficiencia de al menos 75% de datos.

2. Se calculó el valor máximo a partir de los promedios de 24 horas generados en el paso anterior por estación de monitoreo, siempre y cuando en el año se hubieran obtenido al menos del 75% de los promedios de 24 horas o bien al menos uno de los valores se encontrará por arriba de 0.110 ppm.

4. Se evaluó el cumplimiento del límite a escala de ciudad o zona metropolitana con el valor máximo de los máximos de los promedios de 24 horas calculados por estación de monitoreo. El límite de 24 horas de SO_2 se cumplió si el valor máximo fue menor a 0.110 ppm.

Límite anual

1. Se calcularon los promedios de cada año a partir de los datos horarios en cada una de las estaciones de monitoreo aplicando un criterio de suficiencia de al menos 75% de datos horarios en el año.

2. Se evaluó el cumplimiento del límite a escala de ciudad o zona metropolitana con el valor máximo de los promedios anuales calculados por estación de monitoreo. El límite anual de SO_2 se cumplió si el valor máximo fue menor a 0.025 ppm.

En los casos en los que no fue posible calcular el indicador, se utilizaron las siguientes siglas para identificar las causas por las que no fue posible realizar 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 INECC)
D.I. = datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia)
F.O. = fuera de operación

En la mayoría de las ciudades y zonas metropolitanas incluidas en esta publicación se miden las PM con sólo un tipo de equipo, automático o manual. Debido a que 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 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 se miden las PM con ambos equipos, por lo que en este caso la evaluación del cumplimiento se realizó con los datos provenientes del monitoreo manual.

Se utilizó este criterio en congruencia con las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (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 un mejor control en el laboratorio, en términos de temperatura y humedad (Código Federal de Regulaciones -CFR 40- Partes 50, 53 y 58).

3.2.3.2 Número de horas, por año, en el que se rebasa el límite de concentración de una hora de ozono

En la sección de indicadores de ozono se incluye de manera particular el indicador número de horas en el que se rebasa el límite de una hora.

Este indicador se incluyó debido a que cuando se está en una situación de no cumplimiento del límite de una hora de ozono, como es el caso en varias zonas metropolitanas y ciudades del país, éste muestra no sólo la severidad del problema de la calidad del aire sino también su evolución a través del tiempo.

Se consideró la concentración máxima de todas las estaciones hora a hora y, para efectos de calcular el número de horas en los que se rebasó el límite de 0.110 ppm, se consideró que si en al menos en una estación de monitoreo se rebasó el límite, entonces en esa hora se rebasó el límite de una hora en toda la zona metropolitana o ciudad.

El indicador se representa mediante una gráfica de barras, en la que cada barra representa el número de horas que se rebasó el límite de una hora de ozono en cada uno de los años del periodo 2000-2013.

3.2.3.3 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala

El cálculo de esta distribución se generó a partir de los datos diarios (véase Tabla 31). 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 de 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 de salud 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 la Tabla 33 se muestran el color y calificativo asociado a cada intervalo, así como la definición de los intervalos por contaminante.

Tabla 33. COLOR, CALIFICATIVO E INTERVALOS DE CONCENTRACIÓN POR CONTAMINANTE

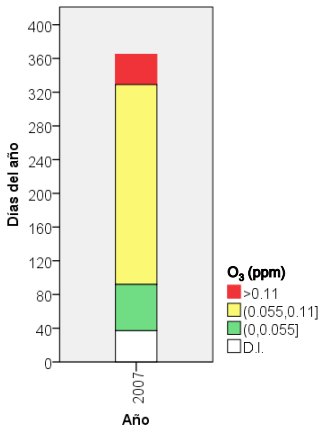
COLOR	CALIFICATIVO DE LA CALIDAD DEL AIRE	PM_{10} µg/m³	$PM_{2.5}$ µg/m³	O_3 ppm	SO_2 ppm
Verde	Buena	(0,60]	(0,32.5]	(0,0.055]	(0,0.055]
Amarillo	Regular	(60,120]	(32.5,65]	(0.055,0.11]	(0.055,0.11]
Rojo	Mala	> 120	> 65	> 0.11	> 0.11

Esta distribución se obtuvo a nivel agregado, por ciudad o zona metropolitana. 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 de norma, entonces en ese día se rebasó la norma en toda la zona metropolitana o ciudad (ver Anexo V).

La distribución de los días con calidad del aire buena, regular y mala se representa mediante una gráfica de barras acumulada, 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 (Figura 57). Como ya se mencionó en la sección 3.2.2, para todos los contaminantes, se consideró el criterio de suficiencia de información de al menos 75% de los datos horarios en el cálculo de la concentración diaria.

Figura 57 EJEMPLO DE LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, REGULA Y MALA



Es de suma importancia resaltar la consideración anterior debido a que los valores que se den a conocer de este indicador para el periodo 2000-2009 pueden ser ligeramente diferentes a los publicados en el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000 - 2009)* (INE - SEMARNAT, 2011), debido a que en este último documento se aplicó un criterio de suficiencia de información de al menos un 50% de datos horarios para obtener los datos diarios. Como ya se mencionó, este cambio de criterio se realizó con la idea de tener una mejor representatividad estadística y como consecuencia obtener un indicador más robusto.

3.2.4 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 las concentraciones promedio alcanzadas en cada una de las horas del día, de cada una de las estaciones de monitoreo de una zona metropolitana o ciudad durante el periodo de análisis (2000-2013).

Así, por ejemplo, para el cálculo de la concentración de PM_{10} a las 10:00 horas se tomó el promedio de las concentraciones promedio que se generaron durante esa hora en cada una las estaciones y durante todos los días de los años 2000 al 2013, considerando un criterio de suficiencia de información de al menos 75% de los datos en el cálculo del promedio de cada una de las horas del día en cada estación de monitoreo.

En forma similar, el comportamiento diario se estimó a partir de los promedios de las concentraciones diarias de cada uno de los día de la semana, de cada una de las estaciones durante el periodo de análisis y el comportamiento mensual se obtuvo a partir de los promedios de las concentraciones diarias de cada uno de cada uno de los meses del año de cada una las estaciones durante el periodo de análisis.

Cabe mencionar que para estos dos indicadores, adicional al criterio de suficiencia del 75% de datos para calcular las concentraciones diarias, se aplicó un criterio de suficiencia de información en cada estación de monitoreo para el cálculo del promedio de cada día de la semana y para el cálculo del promedio de cada mes del año.

Es importante resaltar que la magnitud de las concentraciones de ozono en los promedios día a día y mes a mes que se observan en este informe es mayor a las que pueden observarse en el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)* (INE-SEMARNAT, 2011), debido a que en este Informe se utilizó como dato base para generar el indicador la concentración diaria (máximos del día) y no las concentraciones horarias.

Este cambio se hizo con la finalidad de observar las diferencias de las concentraciones entre días de la semana pero sin atenuar la magnitud del indicador al considerar todas las concentraciones horarias, pues ello implica la inclusión de concentraciones nocturnas que, por la naturaleza fotoquímica del contaminante, suelen ser muy bajas.

