

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS.**

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA SALUD.

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL.



**TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE OZONO Y MORTALIDAD POR
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y CARDIOVASCULARES, EN LA ZONA
METROPOLITANA DE GUADALAJARA.**

**TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS.**

PRESENTA: BIOL. NÉSTOR EDUARDO GONZÁLEZ DE LA CERDA.

DIRECTOR: DR. ARTURO FIGUEROA MONTAÑO.

GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO. DICIEMBRE DE 2013.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS.

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA SALUD.

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL.



**TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE OZONO Y MORTALIDAD POR
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y CARDIOVASCULARES, EN LA ZONA
METROPOLITANA DE GUADALAJARA.**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS.

PRESENTA: BIOL. NÉSTOR EDUARDO GONZÁLEZ DE LA CERDA.

DIRECTOR: DR. ARTURO FIGUEROA MONTAÑO.

GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO. DICIEMBRE DE 2013.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A Arturo Figueroa.

A mis padres Eliseo y María Eugenia.

A Karina.

A los compañeros, académicos y administrativos del postgrado.

A la U. de G. y CONACYT.

Al INECC, especialmente a Leonora, Tania, Guadalupe y Laura (DGICUR).

A Lauro y Lupita.

A todos, Gracias.

DEDICATORIAS

A mi descendencia.

A mis hermanas Sandra y Brenda.

A la honra de mis abuelos.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL
en el padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT

COMITÉ DE TESIS
PRESENTE

Por medio de la presente nos permitimos informar a usted (es) que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realizó el pasante:

C. NÉSTOR EDUARDO GONZÁLEZ DE LA CERDA

Con el título:

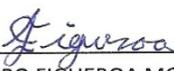
“TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE OZONO Y MORTALIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y CARDIOVASCULARES, EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA.”

Manifestamos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para la autorización de impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

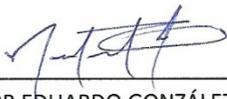
Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva brindar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Las Agujas, Zapopan, Jalisco a 05 de diciembre de 2013


DR. ARTURO FIGUEROA MONTAÑO

Director del Trabajo de Tesis


C. NÉSTOR EDUARDO GONZÁLEZ DE LA CERDA

Alumno

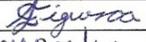
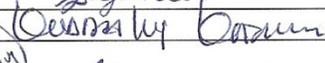
ASESORES


DRA. VALENTINA DAVIDOVA BELISTKAYA

Nombre y Firma


DR. ARTURO CURIEL BALLESTEROS

Nombre y Firma

SINODALES	FIRMA
DR. ARTURO FIGUEROA MONTAÑO (Director)	
DRA. MARÍA GUADALUPE GARIBAY CHÁVEZ	
DR. ARTURO CURIEL BALLESTEROS	
M.C. VALENTÍN HERNÁNDEZ TRUJILLO	

CONTENIDO.

	Pagina
1. RESUMEN.	1
2. INTRODUCCIÓN.	3
3. JUSTIFICACIÓN.	5
4. OBJETIVOS.	8
5. HIPÓTESIS.	9
6. MARCO TEÓRICO.	10
6.1 Salud Ambiental.	10
6.2 Contaminación del aire urbano.	11
6.2.1 Clasificación de contaminantes del aire.	13
6.2.1.1 Contaminantes criterio.	14
6.2.2 Monitoreo de la calidad del aire.	18
6.2.3 Indicadores de la calidad del aire.	20
6.2.3.1 Tipos de datos para el cálculo de indicadores de la calidad del aire.	25
6.2.3.2 Calidad y completión de la información del monitoreo.	26
6.3 Ozono.	28
6.3.1 Ozono troposférico.	29
6.3.2 Efectos a la salud.	30
6.3.2.1 Efectos por exposición aguda.	31
6.3.2.2 Efectos por exposición crónica.	32
6.3.3 Normatividad vigente a ozono.	32
6.3.4 Ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	34
6.4 Enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al contaminante ozono.	36
6.5 Mortalidad.	41
6.5.1 Mortalidad en el mundo.	41
6.5.2 Mortalidad en México.	42
6.5.3 Mortalidad en Jalisco.	44
6.5.4 Mortalidad en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	44
6.6 Carga ambiental de la enfermedad.	46

7	METODOLOGÍA.....	51
7.1	Desempeño anual e histórico de las estaciones de monitoreo.	56
7.2	Elección y obtención de indicadores.	57
7.2.1	Indicadores para evaluar impacto a la salud.	58
7.2.2	Indicadores para evaluar comportamiento.	60
7.2.3	Indicadores para evaluar tendencia de las concentraciones de O ₃	61
7.3	Estimación de la carga ambiental para el factor d riesgo O ₃	62
8	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	66
8.1	Localización.	66
7.1	Emisiones vehiculares.....	67
7.2	Orografía.	67
7.3	Demografía.	68
7.4	Clima.	69
8	RESULTADOS.....	72
9.1	Desempeño anual e histórico del SIMAJ para las mediciones de O ₃	72
9.2	Elección y obtención de indicadores referentes a O ₃	77
9.2.1	Indicadores para evaluar impacto a la salud por concentraciones de O ₃	78
9.2.2	Comportamiento de las concentraciones de O ₃	83
9.2.3	Tendencia de las concentraciones de O ₃	89
9.3	Carga ambiental de la fracción de riesgo ozono en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	91
10	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	94
11	CONCLUSIONES.....	106
12	BIBLIOGRAFÍA	108

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página.
Figura 1: Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.....	13
Figura 2: Proceso de mejora continua de la calidad del aire.	19
Figura 3: Captura de pantalla de la localización actual de las estaciones del SIMAJ.....	20
Figura 4: Descripción del promedio de una hora.	25
Figura 5: Descripción de los promedio móviles horarios de 8 horas.....	26
Figura 6: Descripción de la concentración diaria.	26
Figura 7: Localización del ozono estratosférico y el ozono troposférico.	29
Figura 8: Reacciones que participan en la formación de O ₃ troposférico.....	29
Figura 9: Enfoque basado en la exposición para determinar la carga ambiental de la enfermedad.	49
Figura 10: Secuencia metodológica.....	51
Figura 11: Ejemplo de compleción para validar la concentración diaria de los datos horarios.	54
Figura 12: Ejemplos de compleción para validar la concentración diaria de los promedios móviles de 8 horas.	55
Figura 13: Localización geográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.....	66
Figura 14: Rasgos orográficos en la ZMG.	68
Figura 15: Desempeño histórico para las concentraciones diarias de O ₃ provenientes del dato horario del SIMAJ (1994-2011).....	74
Figura 16: Desempeño histórico para las concentraciones diarias de O ₃ provenientes del promedio móvil de 8 horas del SIMAJ (1994-2011).....	76
Figura 17: Valores máximos para la concentración diaria de los datos horarios, durante el periodo.....	78

Figura 18: Número y porcentaje de horas en los que se rebasa el valor normado 0.110 ppm del contaminante O3.....	80
Figura 19: Número y porcentaje de días en los que se rebasa el valor normado 0.110ppm, O3 en base a la concentración diaria.	82
Figura 20: Quinto valor máximo de las concentraciones diarias a partir de los promedios móviles de 8 horas.	83
Figura 21: Valores máximos y mínimas de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG.	84
Figura 22: Promedio de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG.....	85
Figura 23: Comportamiento hora a hora de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG.....	86
Figura 24: Comportamiento día a día de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG.....	87
Figura 25: Comportamiento mes a mes de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG.....	88
Figura 26: Tendencias de las concentraciones diarias del dato horario referente a O3 en la ZMG (1994-2011).	89
Figura 27: Tendencias de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O3 en la ZMG (1994-2011).	90
Figura 28: Tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG.	91
Figura 29: Carga ambiental de la fracción de riesgo ambiental ozono y su posible contribución en el número de muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG.....	93

ÍNDICE DE CUADROS.

	Página.
Cuadro 1: Contaminantes criterio del aire: origen, efectos en la salud y regulaciones.....	15
Cuadro 2: Indicadores de la calidad del aire.....	22
Cuadro 3: Requerimientos de compleción por tipo de datos para obtener los indicadores de la calidad del aire.....	27
Cuadro 4: Descripción de los tipos de exposición al ozono.....	31
Cuadro 5: Límites de concentración para ozono recomendadas por México, Estados Unidos, Unión Europea y OMS.	33
Cuadro 6: Identificación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al contaminante ozono de acuerdo a Causes of death 2008.	39
Cuadro 7: Principales causas de muertes por enfermedades no transmisibles en el mundo para 2011.....	41
Cuadro 8: Principales causas de mortalidad general en México, 2001 - 2011.	43
Cuadro 9: Principales causas de mortalidad general de Jalisco, México en 2010 y 2011.	44
Cuadro 10: Tasa específica de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares por cada 100,000 habitantes en la ZMG.....	46
Cuadro 11: Localización geográfica y municipal de las estaciones de monitoreo de las cuales se obtuvieron los datos de contaminación por ozono.	52
Cuadro 12: Tipo de dato requerido para evaluar la calidad del aire ambiente referente a ozono, en base a la modificación a la NOM-020-SSA1-1993.	53
Cuadro 13: Desempeño anual de la estación de medición.....	56
Cuadro 14: Desempeño histórico de las estaciones de medición.....	56

Cuadro 15: Indicadores de calidad del aire elegidos para evaluar aspectos de impacto a la salud, comportamiento y tendencia.	58
Cuadro 16: Intervalos de concentración para la concentración diaria del dato horario.	61
Cuadro 17: Intervalos de concentración para la concentración diaria del promedio móvil de 8 horas.	61
Cuadro 18: Resultados de salud recomendados y funciones de riesgo utilizados para calcular la carga ambiental de la enfermedad.	63
Cuadro 19: Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares por cada 100,000 habitantes en la ZMG.....	64
Cuadro 20: Desglose de datos de población para la ZMG.	68
Cuadro 21: Crecimiento Poblacional Municipios de la ZMG en el periodo de 1994 a 2011.....	69
Cuadro 22: Desempeño anual en base al porcentaje de datos válidos para la concentración diaria (dato horario).	72
Cuadro 23: Desempeño anual en base al porcentaje de datos válidos para la concentración diaria (promedio móvil de 8 horas).	75
Cuadro 24: Resumen de estaciones con datos suficientes y válidos para la obtención de indicadores de la calidad del aire.....	76
Cuadro 25: Indicadores referentes a O ₃ elegidos para evaluar aspectos de impacto a la salud, comportamiento y tendencia.	77
Cuadro 26: Estimación de la carga ambiental para enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG, considerando las concentraciones de O ₃ troposférico como fracción de riesgo.....	92

1. RESUMEN.

La presente investigación consistió en una evaluación del desempeño histórico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco (SIMAJ) sobre la suficiencia de los datos de las concentraciones ambientales de Ozono (O_3), a fin de contar con una base de datos confiable para generar indicadores de la situación de la calidad del aire, que permitieron describir las tendencias de los niveles de contaminación por ozono troposférico y de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares entorno a este contaminante, en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

La metodología utilizada en este estudio, se basa en la calificación del desempeño anual e histórico de una estación de monitoreo para el parámetro O_3 , y el proceso de generación de indicadores de la calidad del aire presentado por el Instituto Nacional de Ecología (2010d). En complemento su utilizó el método Environmental Burden of Disease -EBD- por sus siglas en inglés (Carga Ambiental de la Enfermedad) difundido por la Organización Mundial de la Salud (Prüss-Üstün et al., 2003) que permitió estimar cuantitativamente la tendencia del número de muertes esperadas, de acuerdo a la pauta de los niveles de concentración de ozono.