3.2.5 Indicador de suficiencia de información

De acuerdo con los protocolos de otros países, a partir de los datos horarios de calidad del aire, el cálculo de promedios móviles, de datos diarios, mensuales, anuales o cualquier agregación de la información que se desee hacer debe realizarse únicamente cuando se cumpla con el criterio de suficiencia del 75% de datos (Ministry for the Environment, 2009). Sin embargo, en México en muchos de los SMCA, no se cumple con dicho criterio. Con el fin de tener un diagnóstico sobre la cantidad de información válida generada a través de las mediciones de los contaminantes incluidos en este informe, se desarrolló el indicador de suficiencia de información que consiste en cuantificar el número de estaciones del total que miden cada uno de los contaminantes en cada SMCA y que registraron al menos 75% de datos válidos en cada año calendario para el periodo 2000 - 2013.

Dicho indicador es relevante en el sentido de la evaluación del cumplimiento de las NOM de salud de O_3 y PM que exigen criterios de suficiencia del 75% de datos para la evaluación de sus límites y también en la generación de indicadores con una mejor representatividad estadística y mayor robustez.

El indicador también refleja, de manera indirecta, un área de oportunidad en la operación adecuada de los equipos de medición de los SMCA en el caso de que éste sea menor al 75%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atkinson R., A. Cohen, S. Mehta, H. Anderson. 2012. Systematic review and meta.analysis of epidemiological time-series studies on outdoor air pollution and health in Asia. *Asia Qual Atmosphere Health.* 5(4):383-91.

Ayuntamiento de Chihuahua. 2014. Calidad del Aire. Disponible en: http://imeca.cimav.edu.mx/.

Ayuntamiento de Irapuato. 2011. *Plan Municipal de Desarrollo 2010-2035*. Disponible en: http://www.irapuato.gob.mx/transparencia/.

Ayuntamiento de Morelia. 2014. *Plan Municipal de Desarrollo Morelia 2012-2015*. Disponible en: http://morelia.gob.mx/gobierno/ayuntamiento-menu/plan-desarrollo-2013.

Ayuntamiento de Morelia. 2014. Tendencias de Morelia. Disponible en: http://morelia.gob.mx/nuestro-municipio/turismo/tenencias-de-morelia.

Ayuntamiento de Tijuana. 2011. *Plan Municipal de Desarrollo 2011-2013*. Disponible en: http://www.tijuana.gob.mx/PlanMpal2011-2013/introduccion.asp.

Borja V y J. Rosales. 2000. *Evaluation of Health Effects of Pollution*. Organization for Economic Co-operaction and Development.

CAM (Comisión Ambiental Metropolitana). 2002. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000-2010.* Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=394.

CARB (California Air Resources Board). 2014. State and National Air Quality Standards. Disponible en: http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf.

Castro H., M. Cunha, G. Mendona, W. Junger, J. Cunha, A, Leon. 2009. Effect of air pollution on lung function in schoolchildren in Rio de Janeiro, Brazil. *Rev Saude Publica* 43(1):26-34.

CFR (Code of Federal Regulations). 2014. Title 40: Protection of Environment, Part 50, 53 and 58. National Primary and Secondary Ambient Aire Quality Standards. Disponible en: http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=a5cd4bef5b2d6824ad5e32cff683a104&rgn=div5&view=text&node=40:2.0.1.1.1&idno=40.

CONAPO. 2012. Proyecciones de la población 2010-2050. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1994a. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4780110&fecha=23/12/1994.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1994b. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994. Disponible en:

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Secretaría de Salud. 2002. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de octubre de 2002. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=720340&fecha=30/10/2002.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2005. Secretaría de Salud. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de septiembre de 2005. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2092912&fecha=26/09/2005.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de septiembre de 2010. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5158348&fecha=08/09/2010.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-156-SEMARNAT-2012. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/nom-concentraciones

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2014a. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de agosto de 2014. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2014b. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 2014. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356801&fecha=19/08/2014.

Evans J., J. Levy, C. Hammitt, C. Santos-Burgoa y M. Castillejos 2002. *Health benefits of air pollutiion control. Air quiality in the Mexico Megacity. An integrted assessment.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 105-136 pp.

GBC (Gobierno del Estado de Baja California). 2013. Página web del Gobierno del Estado. Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/ubica_geografica.jsp.

GEG (Gobierno del Estado de Guanajuato), SEMARNAT, SENER, IEEG (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 (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). 2012. *Perfil Socioeconómico de Silao*. Disponible en: http://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2012_SEDESHU_Perfil%20Economico%20Silao.pdf.

GEG (Gobierno del Estado de Guanajuato) e Instituto de Ecología del Estado. 2014. Calidad del Aire. Disponible en: http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/.

GEJ (Gobierno del Estado de Jalisco). 2007. *Programa Jalisco para el Mejoramiento de la Calidad de Aire "Mejor Atmosféra" 2007-2013*. México. 78 pp.

GEJ (Gobierno del Estado de Jalisco). 2014. Página web del Gobierno del Estado. Disponible en: http://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara.

GEM (Gobierno del Estado de México), SEMARNAT. 2007. *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 2007-2011*. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires_Vigentes/3_ProAire%20ZMVT%202007-2011.pdf.

GEM (Gobierno del Estado de México). 2011. *Plan de Desarrollo 2011-2017*. Disponible en: http://transparencia.edomex.gob.mx/plandesarrollo/2011-2017/plandedesarrollo11-17_1.pdf.

GEM (Gobierno del Estado de México). 2014. Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/rama/calidad_del_aire/index.htm.

GENL (Gobierno del Estado de Nuevo León) y SEMARNAT. 2008. *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012*. 196 pp.

GENL (Gobierno del Estado de Nuevo León). 2010. *Plan Estatal de Desarrollo 2010-2015*. Disponible en: http://www.nl.gob.mx/?P=plan_desarrollo.

GENL (Gobierno del Estado de Nuevo León) y Secretaría de Desarrollo Sustentable. 2014. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental. Disponible en: http://www.nl.gob.mx/aplicaciones/reporte-calidad-del-aire.

GEY (Gobierno del Estado de Yucatán). 2014. Página web del Gobierno del Estado. Disponible en: http://www.yucatan.gob.mx/estado/municipios/ver_municipio.php?id=50.

GMC (Gobierno del Municipio de Chihuahua). 2014. *Plan Municipal de Desarrollo*. Disponible en: http://www.municipiochihuahua.gob.mx/Gobierno/PlanMunicipaldeDesarrollo.

GMJ (Gobierno del Municipio de Juárez). 2014. *Plan Municipal de Desarrollo 2013-2016*. Disponible en: http://www.juarez.gob.mx/transparencia.php.

GMTO (Gobierno de Municipio de Tepeji de Ocampo). 2014. *Actividad Económica del Municipio*. Disponible en: http://tepejidelriohidalgo.gob.mx/paginas/turismo/municipio/municipio.html#services.

HEI (Heatlh Effects Institute). 2012. Outdoor Air Pollution Among Top Global Health Risks in 2010. 2012. Disponible en: http://www.healtheffects.org/International/GBD-Press-Release.pdf.

IAL (Instituto de Aire Limpio). 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.

IEEG (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato). 2014. Calidad del Aire. Disponible en: http://187.174.154.181/calidadaire/sitio/casetas/automaticas/irapuato/.

IHME (Institute for Health Metric and Evaluation). 2014. Global Burden of Disease. Disponible en: http://www.healthdata.org/research-article/global-burden-severe-periodontitis-1990-2010-systematic-review-and-meta-regression

INECC. 2014a. Calidad del Aire en México. Contaminantes criterio. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/calaire-indicadores/523-calaire-cont-criterio.