Los resultados del desempeño anual e histórico, fue bueno en 5 de las 8 estaciones, sin embargo sólo en 3 (E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta) hubo concordancia y suficiencia de datos para determinar la concentración diaria del promedio móvil de 8 horas y del dato horario, necesaria para el cálculo de los indicadores. Los indicadores que se lograron describir para evaluar aspectos de impacto a la salud los fueron, concentración máxima horaria, número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma, número y porcentaje de días arriba del límite de la norma y quinto máximo. Para evaluar comportamiento, valor máximo y mínimo de promedio móvil, valor promedio del promedio móvil, promedio hora a hora, promedio día a día, promedio mes a mes. Y para identificar tendencia, intervalos de concentración.

En toda la serie analizada (1994 -2011) las concentraciones diarias en más de la mitad de los días del año, tendieron a ser de malas a regulares, tanto las referentes al dato horario como de los promedios móviles en 8 horas. Aunque se evidenció en la mayoría de indicadores una leve disminución de las concentraciones de ozono durante el periodo de 1999 a 2007, esta problemática no desapareció y además vuelve a incrementarse a partir de 2008 hasta 2011 de manera sostenida. Por exceder ampliamente los niveles objetivo en todos los indicadores, desatacaron los años de 1996 y 2011 como los más relevantes en tanto a la problemática de contaminación por ozono.

La tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares se mostró muy similar a la identificada en los indicadores, concentración máxima horaria, número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma, número y porcentaje de días arriba del límite de la norma, quinto máximo, valor promedio del promedio móvil, e intervalos de concentración. Además la EBD expresó que cuando las concentraciones promedio anuales excedían los 0.050 ppm (móvil 8 horas) se esperarían fallecimientos, mostrando de mejor manera su participación en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares a partir de 0.053 ppm. Esto fue evidente en los años 1996, 1997, 2003, 2009, 2010 y 2011.

Una de las principales limitantes de este estudio fue aterrizar la metodología de la EBD a la escala local. El trabajo aquí desarrollado consiste en un acercamiento más para identificar aspectos críticos y de tendencias en lo referente a contaminación por ozono y sus efectos en la población, para que las entidades responsables de la protección al ambiente y la elaboración de normas, puedan identificar de manera moderada, la aparición de los posibles casos de fallecimiento en los que el ozono participa, reconociendo que la vía causal entre el riesgo ambiental y la aparición de la enfermedad es compleja.

2. INTRODUCCIÓN.

A partir del acontecimiento ocurrido en los meses de diciembre de 1952 a marzo de 1953 llamado “El Gran Smog de Londres” en el cual ocurrieron 12,000 muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, la contaminación atmosférica en los ambientes urbanos en las grandes ciudades, se comenzó a percibir como un serio problema. Esto ha llevado al desarrollo de investigaciones en este tema, que han aportado referencias para que en varios países, entre ellos México, así como por organizaciones internacionales se implanten normas y regulaciones de la calidad del aire como medidas para proteger la salud.

A pesar de estos esfuerzos la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el reporte *Global Health Risks de la OMS* (2009a) indica que la exposición humana a la contaminación del aire urbano, representan casi el 10% de las muertes de la carga de enfermedad a nivel mundial. Las investigaciones científicas ponen también de manifiesto la dificultad de conocer cuál de estos contaminantes se le atribuye o infiere en conjunto con otros causalmente en la enfermedad, ya que los contaminantes en el aire se encuentran presentes como un coctel de complejos compuestos químicos, que van desde simples irritantes de la piel y vías respiratorias, hasta compuestos carcinogénicos y mutagénicos.

Uno de estos contaminantes y de los más comunes e importante en áreas urbanas es el ozono troposférico (OMS-CEPIS, 2004; CEPIS, 1999). Además es considerado el más toxico de los contaminantes fotoquímicos; es decir, que proviene de la foto-oxidación en presencia de luz solar de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) (EPA, 2012b). El ozono alcanza fácilmente el tracto respiratorio inferior y debido a sus propiedades oxidantes puede romper vínculos moleculares y dañar rápidamente el tejido humano (Bell y Samet, 2010). Aunque los efectos a la salud varían de acuerdo la duración de la exposición al contaminante y de acuerdo con la rapidez con la que se manifiestan los síntomas (Jaramillo et al., 2006), diversas

investigaciones internacionales han relacionado al ozono con la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares tanto por exposición aguda, como crónica (Bell et al., 2005; Levy et al., 2005; WHO, 2004; Loomis et al., 1996).

Sin embargo en México y específicamente en la Zona Metropolitana de Guadalajara aun cuando se ha reconocido que la contaminación por ozono ha empeorado en los últimos años (INE, 2011; Pinal y Curiel, 2009) y la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares ocupan los primeros lugares (Secretaría de Salud, 2012), el tipo de investigaciones que describen las tendencias de dicho contaminante y las de la mortalidad por enfermedades a las que la evidencia científica les asocia, apenas surgen; debido principalmente a la deficiencia de información disponible para este tipo de análisis. Aun con estas carencias, Parada en 2012 con información del SIMAJ de 1996 a 2009, observó una relación funcional significativa en la ZMG, entre el comportamiento de ozono y la mortalidad por enfermedades isquémicas.

Ante la situación planteada, esta investigación generó un mayor conocimiento en una primera instancia, de la calidad de la información disponible y desempeño del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco en torno al contaminante ozono, que en una segunda etapa permitió generar indicadores confiables de la calidad del aire referentes a dicho contaminante, concluyendo con una tercera parte, que estimó la carga ambiental del ozono troposférico como una de las fracciones de riesgo atribuibles a la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Esto se realizó con el objetivo de describir las tendencias de las concentraciones de ozono y de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en los Municipios de Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan integrantes de la ZMG, mediante un estudio no experimental, descriptivo, observacional, cuantitativo y longitudinal que comprendió el periodo de 1994 a 2011.

3. JUSTIFICACIÓN.

Desde el desastre ocurrido en Londres conocido mundialmente como “El Gran Smog de Londres”, en el que 12,000 personas fallecieron por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, debido a la acumulación de contaminantes en el aire, durante el periodo de diciembre 1952 a Marzo 1953 (Davis, 2002), la contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todos los países (OMS, 2006a) ya que actualmente se calcula, que en entornos urbanos de todo el mundo, causa alrededor de 1.3 millones de muertes al año (OMS, 2011).

Uno de los contaminantes más importantes y comunes en dichas áreas urbanas, es el ozono (CEPIS, 1999), pues es el más tóxico de los contaminantes fotoquímicos; es decir, que proviene de la foto-oxidación de los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno, donde los elementos catalizadores de la reacción son la intensa luz solar y el concomitantemente incremento de la temperatura atmosférica (Ballester, 2005). Particularmente para la Zona Metropolitana de Guadalajara, al O_3 se le atribuye el primer lugar como el responsable de la mala calidad del aire (Davydova-Beliskaya y Skiba, 1999a; Figueroa, 2005).

En este sentido en octubre de 1996 en la ZMG, se alcanzaron niveles muy altos en la concentración de este contaminante, rebasando casi tres veces el valor normado, (promedio horario menor o igual a 0.110 ppm una vez al año) de acuerdo a la NOM-020-SSA1-1993 (Tereshchenko y Filonov, 1997). Más recientemente el Colectivo Ecologista Jalisco señaló una directriz a la alza, en el incumplimiento de la norma para el máximo diario de los promedios móviles de 8 horas también establecidos en la normativa, y mencionan además, la dificultad de generar estas tendencias, debido a la falta de información disponible en la red de monitoreo atmosférico de la ciudad (CEJ, 2012).

Esto toma relevancia ya que la evidencia internacional indica que los incrementos en ocho horas de las concentraciones de ozono en las áreas urbanas, aumentan la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares del 0.3% al 5% tomando como nivel de referencia 0.050 ppm en 8 horas equivalente a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2006a), con incrementos de 0.001 ppm (Bell et al., 2005; OMS, 2006a) destacando las enfermedades cardíacas prematuras (Levy, Chemerynsky, & Sarnat, 2005), neumonías (Scott y Diab, 2000), asma (Cifuentes et al., 2001) afecciones en los pulmones y vías respiratorias (Mudway y Kelly, 2000; Peng et al, 2013).

Aunque en México también se reconoce que la contaminación del aire constituye, uno de los principales problemas ambientales, que incide en la salud pública de los habitantes en los ámbitos local y regional, principalmente de los que habitan en las grandes áreas urbanas (SEMARNAT, 2007), los estudios por efectos a la salud por ozono en la ZMG, están enfocados cuando se rebasa el valor normado de una hora y han dejado a un lado el criterio límite promedio en 8 horas. Como ejemplo, se ha observado que a partir del año 2003 existe una importante pérdida de la calidad del aire y de la salud ambiental en la ZMG (Curiel, 2010), donde el O_3 es uno de los contaminantes que rebasan la norma de una hora con más frecuencia (Pinal y Curiel, 2009), lo que significa un riesgo crónico por la continua exposición fuera de valor normado en una hora, y esto se ha asociado al incremento en la mortalidad por enfermedades respiratorias (Curiel, 2009) principalmente para neumonías (Parada, 2010).

Así pues la calidad del aire ha sido una preocupación permanente, ya que los signos más notorios de su deterioro, como la menor visibilidad y el incremento en las molestias, se suman también, enfermedades y muertes asociadas a la contaminación en las principales ciudades del país. (SEMARNAT, 2008). Sin embargo aunque la evidencia cuantitativa es contundente y se reconoce que los incrementos en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares son atribuidas a factores ambientales, entre ellos, la exposición a los aumentos

en los niveles de O₃, ha sido difícil estimar su efecto, y su carga es complicada de medir (Corvalán et al., 2000). Pocos estudios a nivel local se han realizado con este enfoque (Prüss-Üstün et al., 2003) ya que los diseños de estudio y estrategias de modelación son muy específicas y se requiere de información de calidad tanto para el factor ambiental, así como de los datos de salud, principales limitantes en México (Riojas et al., 2006).

A lo anterior se le suma que en México debido principalmente a la falta de recursos para realizar los estudios mencionados y la gravedad del problema de contaminación del aire a principios de los años noventa, se adoptaron normas de calidad del aire basadas en organismos internacionales como la OMS y de la EPA de los Estados Unidos, se establecieron valores normados superiores a los de estas instituciones, como el límite de ocho horas en México (0.080 ppm) el cual es 70% mayor al de la OMS (0.050 ppm), por lo tanto existe un mayor riesgo de posibles efectos a la salud; aunque esto ha sido difícil valorar pues existe huecos importantes en los datos del monitoreo, además de las diferencias en la escala del tiempo con la que estos datos y los de salud son registrados (INE, 2011; SEMARNAT, 2008).

De acuerdo a lo anterior y considerando que el Estado Mexicano se ha propuesto seguir de cerca la evolución de los riesgos a la salud por los contaminantes del aire (SS, 2007), y bajo el fundamento que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano (OMS, 2011). Es importante establecer la vigilancia del comportamiento epidemiológico de las diversas enfermedades relacionadas con la contaminación así como de las tendencias del ozono, ya que un monitoreo de este tipo permitirá precisar la importancia relativa que adquiere la incidencia de mortalidad en diferentes regiones de cada país, para evitar la confusión con otros factores de riesgo transversales que varían según la ciudad (Gay, 2000; Zanobetti y Schwartz, 2011).

4. OBJETIVOS.

4.1 General.

Describir las tendencias de los niveles de contaminación por ozono troposférico (O_3) en la Zona Metropolitana de Guadalajara y la participación que esta fracción de riesgo ambiental tiene en la tendencia de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, durante el periodo de 1994 a 2011.

4.2 Particulares.

- Calificar el desempeño histórico de las estaciones Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco (SIMAJ) para el contaminante ozono troposférico (O_3), del periodo de 1994 a 2011, a fin de contar con una base de datos confiable que permita identificar las estaciones aptas para producir indicadores de la calidad del aire.
- Generar indicadores de la calidad del aire para evaluar aspectos de impacto a la salud, de comportamiento y tendencia del contaminante ozono troposférico (O_3) en el periodo de 1994 a 2011.
- Estimar la carga ambiental de la enfermedad considerando a las concentraciones de ozono troposférico (O_3) como una de las fracciones de riesgo participantes en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en el periodo de 1994 a 2011 en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

5. HIPÓTESIS.

La tendencia de las concentraciones que exceden el 0.050 ppm promedio móvil de 8 horas de ozono recomendado por la Organización Mundial de la Salud, es una de las fracciones de riesgo atribuible a los incrementos en la tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

6. MARCO TEÓRICO.

6.1 Salud Ambiental.

A partir de que la Organización Mundial de la salud definió a la salud como, "... *estado de completo bienestar físico, mental y social, y no sólo la ausencia de enfermedad o dolencia...*" (OMS, 1946), diversas investigaciones, interpretaciones y concepciones culturales diferentes de la salud, han logrado ampliar el concepto salud que se estableció en aquel tiempo, en el cual la OMS ha jugado un papel significativo como ente aglutinador de las últimas tendencias en el campo de la salud (Guerrero y León, 2008).

Hecha la observación anterior, avances significativos en la evolución de la salud, incorporando lo ambiental, se facilitaron en la conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo "Cumbre de la Tierra" de las Naciones Unidas en 1992, en donde se reconoce que las perspectivas de salud dependen del desarrollo adecuado y sostenible de nuestro medio ambiente, natural y social (ONU, 1992). Posterior a estas reflexiones, el documento final de la Agenda 21 (ONU, 1993) señala, "...*Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza...*".

En efecto, una de estas ampliaciones es la de Salud Ambiental, que a la par ha sido definida de distintas maneras; estas enunciaciones han estado emplazadas desde condiciones ambientales particulares, como la relación entre la gente y el ambiente, la promoción de ambientes que mejoren la salud y la disminución de riesgos físicos y/o químicos; hasta una visión más amplia y de salud del ecosistema, así como de entornos sociales y construidos (Frumkin, 2010).

En consecuencia la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la OMS en el informe *Nuestro planeta, nuestra salud* (1993) crea una definición de salud ambiental ampliamente aceptada, que describe el campo de acción de los estudios referidos al ambiente y su interrelación con la salud y señala que

“comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinadas por factores ambientales, físicos, químicos, biológicos y psicosociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluación, corrección, control y prevención de los riesgos ambientales...”.

Lo citado en el párrafo anterior es acompañado por la corriente de pensamiento actual iniciada por la Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud de la OMS, constituida para abordar los factores condicionantes, ahora llamados determinantes sociales de la salud (OMS, 2005); dado que esta comisión se muestra de acuerdo en que la calidad del estado de salud de la población es multicausal, es decir, depende de las circunstancias en que las personas nacen, crecen, viven, trabajan y envejecen, incluido el sistema de salud, por lo que se deben adaptar medidas para crear entornos salubres para una población sana (OMS, 2009b).

Como resultado, con el enfoque de salud ambiental se ha estimado que el medio natural y el social contribuyen con el 55% al mantenimiento o pérdida de la salud en el mundo (Tarlov, 1996). En este mismo sentido, se ha reconocido que las condiciones del ambiente son responsables del 25 al 33% de la carga global de enfermedad (Smith et al., 1999), para México las estimaciones han considerado que el 35% de la carga de enfermedad se puede atribuir a exposiciones ambientales (SS, 2002). Mientras que el reporte *Global Health Risks de la OMS* (2009a) indica que la exposición humana a la contaminación del aire urbano, representan casi el 10% de las muertes y la carga de enfermedad a nivel mundial.

6.2 Contaminación del aire urbano.

La contaminación del aire ha venido acompañando al hombre prácticamente después que descubrió el fuego, sin embargo el crecimiento de las poblaciones humanas y el desarrollo industrial de las mismas, se concentró en las ciudades, lo que conllevó a una mayor demanda de energía, que terminó en más

emisiones contaminantes en las poblaciones urbanas (Arbex et al., 2012). Aunque ya Hipócrates en *On Air, Water, and Places* había destacado que la salud de la gente podría verse afectada por el aire que respira, y que la calidad del aire es distinta de un área a otra (Gourevtch, 1995).

El primer caso de efectos severos por la contaminación del aire en áreas urbanas, aconteció en 1930 en el Valle de Meuse, Bélgica, lugar donde se elevó más de diez veces la tasa de mortalidad habitual, planteándose así, que un episodio de esas características en una ciudad de mayor población, podrían morir miles de personas (Nemery et al., 2001). Esta advertencia se hizo realidad, pues en diciembre de 1952 la ciudad de Londres presentó altos niveles de contaminantes, los cuales se asociaron con un alarmante incremento en el número de muertes (Bell y Davis, 2001). Inclusive el incremento en la contaminación del aire fue seguido por un drástico aumento de las tasas de mortalidad, las cuales elevaron hasta tres veces de su nivel normal, generando inclusive implicaciones sociales por falta de ataúdes y flores para los difuntos acaecidos a causa de este episodio de contaminación del aire (Bell y Samet, 2010). En este sentido la asociación entre contaminación del aire y salud durante estos dos eventos fue indudable.

Cabe agregar, que en las áreas urbanas, han destacado como importantes causantes de las emisiones de contaminantes al aire, las fuentes antropogénicas, como son las vehiculares, industriales y domésticas (WHO/UNEP, 1992; Mage et al., 1996; Khare y Nagendra, 2007), en donde los principales efectos de la contaminación del aire sobre la salud, van desde alteraciones de la función pulmonar, problemas cardíacos, molestias y otros síntomas, hasta un aumento de ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias como del número de defunciones, esencialmente por causas respiratorias y cardiovasculares (Martinez et al., 2007).

Los efectos a la salud más estudiados por la contaminación del aire, son los que se producen a corto plazo, es decir en el periodo de unos pocos días, habitualmente en menos de una semana después de la exposición; en este tiempo, la población vulnerable como los niños, mujeres embarazadas, personas con afecciones respiratorias y ancianos con enfermedades crónicas son los primeros en manifestar una serie ordenada de la gravedad de las consecuencias de la contaminación del aire (figura 1) (Ballester et al.,1999).

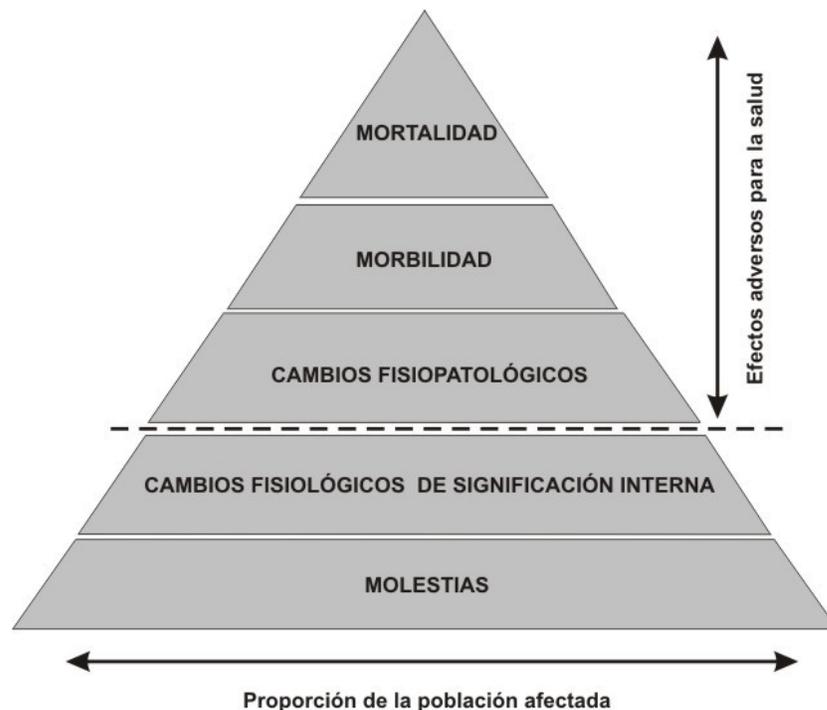


Figura 1: Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.

Fuente: Ballester et al.,1999)

6.2.1 Clasificación de contaminantes del aire.

Los contaminantes del aire en un lugar varían de un día a otro o de una estación del año a otra, pues dependen principalmente del clima (por ejemplo temperatura, velocidad y dirección del viento y precipitación), patrones de terreno y de las fuentes emisoras (Bell y Samet, 2010). Debido a lo anterior resulta muy útil diferenciar los contaminantes en grupos. Pueden ser clasificados por su origen o por características físicas y químicas. Por su origen; emitido directamente (primario) o formarse en la atmosfera por la conversión física y química de precursores (secundario). Por su procedencia; provenientes

de emisiones naturales (biogénico) o son resultado de la actividad humana (antropogénico). Se presentan en estado físico como “gases” o “partículas” (pequeños sólidos o líquidos suspendidos en el aire). Y una última manera de clasificarlos es relacionada con la manera en que se les regula legalmente, “contaminantes riesgosos del aire” y “contaminantes criterio” (WHO, 2000; OMS, 2006a; EPA, 2011). Las clasificaciones enunciadas, ofrecen una amplia diversidad para ser utilizadas según el enfoque y objetivos planteados. En particular, la clasificación de contaminantes criterio, además de ser regulados legalmente, son relevantes en la profundización de la relación existente entre salud-medio ambiente y sus bondades se pueden comprobar en el siguiente apartado.

6.2.1.1 Contaminantes criterio.

Los contaminantes criterio son aquellos que se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos, con la finalidad de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población, mediante el desarrollo de guías y normas; las guías son recomendaciones que establecen los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos; por otro lado, las normas establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un período definido, y estos valores límite son diseñados con un margen de protección ante los riesgos (INECC, 2013).

Los contaminantes criterio, han sido adoptados en México y son: Bióxido de Azufre (SO₂), Bióxido de nitrógeno (NO₂), Material Particulado (PM), Plomo (Pb), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O₃) (EPA, 2012a); el cuadro 1 los enuncia y proporciona ejemplos de su origen, sus efectos a la salud y algunos lineamientos relevantes.

Cuadro 1: Contaminantes criterio del aire: origen, efectos en la salud y regulaciones.