INECC. 2014b. Valoración económica de los beneficios en la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM2.5 en tres zonas metropolitanas mexicanas. http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgicur/2014_pm2.5_ccsa_inecc.pdf

INECC. 2014c. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/rama_cd_chihuahua.html

INE-DGCENICA. 2010. Guías de Monitoreo de la Calidad del Aire. Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire. Disponible en: http://sinaica.ine.gob.mx/guias_monitoreo.html.

INE-SERMARNAT. 2011. *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. México, D.F. 405 pp.

INEGI. 2002. *Cuaderno estadístico municipal de Silao, Guanajuato 2001*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/?undefined.

INEGI. 2004a. *Cuaderno estadístico municipal de Mérida 2003*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000

INEGI. 2004b. *Cuaderno estadístico municipal de Chihuahua, Chihuahua, 2003*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2004c. *Cuaderno estadístico municipal de Morelia, Michoacán de Ocampo 2003*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2005a. *Cuaderno estadístico municipal de Pachuca, Hidalgo 2004*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2005b. *Cuaderno estadístico municipal de Tula de Allende, Hidalgo 2004*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2006a. *Cuaderno Estadístico Municipal de Juárez, Chihuahua*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2006b. *Cuaderno estadístico municipal de Aguascalientes, Aguascalientes, 2005*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2006c. *Cuaderno estadístico municipal de Celaya, Guanajuato 2005*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2006d. *Cuaderno estadístico municipal de Tizayuca, Hidalgo, 2005*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2010. *Anuario estadístico de Guanajuato 2009*. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=aee&edi=2009&ent=11.

INEGI. 2011. Cuéntame - Información por Entidad, Guanajuato. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/economia/default.aspx?tema=me&e=11.

INEGI. 2013. *Cuaderno estadístico y geográfico de Hidalgo 2012*. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825000439&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0&ct=106040000.

INEGI. 2014a. *Cuentas económicas y ecológicas de México*. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/boletines/boletin/comunicados/especiales/2014/febrero/comunica48.pdf.

INEGI. 2014b. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est&c=13158&proy=vmrc_vehiculos.

INEGI. 2014c. Cuéntame-Información por entidad, Hidalgo. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/economia/default.aspx?tema=me&e=13.

Jerrett M., R. Burnett, C. Pope, K. Ito, G. Thuerson, D. Krewski, et al. 2009. Long-term ozone exposure and mortality. *The New England Journal of Medicine.* 360(11):1085-95.

Johnson A., Chit-Ming Wong, Thuan Quoc, Stefan Ma, Tai-Hing Lam y H. Ross. 2002. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *The Lancet.* Vol:360.

Lawson D.R. 2003. The weekend ozone effect-the weekly ambient emissions control experiment. *Environmental Management*. 17-25 pp.

Lim Stephen., et al. 2012. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attibutable to 67 risk factors and risk factor in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* 380:2224-2260.

Maestrelli P., C. Canova, M. Scapellato, A. Visentin, R. Tessari, G. Bartolucci, et al. 2011. Personal exposure to particules matter associated with worse health perception in adult asthma. *J Investig Allergol Clin immunol.* 21(2):120-8.

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.

Ministry for the Environment 2009. *Good Practice Guide for Air Quality monitoring and Data Management 2009.* New Zealand Goverment. 105 pp.

Municipios. 2010. Municipios de Guanajuato, México. Disponible en http://www.municipios.com.mx/guanajuato/mexico-11.html

Official Journal of the European Union. 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Disponible en: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050

OMS (Organización Mundial de la Salud). 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.

Riojas H., U. Hernández, J. Texcalac, J. Romieu. 2012. *Evaluación del impacto en salud por exposición a ozono y material particulado (PM10) en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Gobierno del Distrito Federal, Instituto Nacional de Salud Pública, Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal.

Romieu I., N. Gouveia y L. Cifuentes. 2012. Multicity Study Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study). . Health Effects Institute 171, Disponible en: http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fpubs.healtheffects.org%2Fgetfile.php%3Fu%3D874&ei=V5yZVJ_aA4yiNu_egqgB&usg=AFQjCNFpcYoBQz13YRQ7eJ68p69cBUJ6Bw&bvm=bv.82001339,d.eXY.

SEDEMA-GDF (Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). 2013. *Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México 2012*. Disponible en: http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=Z6BhnmI=&dc=Zg==.

SEDEMA-GDF (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). 2014a. Calidad del Aire. Disponible en: http://www.aire.df.gob.mx/default.php.

SEDEMA-GDF (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). 2014b. Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México. Disponible en: http://www.aire.df.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-cartel-linea-tiempo.

SEDESOL, INEGI y CONAPO. 2012. *Delimitación de las zonas metropolitanas en México 2010*. México. 216 pp. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/Sistemas/multiarchivos/doc/702825003884/DZM20101.pdf.

SEDUMA (Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente). 2014. Disponible en: http://www.seduma.yucatan.gob.mx/.

SEGEA (Secretaría de Economía del Gobierno del Estado de Aguascalientes). 2014. Delegaciones y Representaciones. Aguascalientes. Disponible en: http://www.economia.gob.mx/delegaciones-de-la-se/estatales/aguascalientes#

SEMADET (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Jalisco). 2014. Monitoreo Atmosférico. Disponible en: http://siga.jalisco.gob.mx/aire/index.html.

SEMARNATH (Secretaría del Medio Ambiente de Recursos Naturales de Hidalgo). 2014. http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_frontpage & Itemid=1

SIMAEH (Sistema de Monitoreo del Estado de Hidalgo). 2014. Comunicación personal.

SMAEA (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes). 2014. Monitoreo de la Calidad del Aire. Disponible en: http://www.aguascalientes.gob.mx/IMAE/Calidadelaire/monitoreo.aspx.

SMA-GDF (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). 2009. *Calidad del aire en la Ciudad de México: Informe 2009*. Disponible en: http://www.sedema.df.gob.mx/flippingbook/informe_anual_calidad_aire_2009/files/informe_anual_calidad_aire_2009.pdf.

SPABC (Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California). 2014. Calidad del Aire. Disponible en: http://www.spabc.gob.mx/dependencia/gestion-ambiental.

TCEQ (Texas Commision on Environmental Quality). 2014. Air. Disponible en: http://www.tceq.state.tx.us/agency/air_main.html.

Tellez-Rojo T., I. Romieu, S. Velazco, F. Meneses, M. Hernández. 1997. Efectos de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Pública de México.* 39(6):513-22.

Torres-Meza V. 2000. Acute Morbidity at Primary Care Settings and Air Pollution in México City. *Instituto Nacional de Salud Pública*. México.

Unión Europea (UE). 2014. Air Quality Satandards. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. 2014. Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de Morelia, Michoacán. Disponible en: http://bios.biologia.umich.mx/monitoreo.html.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 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.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2014. *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Disponible en: http://www.epa.gov/air/criteria.html

WHO (World Health Organization). 2006. *Air quality guidelines global update 2005*. Disponible en: http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf.

WHO (World Health Organization). 2014. Ambient (Outdoor) Air Quality and Health. Nota descriptiva No. 313. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/.

ANEXO 1 Cumplimiento de los límites de concentración de 24 horas y anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$, en el año 2013, según las normas NOM-025-SSA1-1993 y NOM-025-SSA1-2014

La Tabla 34 y la Tabla 35, muestran la evaluación del cumplimiento de los límites de 24 horas y anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia tanto la NOM-025-SSA1-1993 (vigente hasta el 18 de octubre de 2014) como la NOM-025-SSA1-2014 (vigente a partir del 19 de octubre de 2014).

Es importante destacar que, considerando que el cumplimiento o incumplimiento de una norma se da sólo a partir del momento en que ésta entra en vigor, el presente análisis se hace sólo como un ejercicio para visualizar el impacto potencial de la nueva norma en el supuesto de que las concentraciones tanto de PM_{10} como de $PM_{2.5}$ se mantuvieran en los mismos niveles que los registrados en el 2013.

Bajo las consideraciones antes descritas en la Tabla 34 se puede observar, con respecto a PM_{10}, que:

- Los valores de referencia para evaluar el cumplimiento del límite de 24 horas es diferente bajo los criterios de evaluación contemplados en cada norma. Mientras la NOM-025-SSA1-1993 utiliza el percentil 98 en un periodo de un año la NOM-025-SSA1-2014 utiliza el máximo en el mismo periodo de tiempo. Bajo estas consideraciones el límite de 24 horas (120 µg/m³), establecido en la NOM-025-SSA1-1993, sólo se cumple en 7 SMCA (ZMVM, León, Irapuato, Ensenada, Salamanca, Silao y Distrito Minero de Molango), mientras que el de la NOM-025-SSA1-2014 (75 µg/m³) no se cumpliría en ningún SMCA. Todos los SMCA que cumplen con el límite de 24 horas de la norma anterior, estarían en una situación de incumplimiento del mismo límite establecido en la nueva norma.

- El límite anual (50 µg/m3), establecido en la NOM-025-SSA1-1993, sólo se cumple en 3 SMCA (Ensenada, Silao y Distrito Minero de Molango), mientras que el de la NOM-025-SSA1-2014 (45 µg/m3) sólo se cumpliría en 2 SMCA (Silao y Distrito Minero de Molango). El SMCA de Ensenada que cumplen con el límite anual de la norma anterior, estaría en una situación de incumplimiento del mismo límite establecido en la nueva norma.

- Los SMCA de Tijuana, Chihuahua, Tecate y Rosarito incumplen tanto la norma anterior como la nueva, para los límites de 24 horas y anual, por insuficiencia de datos. Es decir, por tener menos del 75% de datos válidos.

Tabla 34. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 Y LA NOM-025-SSA1-2014 DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PM_{10} EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-025-SSA1-1993, VIGENTE HASTA EL 18 DE OCTUBRE DE 2014			NOM-025-SSA1-2014, VIGENTE A PARTIR DE 19 DE OCTUBRE DE 2014		
			LÍMITE DE 24 HORAS 120 µg/m³ PERCENTIL 98	LÍMITE ANUAL 50 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-1993	LÍMITE DE 24 HORAS 75 µg/m³ MÁXIMO	LÍMITE ANUAL 45 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-2014
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	114	64	No	170	64	No
	Jalisco	ZMG	177	74	No	232	74	No
	Nuevo León	AMM	201	82	No	318	82	No
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	203	94	No	208	94	No
	Baja California	Tijuana	D.I.	D.I.	No	D.I.	D.I.	No
	Guanajuato	León	96	55	No	122	55	No
	Chihuahua	Ciudad Juárez	358	119	No	464	119	No
Grupo 3	Baja California	Mexicali	438	187	No	438	187	No
	Chihuahua	Chihuahua	D.I.	D.I.	No	D.I.	D.I.	No
	Guanajuato	Irapuato	93	52	No	112	52	No
	Baja California	Ensenada	112	47	Sí	112	47	No
Grupo 4	Guanajuato	Celaya	165	80	No	194	80	No
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca	301	102	No	301	102	No
	Hidalgo	Tula-Tepeji	284	69	No	284	69	No
	Guanajuato	Salamanca	106	54	No	130	54	No
	Guanajuato	Silao	81	42	Sí	92	42	No
	Baja California	Tecate	D.I.	D.I.	No	D.I.	D.I.	No
	Baja California	Rosarito	D.I.	D.I.	No	D.I.	D.I.	No
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango	111	37	Sí	111	37	No

D.I. = Datos insuficientes.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de PM_{10} sólo si se cumple con el criterio de suficiencia (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, la NOM-025-SSA1-1993 se cumple en los SMCA de Ensenada, Silao y Distrito Minero de Molango, mientras que la NOM-025-SSA1-2014 no se cumpliría en ninguno de los SMCA considerados en este análisis.

En la Tabla 35 se puede observar, con respecto a $PM_{2.5}$, que:

- Los valores de referencia para evaluar el cumplimiento del límite de 24 horas es diferente bajo los criterios de evaluación contemplados en cada norma. Mientras la NOM-025-SSA1-1993 utiliza el percentil 98 en un periodo de un año la NOM-025-SSA1-2014 utiliza el máximo en el mismo periodo de tiempo. Bajo esta consideración el límite de 24 horas (65 µg/m³), establecido en la NOM-025-SSA1-1993, sólo se cumple en 3 SMCA (ZMVM, Mérida y Salamanca), mientras que el de la NOM-025-SSA1-2014 (45 µg/m³) sólo se cumpliría en el SMCA de Mérida. Los SMCA de la ZMVM y Salamanca que cumplen con el límite de 24 horas de la norma anterior, estarían en una situación de incumplimiento del mismo límite establecido en la nueva norma.

- El límite anual establecido tanto en la NOM-025-SSA1-1993 (15 µg/m^3) como en la NOM-025-SSA1-2014 (12 µg/m3), sólo se cumple o cumpliría, en su caso, en la ciudad de Mérida.

- Los SMCA de AMM, Irapuato y Silao incumplen tanto la norma anterior como la nueva, para los límites de 24 horas y anual, por insuficiencia de datos. Es decir, por tener menos del 75% de datos válidos.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de PM2.5 sólo si se cumple con el criterio de suficiencia (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 24 horas y anual, la NOM-025-SSA1-1993 se cumple sólo en el SMCA de Mérida, mientras que la NOM-025-SSA1-2014 también se cumpliría sólo en la misma ciudad.

Tabla 35. EVALUCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-025-SSA1-1993 Y LA NOM-025-SSA1 DE $PM_{2.5}$ EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-025-SSA1-1993, VIGENTE HASTA EL 18 DE OCTUBRE DE 2014			NOM-025-SSA1-2014, VIGENTE A PARTIR DE 19 DE OCTUBRE DE 2014		
			LÍMITE DE 24 HORAS 65 µg/m³ PERCENTIL 98	LÍMITE ANUAL 15 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-1993	LÍMITE DE 24 HORAS 45 µg/m³ MÁXIMO	LÍMITE ANUAL 12 µg/m³ PROMEDIO ANUAL	CUMPLE NOM-025-SSA1-2014
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	60	**28**	**No**	**67**	**28**	**No**
	Nuevo León	AMM	D.I.	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	**87**	**42**	**No**	**110**	**42**	**No**
Grupo 3	Yucatán	Mérida	24	11	Sí	34	11	Sí
	Guanajuato	Irapuato	**D.I.**	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
Grupo 4	Hidalgo	Tula-Tepeji	**497**	**131**	**No**	**497**	**131**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	51[a]	**23[a]**	**No**	**73[a]**	**23[a]**	**No**
	Guanajuato	Silao	**D.I.**	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango	**99**	**35**	**No**	**99**	**35**	**No**

[a] El indicador se generó con datos de una sola estación de monitoreo que cumplió con el criterio de suficiencia de información de un total de tres.