Contaminante (Fórmula Química)	Tipos de fuentes y fuentes principales ^c	Efectos en la salud ^c	Regulaciones y lineamientos ^b
Bióxido de Azufre (SO ₂)	Primario	Mal funcionamiento de los pulmones y problemas respiratorios. Suele aumentar el riesgo en la salud al incrementar la morbilidad y mortalidad de enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias. En individuos asmáticos puede producir broncoconstricción. Contribuye a la precipitación ácida y es precursor de Material Particulado (PM).	NAAQ-EEUU ^d Media aritmética anual: 0.03 ppm (80 µg/m ³) Promedio en 24 horas: 0.14 ppm (365 µg/m ³)
	Antropogénico: combustión de combustible fósil que contienen azufre (plantas de energía), calderas industriales, uso casero del carbón refinerías de petróleo.		OMS ^a Promedio en 10 minutos: 500 µg/m ³ Promedio 24 horas: 20 (µg/m ³)
	Biogénico: descomposición de la materia orgánica, rocío salino, erupciones volcánicas.		México ^b Promedio 24 horas: 0.13 ppm (341 µg/m ³) Anual: 0.03 ppm (79 µg/m ³)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	Primario y Secundario	Problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar. Contribuye a la precipitación ácida y es precursor de Material Particulado (PM)	NAAQ-EEUU Media aritmética anual: 0.053 ppm (100 µg/m ³)
	Antropogénico: combustión de combustibles fósiles (vehículos, instalaciones eléctricas, industria, calentadores de keroseno.		OMS Promedio 1 hora: 200 (µg/m ³) Anual: 40 (µg/m ³)
	Biogénico: descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos y en menor grado en tormentas eléctricas.		México Promedio 1 hora una vez al año: 0.21 ppm (395 µg/m ³)

Material Particulado ^e (PM)	Primario y Secundario.		NAAQ-EEUU PM ₁₀ Media aritmética anual: 50 (µg/m ³) Promedio de 24 horas: 120 (µg/m ³) PM _{2.5} Media aritmética anual: 15 (µg/m ³) Promedio de 24 horas: 65 (µg/m ³)
	Antropogénico: quema de combustible fósil, madera, fertilización de campos agrícolas. Biogénico: polen, tormentas de polvos, incendios forestales, caminos de tierra.	Problemas respiratorios, disminución de la función pulmonar, exacerbación de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, importante de riesgo ambiental en casos de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardio-pulmonares.	OMS PM ₁₀ Media aritmética anual: 20 (µg/m ³) Promedio de 24 horas: 50 (µg/m ³) PM _{2.5} Media aritmética anual: 10 (µg/m ³) Promedio de 24 horas: 50 (µg/m ³) México Partículas Suspendidas Totales (PST) Promedio 24 horas: (210 µg/m ³) PM ₁₀ Promedio 24 horas: (120 µg/m ³) Promedio anual: (50 µg/m ³) PM _{2.5} Promedio 24 horas: (65 µg/m ³) Promedio anual: (15 µg/m ³)
Plomo (Pb)	Primario Antropogénico: gasolina con plomo, baterías con plomo y procesamiento de metales.	Se acumula en órganos y tejidos. Problemas de aprendizaje, cáncer y daño al sistema nervioso. Intoxicación aguda produce síntomas como diarrea, vómito, cólico, convulsiones y dolor de cabeza.	NAAQ-EEUU Promedio trimestral: 1.5 (µg/m ³) OMS Anual: 0.50 (µg/m ³) México Promedio trimestral: 1.5 (µg/m ³)

Monóxido de carbono (CO)	Primario Antropogénico: combustión de combustibles fósiles (vehículos de motor, calderas, calefactores).	Reducción significativa en la dotación de oxígeno al corazón. Fatiga, dolores de cabeza, mareo y daño neurológico.	NAAQ-EEUU Promedio en 1 hora: 35 ppm (40 µg/m ³) Promedio en 8 horas: 9 ppm (10 µg/m ³)
	Biogénicos: Incendios Forestales y mediante la oxidación del metano (CH ₄).		OMS Promedio en 15 minutos: 100 (µg/m ³) Promedio 30 minutos: 60 (µg/m ³) Promedio en 1 hora: 30 (µg/m ³)
Ozono (O ₃)	Secundario Se forma a través de las reacciones químicas de los precursores antropogénicos y biogénicos (NO _x COV) en presencia de la luz solar.	Disminución de la función pulmonar, mayores síntomas respiratorios, irritación de ojos, broncoconstricción. Efectos sistémicos en órganos blando como el hígado. Inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares; cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar.	México Promedio 8 horas una vez al año 11.00 ppm (12,595 µg/m ³)
			NAAQ-EEUU Promedio en 1 hora: 0.12 ppm (235 µg/m ³) Promedio en 8 horas: 0.08 ppm (10 µg/m ³)
			OMS Promedio en 8 horas: 0.05 ppm(100µg/m ³).
			México Promedio 1 hora una vez al año 0.110 ppm (215.6 µg/m ³) Promedio 8 horas cinco veces al año 0.08 ppm (156.8 µg/m ³)

Fuente: Tomado de Bell y Samet, 2010.

Complementado con información de (OMS, 2006a)^a (WHO, 2000)^a (INECC, 2013) y Normas Oficiales Mexicanas^b para Pb (DOF, 1994d) NO₂ (DOF, 1994c), CO (DOF, 1994a), O₃ (DOF, 2002), Partículas Suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} (DOF, 2005) y SO₂ (DOF, 2010)

^cEste cuadro enumera sólo una muestra de las fuentes y los efectos en la salud asociados con cada contaminante. Además, los efectos en la salud pueden ser resultado de las características de una mezcla de contaminantes más que el resultado de un solo contaminante.

^dNAAQ-EEUU = Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental de los Estados Unidos de Norte América.

^eLas fuentes y los efectos de la materia particulada pueden diferir conforme el tamaño

6.2.2 Monitoreo de la calidad del aire.

Se ha desarrollado una preocupación creciente por los efectos de la contaminación del aire en la salud humana y el ambiente, debido a la fuerte presión social junto con una legislación más rigurosa, que requieren de información imparcial y confiable sobre la calidad del aire (Molina y Molina, 2001). Para esto, el monitoreo de la calidad del aire sirve de herramienta para la identificación y evaluación de estos problemas asociados a la calidad del aire (WHO, 2000).

Adicionalmente, uno de los propósitos del monitoreo de la calidad del aire, es generar y proporcionar la información necesaria a científicos, legisladores y planificadores para que ellos tomen las decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente; de esta forma los datos del monitoreo deben ser capaces de identificar áreas donde ocurren los problemas más severos en el contexto tanto local como nacional y con ello poder evaluar la importancia de un problema indicado, de acuerdo a los niveles existentes de contaminantes del aire, además, deben evaluar la efectividad de las medidas tomadas, con el objetivo de reducir los peligros ambientales causados por la contaminación del aire (Mitosek, 1996).

En consecuencia, el monitoreo junto con los modelos de predicción y los inventarios de emisiones, son parte integral de la gestión de la calidad del aire, pues en el desarrollo de un plan efectivo de gestión de la calidad del aire es necesario contar con información confiable relacionada con los niveles de contaminación en el aire, a través del monitoreo (INE, 2010a). En la figura 2 se presenta un esquema del papel del monitoreo dentro del ciclo de la gestión de la calidad del aire.

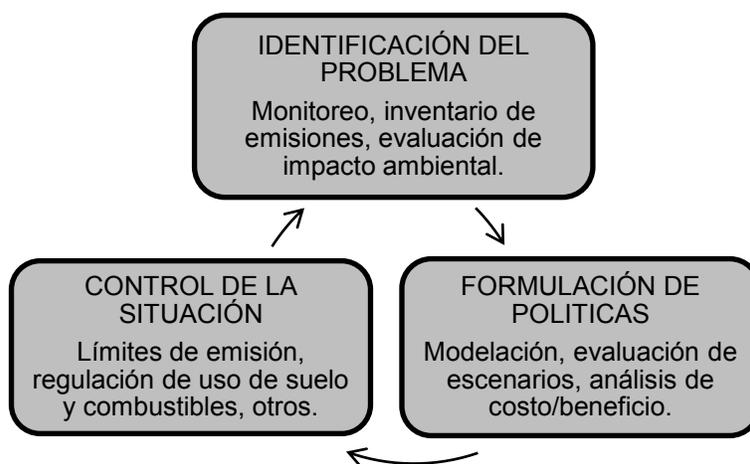


Figura 2: Proceso de mejora continua de la calidad del aire.
Fuente: INE, 2010a.

Cabe señalar que con la finalidad de evaluar la calidad del aire en un área determinada, la unidad fundamental es la estación de monitoreo; una estación de monitoreo consiste en una caseta que contiene, diversos equipos, como analizadores, monitores, sensores meteorológicos (automáticos, semiautomático y/o manuales), entre otros, destinados a monitorear las concentraciones de uno o más contaminantes del aire (partículas y gaseosos) y, por lo general, algunos parámetros meteorológicos; (INE, 2010a). En el mismo sentido, al conjunto de dos o más estaciones de monitoreo que se encuentren agrupadas en redes que puedan cubrir grandes extensiones geográficas ya sean de muestreo manual y/o de monitoreo automático o semiautomático se les denomina red de monitoreo (INE, 2010a).

A propósito de lo anterior en México a mediados de los años setenta se introdujeron equipos automáticos para la medición de contaminantes atmosféricos, con los cuales se hizo posible el monitoreo continuo en tiempo real; de los contaminantes atmosféricos para determinar su concentración (Martínez y Romieu, 1997), que permite obtener los principales productos en cuanto a la medición de la calidad del aire que son: las bases de datos, los informes, los pronósticos de contaminación y los indicadores (INE, 2010b).

En la ZMG opera el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAJ) el cual está compuesto por un Sistema de RED Automática, su operación está coordinada de acuerdo a convenios de coordinación y operación entre el Gobierno del Estado de Jalisco por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, y los H. Ayuntamientos de: Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, y Tlajomulco de Zúñiga (SEMADET, 2013). Actualmente el SIMAJ, está constituido por 10 estaciones que miden de manera continua la concentración de contaminantes en el área urbana, razón por la cual estas estaciones se distribuyen de acuerdo con los criterios establecidos para ello (figura 3).

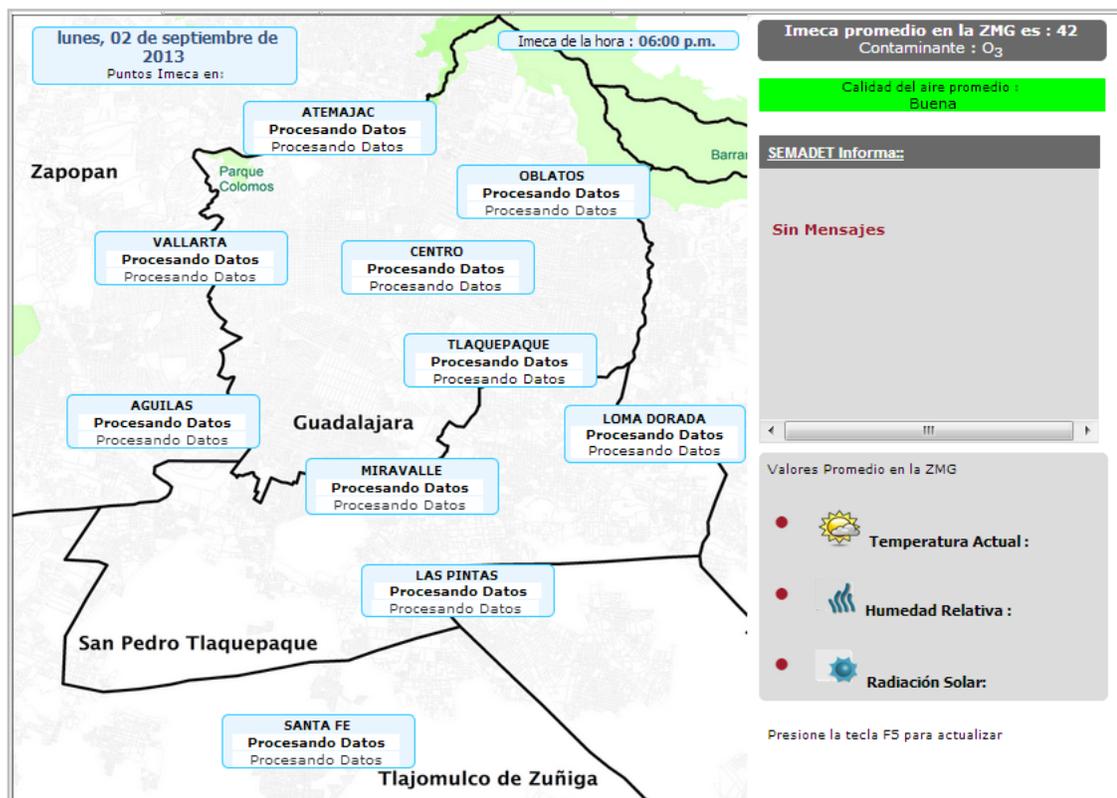


Figura 3: Captura de pantalla de la localización actual de las estaciones del SIMAJ.
Fuente: SEMADET, 2013.