Anexo II. Cumplimiento de los límites de concentración de 1 y 8 horas de ozono, en el año 2013, según las normas NOM-020-SSA1-1993 y NOM-020-SSA1-2014

La Tabla 36 muestra la evaluación del cumplimiento de los límites de 1 y 8 horas de ozono en los diferentes SMCA en el año 2013, tomando como referencia tanto la NOM-020-SSA1-1993 (vigente hasta el 17 de octubre de 2014) como la NOM-020-SSA1-2014 (vigente a partir del 18 de octubre de 2014).

Es importante destacar que, considerando que el cumplimiento o incumplimiento de una norma se da sólo a partir del momento en que ésta entra en vigor, el presente análisis se hace sólo como un ejercicio para visualizar el impacto potencial de la nueva norma en el supuesto de que las concentraciones máximas de ozono de una hora y ocho horas se mantuvieran en los mismos niveles que los registrados en el 2013. Así pues, bajo las consideraciones antes descritas en la Tabla 36 se puede observar que:

- El límite de una hora (0.110 ppm), establecido en la NOM-020-SSA1-1993, sólo se cumple en 6 SMCA (Cd. Juárez, Mérida, Chihuahua, Morelia, Celaya y Silao), mientras que el de la NOM-020-SSA1-2014 (0.095 ppm) sólo se cumpliría en 4 SMCA (Cd. Juárez, Mérida, Chihuahua y Celaya). Los SMCA de Morelia y Silao que cumplen con el límite de 1 hora de la norma anterior, estarían en una situación de incumplimiento del mismo límite establecido en la nueva norma.

- Los valores de referencia para evaluar el cumplimiento del límite de 8 horas, como promedio móvil, es diferente bajo los criterios de evaluación contemplados en cada norma. Mientras la NOM-020-SSA1-1993 utiliza el quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas, en un periodo de un año la NOM-020-SSA1-2014 utiliza el máximo como promedio móvil de 8 horas en el mismo periodo de tiempo. Bajo estas consideraciones el límite de 8 horas, establecido en la NOM-020-SSA1-1993 (0.080 ppm), sólo se cumple en 6 SMCA (Cd. Juárez, Mérida, Chihuahua, Celaya, Pachuca-Tizayuca y Salamanca), mientras que el límite de la NOM-020-SSA1-2014 (0.070 ppm) sólo se cumpliría en 2 SMCA (Cd. Juárez y Chihuahua). Los SMCA de Mérida, Celaya, Pachuca-Tizayuca y Salamanca pasarían de una situación de cumplimiento del límite de 8 horas de la norma anterior a uno de incumplimiento de la nueva norma.

- Los SMCA de Tijuana, Aguascalientes, Ensenada y Rosarito incumplen tanto la norma anterior como la nueva, para los límites de 1 y 8 horas, por insuficiencia de datos. Es decir, por tener menos del 75% de datos válidos.

- Bajo la consideración de que un sitio de monitoreo cumple con la NOM de ozono sólo si se cumple con el criterio de suficiencia (75% de datos válidos) y las concentraciones del contaminante se ubican por debajo de los valores límite de 1 y 8 horas, la NOM-020-SSA1-1993 se cumple en los SMCA de Cd. Juárez, Mérida, Chihuahua y Celaya, mientras que la NOM-020-SSA1-2014 sólo se cumpliría en los SMCA de Cd. Juárez y Chihuahua.

Tabla 36. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-SSA1-1993 Y LA NOM-020-SSA1-2014 DE OZONO EN 2013

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	NOM-020-SSA1-1993, VIGENTE HASTA EL 17 DE OCTUBRE DE 2014			NOM-020-SSA1-2014, VIGENTE A PARTIR DE 18 DE OCTUBRE DE 2014		
			LÍMITE DE 1 HORA 0.110 ppm MÁXIMO HORARIO	LÍMITE DE 8 HORAS 0.080 ppm QUINTO MÁXIMO DE LOS MÁXIMOS DIARIOS DE LOS PROMEDIOS DE 8 HORAS	CUMPLE NOM-020-SSA1-1993	LÍMITE DE 1 HORA 0.095 ppm MÁXIMO HORARIO	LÍMITE DE 8 HORAS 0.070 ppm MÁXIMO PROMEDIO MÓVIL	CUMPLE NOM-020-SSA1-2014
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	**0.184**	**0.120**	**No**	**0.184**	**0.136**	**No**
	Jalisco	ZMG	**0.210**	**0.116**	**No**	**0.210**	**0.147**	**No**
	Nuevo León	AMM	**0.163**	**0.093**	**No**	**0.163**	**0.114**	**No**
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	**0.116**	**0.082**	**No**	**0.116**	**0.095**	**No**
	Baja California	Tijuana	**D.I.**	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Guanajuato	León	**0.135**	**0.096**	**No**	**0.135**	**0.102**	**No**
	Chihuahua	Ciudad Juárez	0.079	0.054	Sí	0.079	0.059	Sí
Grupo 3	Baja California	Mexicali	**0.124**	**D.I. [a]**	**No**	**0.124**	**0.105**	**No**
	Yucatán	Mérida	0.085	0.069	Sí	0.085	**0.077**	**No**
	Chihuahua	Chihuahua	0.061	0.044	Sí	0.061	0.045	Sí
	Aguascalientes	Aguascalientes	**D.I.**	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**
	Michoacán de Ocampo	Morelia	0.107	**D.I. [a]**	**No**	**0.107**	**0.095**	**No**
	Guanajuato	Irapuato	**0.136**	**0.091[b]**	**No**	**0.136**	**0.106**	**No**
	Baja California	Ensenada	**D.I**	**D.I.**	**No**	**D.I**	**D.I.**	**No**
Grupo 4	Guanajuato	Celaya	0.079	0.054	Sí	0.079	**0.077**	**No**
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca	**0.124**	0.072[b]	**No**	**0.124**	**0.097**	**No**
	Hidalgo	Tula-Tepeji	**0.127**	**D.I. [a]**	**No**	**0.127**	**0.102**	**No**
	Guanajuato	Salamanca	**0.120**	0.071	**No**	**0.120**	**0.100**	**No**
	Guanajuato	Silao	0.106	**0.090**	**No**	**0.106**	**0.095**	**No**
	Baja California	Tecate	F.O.	F.O.	---	F.O.	F.O.	---
	Baja California	Rosarito	**D.I.**	**D.I.**	**No**	**D.I.**	**D.I.**	**No**

[a] Mientras para la evaluación del cumplimiento de la norma vigente de 8 horas los SMCA de Mexicali, Morelia y Tula-Tepeji tienen insuficiencia de datos, la evaluación de la nueva norma si es posible. Esto obedece a las diferencias metodológicas existentes entre ambas normas, las cuales son explicadas en la sección de metodología.
F.O. = Fuera de Operación.
D.I. = Datos insuficientes. No fue posible evaluar el cumplimiento por falta de datos
[b] El valor del quinto máximo se evaluó con datos de una sola estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de información de un total de tres estaciones

Anexo III. Límites de los contaminantes del aire establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de Salud vigentes a 2013

Tabla 37. LÍMITES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LA SECRETARÍA DE SALUD VIGENTES A 2013

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 horas)	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 horas)	2% de datos diarios[a] al año	Percentil 98[a]	Percentil 98 > 120 µg/m³	50 µg/m³	Promedio anual[a]	Promedio anual > 50 µg/m³	
Partículas menores de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)	65 µg/m³ (24 horas)	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)	0.110 ppm (1 hora) (216 µg/m³)	No se permite	Máximo horario	Máximo horario > 0.11 ppm	----	----	----	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002)
	0.080 ppm (8 horas)	4 veces al año	Quinto máximo[b]	Quinto máximo > 0.08 ppm	----	----	----	

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	
Dióxido de azufre (SO_2)	0.200 ppm (8 horas)	1 vez al año	Segundo máximo[c]	Segundo máximo > 0.200 ppm	0.025 ppm	Promedio anual[e]	Promedio anual > 0.025 ppm	NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010)
	0.110 ppm (24 horas) (341 $\mu g/m^3$)	No se permite	Máximo[d]	Máximo > 0.110 ppm				
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12 595 $\mu g/m^3$)	1 vez al año	Segundo máximo[c]	Segundo máximo > 11 ppm	----	----	----	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994a)
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0.21 ppm (1 hora) (395 $\mu g/m^3$)	1 vez al año	Segundo[e]	Segundo máximo > 0.21 ppm	----	----	----	NOM-023-SSA1-1993(DOF, 1994b)

[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

Anexo IV. Indicadores calculados para evaluar el cumplimiento de las NOM de calidad del aire (2000-2013)

Tabla 38. MÁXIMOS HORARIOS DE O_3, 2000-2013
LÍMITE DE 1 HORA, 0.110 ppm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	0.282	0.271	0.284	0.243	0.226	0.222	0.211	0.203	0.189	0.198	0.208	0.184	0.177	0.184
	Jalisco	ZMG	0.219	0.194	0.233	0.225	0.287	0.234	0.200	0.214	0.204	0.208	0.281	0.228	0.166	0.210
	Nuevo León	AMM	0.141	0.223	0.143	0.154	0.176	0.170	0.174	0.145	0.154	0.149	0.155	0.148	0.138	0.163
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	0.180	0.144	0.136	0.150	0.123	0.131	0.134	0.129	0.149	F.O.	F.O.	0.128	0.13	0.116
	Baja California	Tijuana	0.108	0.089	0.104	0.098	0.100	0.097	0.099	0.091	0.084	0.090	0.090[a]	0.072[a]	0.071	D.I.
	Guanajuato	León							0.101	0.147	0.312	0.150	0.125	0.133	0.138	0.135
	Chihuahua	Ciudad Juárez	0.139	0.141	0.128	0.112	0.128	0.143	0.121	0.115	0.145	0.108[a]	0.109	0.080	0.083	0.079
Grupo 3	Baja California	Mexicali	0.153	0.160	0.135	0.171	0.156	0.196	0.137	0.172	0.118	0.109	0.137	0.163	0.143	0.124
	Yucatán	Mérida														0.085
	Chihuahua	Chihuahua								0.087	0.085	0.139	0.093	0.084	0.064	0.061
	Aguascalientes	Aguascalientes	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	N.I	N.I	N.I	N.I	N.I	D.I.
	Michoacán de Ocampo	Morelia									0.182	0.119	0.128	0.209	0.117	0.107
	Guanajuato	Irapuato							0.102	0.258	0.111	0.108	0.178	0.132	0.150	0.136
	Baja California	Ensenada													D.I	D.I
Grupo 4	Guanajuato	Celaya							0.103	0.107	0.111	0.108	0.098[a]	0.122	0.094	0.079
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca										S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.124
	Hidalgo	Tula-Tepeji						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.127
	Guanajuato	Salamanca							0.353	0.170	0.144	0.124	0.098[a]	D.I.	0.137	0.120
	Guanajuato	Silao							0.113	0.097	0.116	0.111	0.115	D.I.	0.110	0.106
	Baja California	Tecate	0.126	0.115	0.106	0.119	0.126	0.119	0.117	0.103	0.094	0.092	0.094	D.I.	D.I.	F.O.
	Baja California	Rosarito	0.078	0.090	0.077	0.114	0.103	0.090	0.098	0.071	0.082	0.075	0.084	D.I.	F.O.	D.I.

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[a] El valor máximo horario corresponde a solo una estación que cumplió con el criterio de suficiencia de datos de un total de tres estaciones

Tabla 39. QUINTO MÁXIMO DE LOS MÁXIMOS DIARIOS DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS DE O_3, 2000-2013
LÍMITE DE 8 HORAS, 0.080 ppm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	0.169	0.159	0.158	0.139	0.129	0.135	0.127	0.122	0.126	0.124	0.123	0.120	0.111	0.120
	Jalisco	ZMG	0.095	0.098	0.110	0.113	0.112	0.111	0.105	0.112	0.110	0.136	0.133	0.133	0.103	0.116
	Nuevo León	AMM	0.083	0.076	0.082	0.095	0.093	0.091	0.093	0.086	0.100	0.085	0.098	0.101	0.084	0.093
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	0.101	0.088	0.089	0.085	0.086	0.091	0.089	0.077[a]	D.I.	F.O.	F.O.	0.092	0.088	0.082
	Baja California	Tijuana	0.067	0.060[b]	0.066[b]	0.061[b]	D.I.	D.I.	0.065[b]	0.056[b]	0.058[b]	0.059	0.057[b]	0.039[b]	0.045	D.I.
	Guanajuato	León							0.060[b]	0.083	0.101	0.106	0.088	0.096	0.096	0.096
	Chihuahua	Ciudad Juárez	0.085[b]	0.082	D.I.	D.I.	0.076	D.I.	0.080[b]	0.076[b]	0.079[b]	0.077[b]	0.075[b]	0.063[b]	0.060	0.054
Grupo 3	Baja California	Mexicali	0.074[c]	0.090[d]	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	0.092[c]	0.067[c]	D.I.	0.073	D.I.	D.I.
	Yucatán	Mérida														0.069
	Chihuahua	Chihuahua								0.071	0.062	0.082	0.078	0.039	0.053	0.044
	Aguascalientes	Aguascalientes	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	N.I	N.I	N.I	N.I	N.I	D.I.
	Michoacán de Ocampo	Morelia									D.I.	0.086	D.I.	D.I.	0.088	D.I.
	Guanajuato	Irapuato							D.I.	D.I.	0.088	0.084	0.087	0.104	0.118	0.091[b]
	Baja California	Ensenada													D.I.	D.I.
Grupo 4	Guanajuato	Celaya							0.082	D.I.	0.088[b]	0.070[b]	0.080[b]	0.097	0.078	0.054
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca										S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.072[b]
	Hidalgo	Tula-Tepeji						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	D.I.
	Guanajuato	Salamanca							D.I.	0.084	0.083	0.078[b]	0.070[b]	D.I.	0.081	0.071
	Guanajuato	Silao							D.I.	0.078	0.074	0.074	D.I.	D.I.	0.089	0.090
	Baja California	Tecate	D.I.	D.I.	D.I.	0.088	0.092	0.086	D.I.	D.I.	D.I.	0.069	0.075	D.I.	D.I.	F.O.
	Baja California	Rosarito	D.I.	0.067	0.069	0.069	0.073	0.061	0.060	0.054	0.053	0.047	0.042	D.I.	F.O.	D.I.