6.2.3 Indicadores de la calidad del aire.

Los indicadores en el campo de salud ambiental son necesarios por ejemplo, para ayudar a monitorear las tendencias en el estado del medio ambiente, con el fin de identificar los riesgos potenciales para la salud; para controlar las

tendencias en materia de salud como resultado de la exposición a factores de riesgo ambientales, a fin de orientar las políticas para ayudar a la acción de destino donde más se necesita; para comparar las zonas o países en función de su estado de salud ambiental, y para ayudar a investigar los posibles vínculos entre el medio ambiente y la salud (WHO, 1999).

Para el caso de la calidad del aire, un indicador es un medio compacto, una representación numérica de una gran cantidad de datos de calidad del aire medidos en un área dada (CARB, 1989). De esta manera, los indicadores sobre calidad del aire permiten evaluar la situación de la contaminación atmosférica y comunicar al público la calidad del aire que se respira (Zuk, Tzintzun-Cervantes, & Rojas-Bracho, 2007).

Un buen indicador debe proporcionar un resumen pertinente y significativo de las condiciones de interés; debe satisfacer a la comunidad en general, incluyendo a aquellos que quieran debatirlos resultados mostrados; debe ser transparente y científicamente comprobable; si han de detectar variación o cambio de lo que describen, deben ser sensibles a los cambios reales de las condiciones en que fue medido, pero lo suficientemente fuerte como para no ser incomodado por pequeñas diferencias del origen de los datos utilizados; y deben ser sencillos para elaborar y aplicar (WHO, 1999).

En este contexto el Instituto Nacional de Ecología (2010d), desarrolló una referencia metodológica que presenta una serie de criterios que se deben considerar en el manejo de las bases de datos de la calidad del aire, que inicia en la generación del dato en la estación de medición y culmina en el cálculo de indicadores, los cuales se muestran a continuación en el cuadro 2.

Cuadro 2: Indicadores de la calidad del aire.

Aspecto a evaluar	Indicador	Parámetro	Tipo de dato	Equipo de monitoreo	
Impacto a la salud	Percentil 98	PST, PM ₁₀ y PM _{2.5}	Concentración diaria	Automático o manual	
	Quinto máximo	O ₃	Concentración diaria de los promedio móviles de 8 horas	Automático	
	Máximo		Dato horario	Automático	
	Segundo máximo		CO	Promedio móvil de 8 horas	Automático
			SO ₂	Concentración diaria	
			NO ₂	Dato horario	
	Número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma	O ₃ y NO ₂	Dato horario	Automático	
	Número y porcentaje de días arriba del límite de la norma		PM ₁₀ , PM _{2.5} y SO ₂	Concentración diaria	Automático
			O ₃ y NO ₂	Concentración diaria de datos horarios	
			CO	Concentración diaria de los promedio móviles de 8 horas	
Promedio anual		SO ₂	Dato horario	Automático	
		PM ₁₀ y PM _{2.5}	Concentración diaria	Automático o manual	

Comportamiento	Máximo y mínimo	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	
		PST, PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual
		HR, TMP y VV	Máximo o promedio diario	Automático
	Media o promedio	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	
		PST, PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual
		HR, TMP y VV	Máximo o promedio diario	Automático
	Promedio o mediana hora a hora	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	
		PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	Automático
Promedio o mediana día a día	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático	
	CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	Automático	
	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual	
	CO y O ₃	Concentración diaria de los promedio móviles de 8 horas	Automático	

Comportamiento	Promedio o mediana mes a mes	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	Automático
		PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual
		CO y O ₃	Concentración diaria de los promedio móviles de 8 horas	Automático
	Percentiles	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , HR, TMP y VV	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	
		PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual
Tendencia	Intervalos de concentración	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , y NO ₂	Dato horario	Automático
		CO y O ₃	Promedio móvil de 8 horas	
		PST, PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , y NO ₂	Concentración diaria	Automático o manual

Fuente: Tomado de INE, 2010d..

6.2.3.1 Tipos de datos para el cálculo de indicadores de la calidad del aire.

Los indicadores se calculan con diferentes tipos de datos (promedios de una hora, promedios móviles y concentraciones diarias), de acuerdo con el equipo de medición con el que se generaron y el fenómeno que representan. El promedio de una hora (también referido como dato horario o concentración horaria) es el promedio de las concentraciones minútales o de algún intervalo de tiempo dentro de la hora; el promedio se calcula sobre el periodo de tiempo anterior a la hora que se está determinando, esto es, si se quiere determinar el promedio de la hora 13:00, éste se obtiene con datos del periodo que comprende de las 12:01 a las 13:00 horas (figura 4) (INE, 2010d).

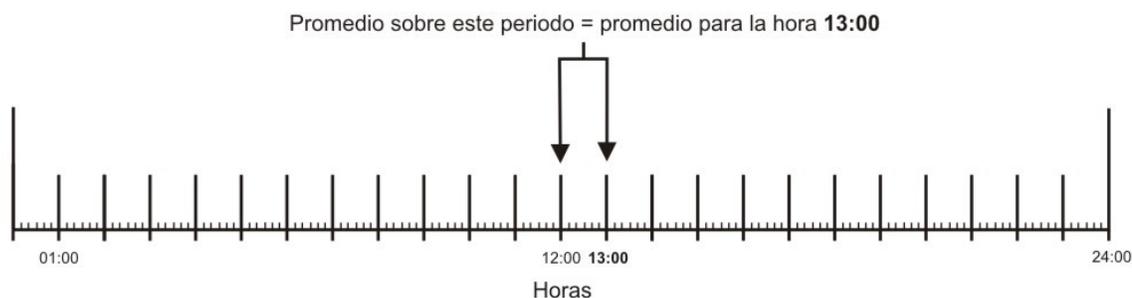


Figura 4: Descripción del promedio de una hora.
Elaboración propia, tomando referencia a INE, 2010d.

Los promedios móviles de 8 horas de O_3 se calculan de las concentraciones horarias, tomando el promedio de la hora seleccionada con las 7 concentraciones registradas en las horas previas; por ejemplo, para estimar el promedio móvil de 8 horas de las 13:00 horas, se calcula el promedio de las concentraciones registradas para cada hora desde las 06:00 hasta la 13:00 horas (figura 5); las concentraciones diarias, dependiendo del contaminante, se calculan a partir de las concentraciones horarias o de los promedios móviles de 8 horas y representan: el valor máximo diario, el promedio diario o el muestreo de 24 horas (INE, 2010d).



Figura 5: Descripción de los promedios móviles horarios de 8 horas. Elaboración propia, tomando referencia a INE, 2010d.

La concentración diaria (O_3) se refiere al valor más alto de los 24 valores horarios o promedios móviles registrados durante el día, también se le conoce como concentración máxima diaria (figura 6) (INE, 2010d).

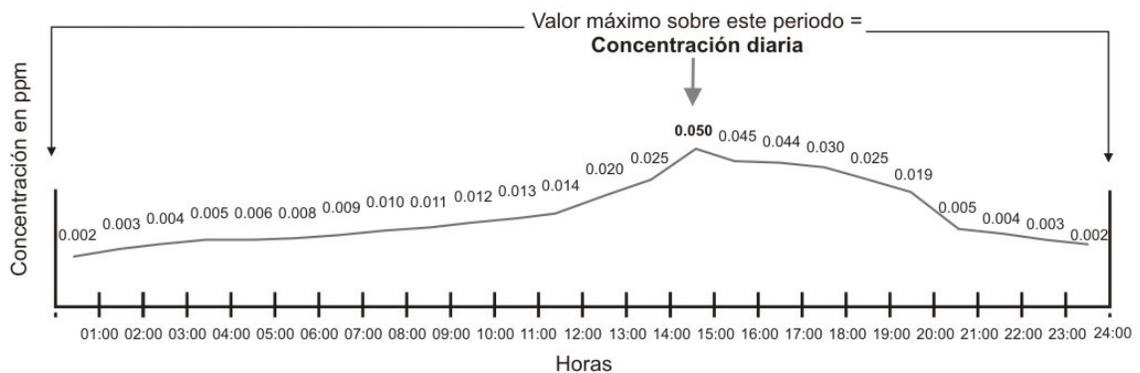


Figura 6: Descripción de la concentración diaria. Elaboración propia, tomando referencia a INE, 2010d.

6.2.3.2 Calidad y completión de la información del monitoreo.

Partiendo de que el aseguramiento de la calidad es el conjunto de actividades sistemáticas planeadas que lleva a cabo una organización u actividad, con el objeto de brindar la confianza apropiada para que un producto o servicio cumpla con los requisitos de calidad especificados (Decaini, 1997), es indispensable establecer procedimientos para asegurar y controlar la calidad de los datos generados por las redes de monitoreo atmosférico, que permitan medir y evaluar el impacto de la contaminación del aire en la población y los recursos naturales, y con ellos contar con sistemas, redes y programas adecuados de medición de la calidad del aire bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad; La información que se genera en las estaciones de

monitoreo y en conjunto como redes de monitoreo es una herramienta fundamental para vigilar la calidad del aire, y así tener un mejor entendimiento de la problemática de la contaminación atmosférica para el desarrollo de estrategias de prevención y control (INE, 2010a).

A lo anterior se suma, que un propósito de los indicadores de calidad del aire es que sean confiables; para esto, se debe revisar que la información que se utilice para su generación cuente con un mínimo de datos validados, esto es, que se cumpla con los criterios de completación de datos, el cumplimiento de la completación de datos se debe de revisar para cada contaminante de acuerdo a su norma oficial en cada una de las estaciones de medición, para identificar aquellas que cuenten con la información necesaria para el periodo de tiempo analizado (cuadro 3) (INE, 2010d).

Cuadro 3: Requerimientos de completación por tipo de datos para obtener los indicadores de la calidad del aire.

Equipo de monitoreo	Tipo de dato	Requerimiento de completación de datos	Parámetro
Automático	Dato horario	Debe contar con un 75% o más de los registros minútales (45 minutos o más)	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , CO, SO ₂ , NO, NO _x , NO ₂ , TMP, HR, VV y DV
	Promedio móvil de 8 horas	Debe contar con un 75% o más de los registros horarios (de 6 a 8 datos horarios)	O ₃ y CO
	Máximo diario	Su base son los promedio horarios de un día y debe contar con un 75% o más de los registros horarios (18 horas o más)	O ₃ , CO, NO, NO _x , NO ₂ , TMP, HR y VV
Automático	Máximo diario	Su base son los promedio móviles de las 8 horas de un día y debe contar con un 75% o más de los registros horarios (18 horas o más)	O ₃ y CO

Promedio diario	Debe contar con un 75% o más de los registros horarios (18 horas o más)	PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , TMP, HR y VV
-----------------	---	---

Fuente: Tomado de INE, 2010d.

En este contexto los niveles de compleción de la información, tienen como objetivo: garantizar el diagnóstico y la vigilancia del estado de la calidad del aire a nivel nacional, para generar información real, válida y comparable entre los diferentes sitios y redes del país, y para ser un instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población (DGCNICA/INE/SEMARNAT, 2003).

6.3 Ozono.

El ozono es una sustancia gaseosa incolora, compuesta por tres átomos de oxígeno (O₃), es más denso que el aire y se produce tanto en la atmósfera superior de la Tierra (estratosférico) como a nivel del suelo (troposférico), lo que condiciona a que el ozono puede ser "bueno" o "malo" para la salud y el medio ambiente, en función de su ubicación en la atmósfera; cabe señalar que ambos tipos de ozono tienen la misma composición química, O₃ (EPA, 2010).

En la estratosfera, a partir de unos 20 hasta aproximadamente 45 a 55 km de altura sobre la superficie terrestre, se encuentra la llamada capa de ozono u ozono estratosférico, esta capa de ozono actúa de forma beneficiosa absorbiendo radiación Ultra Violeta (UV) proveniente del sol, evitando así, que llegue a la superficie de la tierra (ARAGONAIRE, 2013). Comparativamente el ozono situado en la troposfera (capa de la atmósfera situada sobre la superficie de la Tierra, hasta una distancia de unos 20 km) es al que se le denomina ozono troposférico; este ozono, causado principalmente por la acción del hombre (antropogénico), puede encontrarse en concentraciones superiores a las naturales, actuando entonces como un contaminante atmosférico por sus efectos nocivos (Bell y Samet, 2010). Para ilustrar la localización del ozono estratosférico y troposférico, se muestra la figura 7.

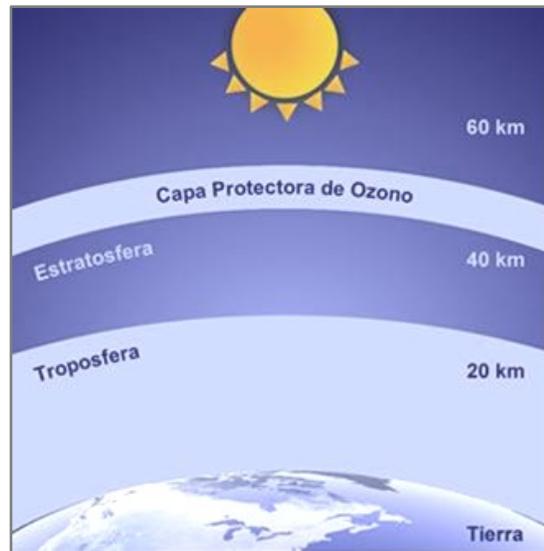


Figura 7: Localización del ozono estratosférico y el ozono troposférico.
Fuente: ARAGONAIRE, 2013.

6.3.1 Ozono troposférico.

El ozono troposférico o a nivel del suelo es un gas incoloro con un olor particular, y se caracteriza por poseer la capacidad de oxidar materiales, es muy reactivo e incluso a bajas concentraciones es irritante y tóxico, pertenece al grupo de contaminantes atmosféricos denominados “secundarios”, ya que no es emitido directamente a la atmósfera, sino que es creado por reacciones químicas complejas, no lineales, que implican a los precursores, óxidos de nitrógeno (NO_x) y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en presencia de luz solar (figura 8) (EPA, 2012b; Zuk et al., 2007).

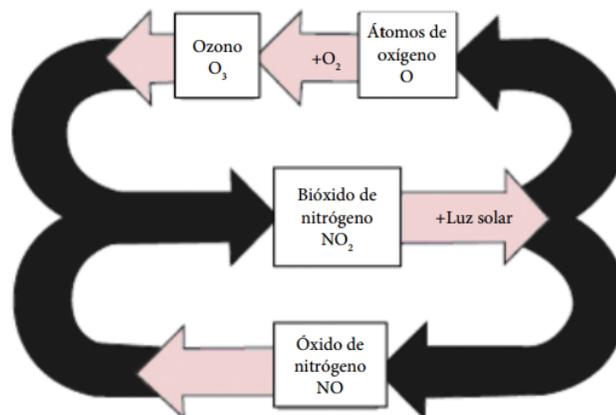


Figura 8: Reacciones que participan en la formación de O_3 troposférico.
Fuente: Tomado de (Zuk et al., 2007).

Los niveles de concentración de ozono dependen de diversos factores meteorológicos y de las estaciones del año, pues estos inciden en la cantidad y la manera en que tienden a dispersarse los precursores (Bernard et al., 2001). Los niveles altos aparecen durante los meses más calientes; muestran también fuertes pautas diurnas, siguiendo los patrones de emisión de luz del sol y del transporte (Patz et al., 2000). Las áreas urbanas tienden a tener mayores concentraciones de ozono, debido a la proximidad con los precursores, pues una vez emitidos estos, pueden viajar con el aire de acuerdo a los patrones de viento a lo largo de una ciudad, de esta forma, las concentraciones elevadas pueden ser el resultado del desplazamiento de ozono y sus precursores a kilómetros de distancia (Bell y Samet, 2010).

En conclusión los problemas de ozono tienden a ser regionales más que localizados, por lo que las concentraciones en zonas urbanas normalmente son homogéneas y generalmente los niveles más altos se manifiestan al aire libre o exterior (INE, 2011).

6.3.2 Efectos a la salud.

El ozono no es altamente soluble en agua, una característica que le ayuda a alcanzar el tracto respiratorio inferior. Debido a sus propiedades oxidantes puede romper vínculos moleculares y dañar rápidamente el tejido humano (Bell y Samet, 2010). Los sujetos que inhalan ozono comienzan a notar una sensación de opresión en el pecho, molestias en la inspiración profunda y tos seca, estos efectos pueden ser vistos dentro de unos pocos minutos de la primera exposición, aunque puede que no sea perceptible para el individuo, el patrón de la respiración también se vuelve más rápida y superficial, debido a que el ozono estimula los receptores irritantes en el pulmón, que activan una ruta neuronal que termina en un aumento ligero en la resistencia al flujo de aire espiratorio, esto indica que la bronco-constricción y la permeabilidad del epitelio bronquial, se aumentó transitoriamente (Kehrl et al., 1987). Dichos efectos se

vuelven progresivamente mayor durante un período de exposición de seis horas (Folinsbee et al., 1988).

También se conoce que el aparato respiratorio humano es afectado por la inhalación de ozono, en concentraciones que se encuentran en el medio ambiente al aire libre (Castleman et al., 1980; Filippidou y Koukoulia, 2011), convirtiéndose en un factor determinante y modificables de las enfermedades cardiovasculares en las comunidades urbanas (Watkinson et al., 2001; Srebot et al., 2009).

Los efectos a la salud varían de acuerdo la duración de la exposición al contaminante y de acuerdo con la rapidez con la que se manifiestan los síntomas (Jaramill et al., 2006). Esta exposición ocurre generalmente en algunos casos por periodos cortos u ocasionalmente a gran cantidad de contaminante lo que se considera una exposición aguda, o durante un tiempo prolongado a concentraciones bajas y se le nombra exposición crónica (cuadro 4) (OMS, 2006a).

Cuadro 4: Descripción de los tipos de exposición al ozono.

Tipo de Exposición	Concentraciones	Tiempo del Periodo de exposición	Manifestaciones de los Efectos a la salud.
Aguda (Corto plazo)	Altas ¹	Horas	1 – 7 días
Crónica (Largo Plazo)	Intermedias y Bajas ²	Días/Semanas/Meses	Meses/Años

Fuente: OMS, 2006a.

¹Mayores o iguales 0.12ppm - 240 µg/m³

²Menores a 0.12ppm - 240 µg/m³

6.3.2.1 Efectos por exposición aguda.

La exposición aguda ha sido relacionada con una alteración y disminución temporal en la función pulmonar, con un aumento en resistencia de las vías aéreas, y un aumento en los síntomas respiratorios, como tos y sibilancia

(sonido que hace el aire al pasar por las vías respiratorias congestionadas), estos cambios como resultado de la exposición aguda al ozono afectan de manera negativa al sistema respiratorio y al sistema cardiovascular (OMS, 2006a).

Lo anterior se refleja en el aumento de visitas a clínicas y salas de emergencias, ausentismo escolar y hospitalizaciones después de días con alto nivel de ozono (Bell y Samet, 2010) y en igual forma se ha vinculado a fallecimientos (Bell et al, 2004) según los estudios de series cronológicas, indican un aumento de la mortalidad diaria del orden del 0.3 - 0.5% por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.005 ppm) en las concentraciones de ozono durante ocho horas por encima de un nivel de referencia estimado de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.035ppm) (OMS, 2006a).

6.3.2.2 Efectos por exposición crónica.

Entre los impactos a la salud asociados por exposiciones crónicas son la reducción de la función pulmonar, desarrollo de aterosclerosis, así como la reducción de la esperanza de vida (OMS, 2006a). La exposición de ozono a largo plazo también puede contribuir al desarrollo de enfermedades pulmonares crónicas, como asma y bronquitis, y puede acelerar el envejecimiento de los pulmones, debido a la alta oxidación del este contaminante (Bell y Samet, 2010), así como afectaciones en el desarrollo pulmonar de los niños (Gauderman et al., 2000) y están relacionados con el riesgo de por vida de morir por causas cardíacas, principalmente en personas con alguna predisposición cardíaca (Srebot et al., 2009).

6.3.3 Normatividad vigente a ozono

Como se ha señalado existe certeza de que los seres humanos pueden verse afectados negativamente por la exposición al ozono, contaminante del aire ambiente. Atendiendo a la evidencia a escala global, diversas instituciones que agrupan países a nivel internacional y regional, así como de manera individual

también por país, se ha desarrollado legislación y recomendaciones que establecen los estándares y criterios normativos sobre el contaminante del aire O₃, a fin de reducir los efectos adversos a la salud. Estos criterios se aplican sobre diferentes lapsos de tiempo, debido a los efectos observados sobre la salud asociados al ozono se producen de acuerdo a los periodos de exposición (cuadro 5).

Cuadro 5: Límites de concentración para ozono recomendadas por México, Estados Unidos, Unión Europea y OMS.

País, Región o Institución (Referencia)	Concentración ^a		Periodo	Violaciones permitidas cada año
	ppm	µg/m ³		
México (DOF, 2002)	0.11	216	Promedio 1 hora	No se permite
	0.08	157	Promedio 8 horas ^b	4 veces al año
Estados Unidos (EPA, 2013)	0.12	235	Promedio 1 hora	No aplica ^c
	0.075	147	Máximo diario Promedio 8 horas	3 veces al año promedio en más de 3 años
Comisión Europea (EC, 2013)	-	-	Promedio 1 hora	-
	0.06	120	Máximo diario Promedio 8 horas	25 días en promedio en más de tres años
Organización Mundial de la Salud ^d (OMS, 2006a)	-	-	Promedio 1 hora	-
	0.05	100	Máximo diario Promedio 8 horas	No aplica

Elaboración propia tomando como referencia Bell y Samet, 2010.

^aConversión 1ppm = 1962 µg/m³ de ozono de aire ambiente a condición estándar de presión y temperatura (25°C y 1 atmósfera)

^bLa concentración del promedio de ocho horas de ozono como contaminante atmosférico en un sitio de monitoreo, debe ser menor o igual a 0.080 ppm, tomado como el quinto máximo, en un periodo de un año, calculado como se indica en la NOM.

^cSe mantiene solo como monitoreo para algunas ciudades que frecuentemente rebasan este nivel de concentración.

^dValorguía de calidad del aire que tiene por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud.

Como se puede observar en el cuadro anterior, el límite máximo de concentración promedio móvil de ocho horas en México (0.08 ppm o 157 µg/m³)

es superior al límite recomendado de la OMS (0.05 ppm o 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Unión Europea (0.06 ppm o 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Estados Unidos (0.075 ppm o 147 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Comparativamente en lo que respecta al límite máximo de una hora, el límite mexicano es un poco menos estricto que el establecido en Estados Unidos, sin embargo no existe recomendación de la OMS y de la Unión Europea con respecto a este lapso, y no cuenta con un estándar similar.