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[a] El valor del quinto máximo puede estar subestimado ya que se evaluó con tres estaciones que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete estaciones.
[b] El valor del quinto máximo puede estar subestimado ya que se evaluó con una sola estación que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de tres.
[c] El valor del quinto máximo puede estar subestimado ya que se evaluó con dos estaciones que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro estaciones.
[d] El valor del quinto máximo puede estar subestimado ya que se evaluó con una estación que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro estaciones.

Tabla 40. PERCENTIL 98 DE LOS DATOS DIARIOS DE PM_{10}, 2000-2013 LÍMITE DE 24 HORAS, 120 µg/m³

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM*	265	184	167	165	139	174	145	131	205	247	186	174	139	114
	Jalisco	ZMG	193	168	167	219	166	153	159	124	134	123	139	196	192	177
	Nuevo León	AMM	143	203	224	189	216	229	242	217	194	163	236	247	196	201
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	126[a]	D.I.	166	244	202	360	245	226[b]	241[b]	257	109[c]	256	123[b]	203
	Baja California	Tijuana*	136	240	171	143	143	94[d]	95[d]	D.I.	D.I.	D.I.	112[e]	84[f]	60[g]	D.I.
	Guanajuato	León							194	162	183	159	139	148	116	96
	Chihuahua	Ciudad Juárez*	417	835	344	489	247	426	314	277	436	268	269	497	210	358
Grupo 3	Baja California	Mexicali*	594	483	178[d]	440	467	414	482	139[h]	250[h]	D.I.	D.I.	545[h]	475	438
	Chihuahua	Chihuahua								118	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	112	D.I.
	Guanajuato	Irapuato							D.I.	D.I.	124[a]	100	126	99	98	93
	Baja California	Ensenada*													117	112
Grupo 4	Guanajuato	Celaya							87	D.I.	95	D.I.	102	137[g]	159	165
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca*													N.I.	301
	Hidalgo	Tula-Tepeji*					S.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	S.I.	S.I.	N.I.	284
	Guanajuato	Salamanca							220	131	134	118	129	142	122	106
	Guanajuato	Silao							D.I.	85	112	101	108	97	87	81
	Baja California	Tecate*	110	161	200	145	164	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	Baja California	Rosarito*	121	102	140	149	149	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango*														111

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[a] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[b] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con tres estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[c] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con dos estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[d] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de cinco
[e] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con dos estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro
[f] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro
[g] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de tres
[h] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de seis

Tabla 41. PROMEDIO ANUAL DE LOS DATOS DIARIOS DE PM_{10}, 2000-2013
LÍMITE ANUAL, 50 µg/m³

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM*	125	95	95	101	89	79	75	70	72	106	104	93	69	64
	Jalisco	ZMG	98	91	90	103	77	71	75	71	73	68	64	91	86	74
	Nuevo León	AMM	81	106	110	107	109	117	124	99	100	88	100	111	92	82
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	60[a]	D.I.	82	107	81	140	91	116[b]	110[b]	109	53[c]	124	73[b]	94
	Baja California	Tijuana*	63	65	67	61	65	38[d]	36[d]	D.I.	D.I.	D.I.	47[e]	38[f]	33[g]	D.I.
	Guanajuato	León							85	84	76	70	57	67	57	55
	Chihuahua	Ciudad Juárez*	105	118	121	142	108	102	139	117	144	122	111	114	101	119
Grupo 3	Baja California	Mexicali*	265	218	58[d]	199	252	209	254	67[h]	124[h]	D.I.	D.I.	171[h]	149	187
	Chihuahua	Chihuahua								47	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	52	D.I.
	Guanajuato	Irapuato							D.I.	D.I.	49	49	47	54	50	52
	Baja California	Ensenada*												D.I.	49	47
Grupo 4	Guanajuato	Celaya							50	D.I	28	D.I	46	53[g]	87	80
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca*													N.I.	102
	Hidalgo	Tula-Tepeji*					S.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	S.I.	S.I.	N.I.	69
	Guanajuato	Salamanca							80	61	61	54	53	67	54	54
	Guanajuato	Silao							D.I.	44	57	49	48	51	42	42
	Baja California	Tecate*	61	72	76	73	72	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.
	Baja California	Rosarito*	66	58	61	64	51	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	D.I.	F.O.	D.I.
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango*														37

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[a] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[b] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con tres estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[c] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con dos estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de siete
[d] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de cinco
[e] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con dos estaciones de monitoreo que cumplieron con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro
[f] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de cuatro
[g] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de tres
[h] El valor puede estar subestimado debido a que se calculó con sola una estación de monitoreo que cumplió con los criterios de suficiencia de datos de un total de seis

Tabla 42. PERCENTIL 98 DE LOS DATOS DIARIOS DE $PM_{2.5}$, 2000-2013
LÍMITE DE 24 HORAS, 65 µg/m³

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM***	**D.I.**	64	57	51	52	47	58	64	**54**	**55**	60
	Nuevo León	**AMM**	**D.I.**	60[a]	**77[a]**	D.I.	56[a]	64[a]	34[b]	49[c]	**59**	**48**	**D.I.**
Grupo 2	**Estado de México**	**ZMVT**									**84**	**67[d]**	**87**
Grupo 3	**Yucatán**	**Mérida**											24
	Guanajuato	**Irapuato**											**D.I.**
Grupo 4	**Hidalgo**	**Tula-Tepeji* [1]**										N.I.	**497**
	Guanajuato	**Salamanca**											51[e]
	Guanajuato	**Silao**											**D.I.**
	Hidalgo	**Distrito Minero de Molango* [1]**										N.I.	**99**

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[1] Se aplicó el criterio de suficiencia considerando que los muestreos están calendarizados cada 7 días
[a] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de cinco
[b] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de siete
[c] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con dos estaciones de monitoreo de un total de siete
[d] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con tres estaciones de monitoreo de un total de siete
[e] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de tres

Tabla 43. PROMEDIO ANUAL DE LOS DATOS DIARIOS DE $PM_{2.5}$, 2000-2013
LÍMITE ANUAL, 15 µg/m³

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM*	D.I.	36	28	23	26	26	26	25	25	26	28
	Nuevo León	AMM	D.I.	29[a]	37[a]	D.I.	30[a]	29[a]	16[b]	22[c]	31	25	D.I.
Grupo 2	Estado de México	ZMVT									43	40[d]	42
Grupo 3	Yucatán	Mérida											11
	Guanajuato	Irapuato											D.I.
Grupo 4	Hidalgo	Tula-Tepeji* [1]										N.I.	131
	Guanajuato	Salamanca											23[e]
	Guanajuato	Silao											D.I.
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango* [1]										N.I.	35

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.
[1] Se aplicó el criterio de suficiencia considerando que los muestreos están calendarizados cada 7 días
[a] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de cinco
[b] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de siete
[c] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con dos estaciones de monitoreo de un total de siete
[d] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con tres estaciones de monitoreo de un total de siete
[e] El valor del percentil 98 puede estar subestimado debido a que se generó con una sola estación de monitoreo de un total de tres