En el caso de México la interpretación sugerida para los límites normados es que si el valor máximo horario en un día es igual o rebasa a 0.110 ppm una vez en un año, se debe considerar que no se cumple con la norma horaria. Por otro lado para el límite 0.080 ppm en 8 horas, si el valor máximo de los promedios móviles de 8 horas en un día es igual o rebasa a 0.080 ppm, y esto acontece en cuatro días en un año, se considerará que no se cumple con la norma del promedio de 8 horas (INE, 2010d).

6.3.4 Ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

En el caso de la Zona Metropolitana de Guadalajara los primeros intentos por analizar los contaminantes en la atmósfera datan de los años setentas, en que la entonces Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente dependiente de la Secretaría de Salud y Asistencia, estableció una red manual de monitores de partículas suspendidas en la ciudad. La red inició su funcionamiento en julio de 1975 con 5 monitores que más tarde llegarían a ser once, con un funcionamiento continuo y regular pero con varios problemas de índole técnico, dicho estudio, identificó como las zonas más contaminadas, el centro de Guadalajara, la zona industrial y Zapopan (Michel, 1983).

Posteriormente estudios de contaminación del aire se comenzaron a realizar a principios de los noventas, cuando inicia sus actividades de manera regular la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de Guadalajara (RAMAG). A partir de este momento es cuando se ha registra de manera continua los contaminantes criterios para la calidad del aire (PM_{10} , O_3 ,

CO, NO₂, y SO₂) además de algunas variables meteorológicas (Temperatura del aire, Humedad Relativa, Dirección y Velocidad del viento) que han constituido una fuente importante para realizar investigaciones profundas sobre la problemática de la contaminación atmosférica en el ámbito local.

En consecuencia algunos de los trabajos referentes al ozono, se encuentran las investigaciones de Tereshchenko & Filonov (1997), que describen las elevadas concentraciones de ozono debido a la presencia de smog fotoquímico sobre la ZMG en Octubre de 1996, esto propicio el estudio preliminar de los altos niveles de ozono y los efectos a la salud de la población de Tereshchenko y Figueroa (1999). Así como los de Davydova-Belistkaya (1999) Figueroa (2005) que describieron una variabilidad anual muy clara en las horas del día en que se registran las concentraciones máximas del ozono; en invierno, las horas en que ocurren las concentraciones máximas de ozono parecen abarcar el intervalo de las 13 a las 15 hrs; y en verano cuando la radiación solar es más intensa, el intervalo de la ocurrencia de las altas concentraciones de ozono se extiende de las 13 a las 18 hrs.

Por otro lado Zúñiga (1996) identificó grupos homogéneos para el ozono, esto es, una relación directa especialmente con la temperatura, la dirección del viento, la velocidad del viento y el SO₂. En igual forma se han analizado los niveles de contaminación de ozono y demás contaminantes criterio por medio de modelos matemáticos han sido estudiados por Davydova-Belistkaya y Skiba (1999a) y Davydova-Belistkaya (1999) quienes analizaron la dependencia de emisiones industriales con el viento, definiendo así el aporte de contaminantes a cada una de las zonas ecológicas de la ZMG destacando nuevamente la relevancia del ozono en el papel de la contaminación.

A la postre para la misma ZMG Tapia (2006) mostró que en los meses de mayo y junio de 2005 fueron los más críticos en contaminación por ozono, que causaron ausentismo escolar del 17% en la zona de Miravalle, con un

coeficiente de correlación de 0.4 y 0.3 para un promedio de Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de 80 y 108 respectivamente. Mientras que Pinal (2009) señala que el O₃ es uno de los contaminantes más dañinos y uno de los que rebasan la norma establecida constantemente pues los reportes del SIMAJ (en aquel tiempo, Red de Monitoreo Ambiental de Guadalajara “RAMAG”), mostraron que en promedio este contaminante está fuera de norma el 30% de los días en un año. Lo que sirvió de base para que Curiel (2010) presentará una asociación del incremento en la frecuencia de exposición a valores fuera de norma en una hora, de ozono, con el incremento en la mortalidad por infecciones respiratorias, que posteriormente fue confirmado por Parada (2012), específicamente para Neumonías.

En este mismo tenor en cuanto a la normatividad, la Comisión for Environmental Cooperation (2006) alude, que aunque las concentraciones de ozono troposférico se han mantenido constante en las Zonas Metropolitanas más vigiladas de México, entre ellas la de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, esta última, hasta 2005 destacaba ya un grave problema de la calidad del aire, ya que al menos el 27.7% de los habitantes en los municipios que la conforman estuvieron expuestos a concentraciones por encima de la norma nacional de una hora en un año de 0.11 ppm. Mientras que para el límite establecido para el promedio de 8 horas, en 2009 ya se había rebasado a las demás ciudades consideradas, lo que la situaba como la zona metropolitana con mayores niveles de concentración de ozono (INE, 2011).

6.4 Enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al contaminante ozono.

Diversas publicaciones demuestran la asociación entre la mortalidad y los incrementos de concentraciones de ozono en las áreas urbanas (Loomis et al., 1996) particularmente por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Schwela, 2000; WHO, 2001; WHO, 2004; Bell et al., 2005; OMS, 2006a; Atkinson et al, 2012; Romieu et al., 2012).

Específicamente para las enfermedades respiratorias los incrementos de O₃ inciden al aumento en las visitas de emergencia debido a las infecciones de vías respiratorias bajas (Ion-Nedelcu et al., 2008) principalmente durante el invierno (Téllez-Roj et al., 1997). En el mismo sentido, cuando los aumentos son continuos y se acumulan periódicas violaciones a la normativa de ozono inician inflamaciones de las vías respiratorias altas (Frischer et al., 1993), irritaciones a los pulmones, afectando las membranas de la mucosa respiratoria, tejidos de los pulmones, y la función respiratoria, registrándose con esto, incrementos de admisiones hospitalarias por neumonía, rinitis alérgica (Ebi y McGregor, 2008), así como de enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores como el asma y la bronquitis (Cody et al, 1992; Romieu et al., 1995; Hernández-Cadena, Téllez-Rojo et al., 2000; Ion-Nedelcu et al., 2008).

En igual forma la exposición al ozono se ha relacionado con eventos cardiovasculares adversos, tales como infarto de miocardio, la insuficiencia cardíaca y las arritmias, que amenazan la vida (Srebot et al., 2009). También se han observado que el ozono incurre en el aumento de estrés oxidativo, en la activación de una considerable respuesta inflamatoria sistémica mediada por citosinas, la modificación de la función endotelial y vascular vasomotricidad, y en las alteraciones en el control autónomo de la frecuencia cardíaca (Srebot et al., 2009). Lo anterior sugiere que la exposición de O₃ puede aumentar el trabajo miocárdico y deteriorar intercambio pulmonar de gases en un grado que podría ser clínicamente importante en personas con deterioro significativo cardiovascular preexistente (Gong et al., 1998). De tal manera que los síntomas de las Enfermedades isquémicas del corazón pueden ser provocados por el O₃, en concentraciones más bajas que los niveles guía en muchos países (Pönkä y Virtanen, 1996). En consecuencia, lo anterior se ha visto reflejado en los días posteriores (1 a 2) a eventos de exposición al ozono, lo cual se relacionó con eventos coronarios agudos en adultos (Ruidavets et al., 2005) así como en

inflamaciones que pueden desencadenar eventos cardiopulmonares (Carlsenet al., 2013).

Por otro lado los datos del Departamento de Estadística e Informática Sanitarias de la OMS mediante el documento *Causes of death 2008: data sources and methods* (WHO, 2010) y el *Informe sobre salud en el mundo* (2004) basados en la evaluación comparativa de riesgos, se examinó la carga total de morbilidad atribuible a algunos de los riesgos ambientales más importantes, en donde más de 100 expertos de todo el mundo aportaron referencias sobre 85 grupos de enfermedades y traumatismos; cuantificando estimaciones que consideraron la fracción atribuible al medio ambiente, como la contaminación del aire, asociada a cada patología. Los análisis mencionados utilizan los mejores datos disponibles sobre la carga de morbilidad global, en el plano mundial y regional, según lo que se le notifica y recopila la OMS, también reduce las disparidades en la notificación de enfermedades, mediante la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE); por tal motivo se consideraran como enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al contaminante ozono, las que se enuncian a continuación en el cuadro 6.

Cuadro 6: Identificación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al contaminante ozono de acuerdo a Causes of death 2008.

Grupo	Sub-grupo ¹	Código CIE-10	Descriptor	Equivalencia CIE-9
Respiratorias	Infecciones de las vías respiratorias altas	J00	Rinofaringitis aguda [resfriado común]	460
		J01	Sinusitis aguda	461
		J02	Faringitis aguda	462
		J03	Amigdalitis aguda	463
		J04	Laringitis y traqueitis agudas	464
		J05	Laringitis obstructiva aguda [crup] y epiglotitis	
	J06	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, de sitios múltiples o no especificados	465	
	Infecciones de las vías respiratorias bajas	J10	Influenza debida a virus de la influenza identificado	487
		J11	Influenza debida a virus No identificado	
		J12	Neumonía viral, no clasificada en otra parte	480-486
		J13	Neumonía debida a Streptococcus pneumoniae	
		J14	Neumonía debida a Haemophilus influenzae	
		J15	Neumonía bacteriana, no clasificada en otra parte	
		J16	Neumonía debida a otros microorganismos infecciosos, no clasificados en otra parte	
		J17	Neumonía en enfermedades clasificadas en otra parte	
		J18	Neumonía, organismo no especificado	
		J20	Bronquitis aguda	
		J21	Bronquiolitis aguda	
		J22	Infección aguda no especificada de las vías respiratorias inferiores	
	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	J40	Bronquitis, no especificada como aguda o crónica	466
		J41	Bronquitis crónica simple y mucopurulenta	
		J42	Bronquitis crónica no especificada	492
		J43	Enfisema	493
		J45	Asma	

		J46	Estado asmático	
		I20	Angina de Pecho	
		I21	Infarto agudo del miocardio	
		I22	Infarto subsecuente del miocardio	
	Enfermedades Isquémicas del corazón	I23	Ciertas complicaciones presentes posteriores al infarto agudo del miocardio	410-414
Enfermedades Cardiovasculares		I24	Otras enfermedades isquémicas agudas del corazón	
		I25	Enfermedad isquémica crónica del corazón	
		I30	Pericarditis aguda	
	Enfermedades inflamatorias del corazón	I31	Otras enfermedades del pericardio	420
		I32	Pericarditis en enfermedades clasificadas en otra parte	
		I33	Endocarditis aguda y subaguda	421
		I38	Endocarditis, válvula no especificada	
		I40	Miocarditis aguda	422

¹Nombre de la causa de muerte de acuerdo a Causes of death 2008: data sources and methods (WHO, 2010)

6.5 Mortalidad.

La mortalidad se define como el “*nivel de ocurrencia de muertes dentro de una población y dentro de un período específico*” (PAHO, 2012). Se expresa como una tasa, puede ser general o específica, la tasa de mortalidad tiene como numerador el total de defunciones producidas en una población en un periodo de tiempo determinado, y el denominador representa la población donde ocurrieron las muertes (DOF, 2013).

6.5.1 Mortalidad en el mundo.

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, en 2011 acontecieron 55 millones de defunciones, donde en esta cantidad, las 5 principales causas de fallecimientos en el mundo por enfermedades no transmisibles, sobresalen en los primeros cuatro lugares, enfermedades del sistema respiratorio y cardiovascular (cuadro 7) (OMS, 2013).