Tabla 44. SEGUNDO MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS DE SO_2, 2000-2013
LÍMITE DE 8 HORAS, 0.200 ppm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	0.241	0.386	0.261	0.151	0.217	0.245	0.177	0.151	0.110	0.124	0.153	0.194	0.132	0.193
Grupo 4	Hidalgo	Tula-Tepeji						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0.316
	Guanajuato	Salamanca	0.387	0.481	0.490	0.594	0.384	0.413	0.341	0.265	0.235	0.122	0.104	0.168	0.192	0.141

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Tabla 45. MÁXIMO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE SO_2, 2000-2013
LÍMITE DE 24 HORAS, 0.110 ppm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM**	**0.152**	**0.297**	**0.141**	0.090	0.102	**0.115**	0.087	0.066	0.073	0.052	0.076	0.082	0.055	0.079
Grupo 4	**Hidalgo**	**Tula-Tepeji**						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**D.I.**
	Guanajuato	**Salamanca**	**0.275**	**0.280**	**0.287**	**0.252**	**0.222**	**0.241**	**0.225**	**0.169**	**0.131**	0.071	0.072	0.079	**0.120**	0.086

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Tabla 46. PROMEDIO ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES HORARIAS DE SO_2, 2000-2013
LÍMITE DE ANUAL, 0.025 ppm

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM**	**0.030**	**0.036**	0.020	0.020	0.018	0.020	0.011	0.011	0.010	0.011	0.010	0.009	0.009	0.010
Grupo 4	**Hidalgo**	**Tula-Tepeji**						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	**D.I.**
	Guanajuato	**Salamanca**	**0.078**	**0.077**	**0.083**	**0.072**	**0.072**	**0.059**	**0.061**	**0.049**	0.025	0.018	0.024	**0.025**	**0.038**	0.024

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
D.I. = Datos insuficientes para el cálculo (no se cumplió con el criterio de suficiencia de datos)
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Anexo V. Número de días en los que se exceden los límites de las NOM de calidad del aire (2000 – 2013)

Tabla 47. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE HORARIO DE O_3 (0.110 ppm)

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM**	323	296	300	284	238	232	214	219	184	179	146	152	118	126
	Jalisco	**ZMG**	61	36	74	67	45	65	87	85	57	69	117	137	33	55
	Nuevo León	**AMM**	11	13	8	12	36	32	24	17	29	12	31	45	18	23
Grupo 2	**Estado de México**	**ZMVT**	38	15	20	13	8	22	12	2	4	F.O.	F.O.	13	7	4
	Baja California	**Tijuana**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Guanajuato	**León**							0	10	18	23	5	13	17	23
	Chihuahua	**Ciudad Juárez**	9	6	5	1	2	3	3	0	3	0	0	0	0	0
Grupo 3	**Baja California**	**Mexicali**	14	14	7	6	4	5	2	4	3	0	2	2	0	2
	Yucatán	**Mérida**														0
	Chihuahua	**Chihuahua**								0	0	1	0	0	0	0
	Aguascalientes	**Aguascalientes**	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I	N.I	N.I	N.I	N.I	N.I	0
	Michoacán de Ocampo	**Morelia**									47	5	0	36	1	0
	Guanajuato	**Irapuato**							0	2	1	0	12	6	26	17
	Baja California	**Ensenada**													0	0
Grupo 4	**Guanajuato**	**Celaya**							0	0	1	0	0	5	0	0
	Hidalgo	**Pachuca-Tizayuca**										S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	3
	Hidalgo	**Tula-Tepeji**						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	3
	Guanajuato	**Salamanca**							17	11	1	2	0	0	5	2
	Guanajuato	**Silao**							1	0	1	1	2	0	0	0
	Baja California	**Tecate**	1	2	0	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	F.O.
	Baja California	**Rosarito**	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	F.O.	0

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Tabla 48. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE PM_{10}

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	DF y Estado de México	ZMVM	54	84	50	79	38	34	49	16	44	45	64	56	19	21
	Jalisco	ZMG	127	118	109	69	53	48	62	17	27	13	20	125	69	47
	Nuevo León	AMM	45	121	130	131	123	162	146	92	112	83	127	167	96	60
Grupo 2	Estado de México	ZMVT	15	18	80	131	136	171	122	104	151	154	90	169	71	92
	Baja California	Tijuana*	4	4	6	6	8	9	5	7	4	8	1	4	0	1
	Guanajuato	León							62	50	42	55	19	23	6	1
	Chihuahua	Ciudad Juárez*	21	24	25	26	18	24	27	20	52	54	25	26	24	28
Grupo 3	Baja California	Mexicali*	59	57	45	50	60	44	49	43	47	26	33	44	49	54
	Chihuahua	Chihuahua								6	2	0	4	3	3	3
	Guanajuato	Irapuato							1	7	10	4	6	1	0	0
	Baja California	Ensenada*												0	0	0
Grupo 4	Guanajuato	Celaya							0	0	2	2	2	43	69	58
	Hidalgo	Pachuca-Tizayuca*											N.I.	N.I.	N.I.	17
	Hidalgo	Tula-Tepeji*					S.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	S.I.	S.I.	N.I.	9
	Guanajuato	Salamanca							43	14	18	9	14	16	9	3
	Guanajuato	Silao							0	0	3	2	3	2	0	0
	Baja California	Tecate*	1	4	5	5	6	5	2	3	4	7	2	0	2	0
	Baja California	Rosarito*	1	0	1	2	2	3	1	1	1	1	0	1	F.O.	0
	Hidalgo	Distrito Minero de Molango*								N.I.	N.I.		N.I.	N.I.	N.I.	0

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
F.O. = Fuera de operación
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Tabla 49. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE $PM_{2.5}$ (65 µg/m³)

GRUPO	ENTIDAD FEDERATIVA	SMCA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM**	8	14	16	16	5	28	5	13	9	5	16
	Nuevo León	**AMM**	23	16	17	31	8	13	6	6	13	6	5
Grupo 2	**Estado de México**	**ZMVT**									35	33	38
Grupo 3	**Yucatán**	**Mérida**											0
	Guanajuato	**Irapuato**											0
Grupo 4	**Hidalgo**	**Tula-Tepeji***										N.I.	33
	Guanajuato	**Salamanca**											4
	Guanajuato	**Silao**											0
	Hidalgo	**Distrito Minero de Molango***										N.I.	7

* Equipo manual
Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.

Tabla 50. NÚMERO DE DÍAS EN LOS QUE SE REBASÓ EL LÍMITE DE 24 HORAS DE SO_2 (0.11 ppm)

Grupo	Entidad Federativa	SMCA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grupo 1	**DF y Estado de México**	**ZMVM**	8	16	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Grupo 4	**Hidalgo**	**Tula-Tepeji**						S.I	S.I	N.I	N.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	0
	Guanajuato	**Salamanca**	86	84	100	101	94	46	64	16	3	0	0	0	2	0

Sin clave (celdas en blanco) = No se dispone de equipo de medición
S.I. = No se recibió información del equipo de medición en el INECC
N.I. = Se recibió información del equipo de medición en el INECC, pero ésta no cumplió los requisitos para su inclusión en el informe.