Cuadro 7: Principales causas de muertes por enfermedades no transmisibles en el mundo para 2011.

No.	Causa	No. Estimado de muertes (en millones)	Porcentaje del total de muertes
1	Cardiopatía isquémica	5.9	11.2
2	Afección cerebrovascular	5.6	10.6
3	Infecciones de las vías respiratorias inferiores	3.5	5.8
4	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	3.0	5.8

Fuente: OMS, 2013.

Las enfermedades respiratorias son todas aquellas que afectan al aparato o sistema respiratorio, este consta de boca, fosas nasales, faringe, laringe, tráquea, y bronquios; entre ellas podemos encontrar desde el resfriado común sin más repercusión que tos, mucosidad, molestias en la garganta y febrícula o enfermedades graves como el enfisema pulmonar, el cáncer de pulmón, etc. Se dividen a grandes rasgos en afecciones agudas y crónicas, dichas

enfermedades respiratorias, particularmente las crónicas como el asma y la EPOC constituyen un problema de salud pública que impone una carga sustancial (OMS, 2013).

Adicionalmente las enfermedades cardiovasculares son un conjunto de trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos, se clasifican en: hipertensión arterial (presión alta); cardiopatía coronaria (infarto de miocardio); enfermedad cerebrovascular (apoplejía); enfermedad vascular periférica; insuficiencia cardíaca; cardiopatía reumática; cardiopatía congénita; miocardiopatías; afectan en mucha mayor medida a los países de ingresos bajos y medios: más del 80% de las defunciones por esta causa se producen en esos países, y afligen casi por igual a hombres y mujeres; se prevé que en el año 2030, casi 23.6 millones de personas morirán por alguna enfermedad cardiovascular, principalmente por cardiopatías y accidentes cerebrovasculares y además de que estas enfermedades sigan siendo la principal causa de muerte (OMSb, 2013).

6.5.2 Mortalidad en México.

En particular, en México a principios de los años 30 las personas morían principalmente a causa de enfermedades transmisibles como, parásitos e infecciones en el aparato digestivo o respiratorio; entre 1960 y el 200 el número de muertes por enfermedades transmisibles disminuyó, pero aumentaron las ocasionadas por el cáncer, los accidentes y las derivadas de la violencia; al 2005 las principales causas de muerte fueron las enfermedades del corazón, los tumores malignos y la diabetes mellitus (INEGI, 2011).

Ya para el periodo de 2001 a 2011, en las principales 10 causas de muerte (cuadro 8), figuraban enfermedades respiratorias y cardiovascular, tales como las isquémicas del corazón y las cerebrovasculares, posicionadas en el segundo y tercer sitio; mientras que en el orden 6, 7 y 9 destacaron las enfermedades hipertensivas, la pulmonar obstructiva crónica y las infecciones respiratorias agudas bajas respectivamente (Secretaría de Salud, 2012).

Cuadro 8: Principales causas de mortalidad general en México, 2001 - 2011.

Orden	Descripción	Defunciones										
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	Diabetes mellitus	49,954	54,925	59,192	62,243	67,159	68,421	70,517	75,637	77,699	82,964	80,788
2	Enfermedades isquémicas del corazón	45,421	48,285	50,757	50,461	53,188	53,619	55,794	59,579	63,332	70,888	71,072
3	Enfermedad cerebrovascular	25,657	26,526	26,849	26,975	27,370	27,350	29,240	30,212	30,943	32,306	31,235
4	Cirrosis y enfermedades crónicas del hígado	25,704	26,142	26,821	26,867	27,566	26,715	27,829	28,422	28,309	28,369	28,392
5	Agresiones (homicidios)	10,166	9,975	9,989	9,252	9,852	10,371	8,814	13,900	19,804	25,757	27,213
6	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	15,944	16,851	18,117	18,806	20,253	19,182	19,710	20,565	21,716	23,797	22,595
7	Enfermedades hipertensivas	10,170	10,696	11,330	12,203	12,876	12,894	14,565	15,694	18,167	17,695	18,942
8	Accidentes de transporte	14,629	15,222	15,552	15,728	16,682	17,454	15,807	17,585	18,402	17,098	17,225
9	Infecciones respiratorias agudas bajas	13,101	13,662	13,738	14,215	14,979	15,180	14,589	15,096	18,754	17,131	16,401
10	Afecciones originadas en periodo perinatal	18,192	18,569	17,073	16,501	16,448	15,387	14,994	14,767	14,728	14,376	14,825

Fuente: Secretaría de Salud, 2012.

6.5.3 Mortalidad en Jalisco.

En el caso de Jalisco, el Gobierno del Estado por medio de la Secretaría de Salud y del Sistema de Información Estadística y Geográfica, reportaron el orden de cantidad de fallecimientos para 2010 y 2011 respectivamente (cuadro 9), estos documentos mostraron que después del primer lugar correspondiente a la diabetes mellitus, destacaron las enfermedades del isquémicas del corazón, la pulmonar obstructiva crónica, las cerebrovasculares y las infecciones respiratorias agudas bajas, estas últimas señaladas, pertenecientes al grupo de enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

Cuadro 9: Principales causas de mortalidad general de Jalisco, México en 2010 y 2011.

Año					
2010			2011		
Orden	Causa	Defunciones		Causa	Orden
1	Diabetes mellitus	5,223	5,493	Diabetes mellitus	1
2	Enfermedades isquémicas del corazón	4,357	4,550	Enfermedades isquémicas del corazón	2
3	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	2,009	2,026	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	3
4	Enfermedad cerebrovascular	1,934	1,845	Enfermedad cerebrovascular	4
5	Cirrosis y enfermedades crónicas del hígado	1,614	1,684	Infecciones respiratorias agudas bajas	5
6	Infecciones respiratorias agudas bajas	1,574	1,575	Cirrosis y enfermedades crónicas del hígado	6
7	Accidentes de tráfico de vehículo de motor	1,400	1,312	Agresiones (homicidios)	7
8	Enfermedades hipertensivas	1,142	1,266	Accidentes de tráfico de vehículo de motor	8
9	Nefritis y nefrosis	1,117	1,125	Enfermedades hipertensivas	9
10	Agresiones (homicidios)	931	1,090	Nefritis y nefrosis	10

Elaboración propia con datos de SSJ, 2013 y SIEJ, 2011.

6.5.4 Mortalidad en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

En orden de importancia, las causas de mortalidad en la Zona Metropolitana de Guadalajara se encuentran las siguientes: diabetes mellitus; enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades cerebro-vasculares; enfermedad pulmonar obstructiva crónica (bronquitis y enfisema); cirrosis y otras

enfermedades crónicas del hígado; accidentes de tráfico de vehículo de motor, enfermedades hipertensivas, ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal; tumores malignos en tráquea, bronquios y pulmón; homicidios y suicidios (SEGOB, 2009).

También es importante señalar que dentro de las principales enfermedades de notificación obligatoria, es decir, aquellas enfermedades que su recolección sistemática, es continua, oportuna y confiable de información relevante y necesaria sobre las condiciones de salud de la población y sus determinantes (DOF, 2013), para los Municipios con alta densidad poblacional de Jalisco en los cuales se encuentra Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, durante en el periodo de 2009 a 2011, el orden jerárquico continúa sin cambios, esto es, que en los primeros 10 lugares encontramos a las infecciones respiratorias agudas altas, enfermedades infecciosas intestinales, infecciones de vías urinarias, úlceras, gastritis y duodenitis, Intoxicación por picadura de alacrán, otitis media aguda, hipertensión arterial, diabetes mellitus, asma y estado asmático así como la gingivitis y enfermedad periodontal (SSJ, 2012).

Finalmente en la ZMG mediante información consultada en el Sistema Nacional de Información en Salud mediante la base de datos en formato de cubo dinámico registró que la mortalidad por enfermedades respiratorias; infecciones de las vías respiratorias altas [J00-J006], infecciones de las vías respiratorias bajas [J10-J018 y J20-J22] y enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores [J40-J46]) y por enfermedades cardiovasculares (enfermedades isquémicas del corazón [I20-I25] e enfermedades inflamatorias del corazón [I30-I33, I38 e I40]) se ha casi duplicado en el periodo de 1994 a 2011 (cuadro 10) (Dirección General de Información en Salud, 2013)

Cuadro 10: Tasa específica de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares por cada 100,000 habitantes en la ZMG.

Año	Respiratorias			Cardiovasculares	
	Infecciones de las vías respiratorias altas	Infecciones de las vías respiratorias bajas	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	Enfermedades Isquémicas del corazón	Enfermedades inflamatorias del corazón
1994	0.3	22.4	5.9	48.0	0.1
1995	0.5	26.8	5.7	48.4	0.2
1996	0.1	27.1	6.3	49.8	0.2
1997	0.1	25.0	5.3	47.2	0.1
1998	0.2	15.7	21.5	49.0	0.5
1999	0.1	17.4	23.9	50.4	0.6
2000	0.2	17.4	21.3	47.2	0.7
2001	0.1	13.2	20.2	45.1	0.6
2002	0.1	15.4	23.8	48.1	0.3
2003	0.2	16.9	24.9	51.2	0.6
2004	0.1	16.6	23.2	43.8	0.5
2005	0.2	18.2	26.7	48.9	0.4
2006	0.1	16.2	22.8	47.0	0.5
2007	0.1	15.7	23.2	46.1	0.5
2008	0.2	15.9	23.0	48.7	0.8
2009	0.0	20.5	26.8	52.1	0.6
2010	0.1	19.8	29.1	55.0	1.1
2011	0.1	19.9	27.1	60.6	1.2

Elaboración propia con información de la Dirección General de Información en Salud, 2013.

6.6 Carga ambiental de la enfermedad.

De las 102 principales enfermedades, grupos de enfermedades y traumatismos que cubre el Informe sobre la salud en el mundo de 2004, los factores de riesgo ambientales contribuyeron a la carga de morbilidad en 85 categorías, en las que aproximadamente el 23% de todas las defunciones (mortalidad prematura) eran atribuibles a factores o fracciones ambientales; estos factores ambientales incluyen los riesgos físicos, químicos y biológicos que afectan directamente a la salud, entre los cuales destaca la calidad del aire (OMS, 2004).

Aunque esto supone una importante contribución a la carga de morbilidad global, esta estimación es moderada, ya que todavía no hay datos probatorios sobre muchas enfermedades, además, en muchos casos, la vía causal entre el riesgo ambiental y la aparición de la enfermedad es compleja; por estas razones y la magnitud del problema de salud que implican los factores de riesgo ambientales necesitan ser estimados, ya que los ministerios de salud, los investigadores, los organismos responsables de la elaboración de normas, los grupos científicos consultivos y las organizaciones internacionales de ayuda, requieren dichas estimaciones (OMS, 2006b).

Debido a lo anterior la OMS ha propuesto el método Environmental Burden of Disease -EBD- por sus siglas en inglés (Carga Ambiental de la Enfermedad), proporciona un procedimiento para la evaluación de la carga de la enfermedad causada por los factores de riesgo ambientales, el cual persigue evaluar cuantitativamente a nivel poblacional la carga de la enfermedad, el impacto en la salud de las necesidades de las enfermedades y lesiones, en términos del número de muertes, o como una medida resumen de salud de la población, como el año de vida ajustados por discapacidad (AVAD) (Prüss-Üstün et al., 2003).

De acuerdo a este método, el enfoque básico para calcular la Carga Ambiental de la Enfermedad propuesta en la *Environmental Burden of Disease* editada por la OMS, la proporción de la carga total de enfermedad que se debe a la exposición a un factor de riesgo ambiental, se llama la fracción atribuible a ese factor de riesgo. El factor o fracción de riesgo atribuible es uno de los conceptos fundamentales que subyacen en las evaluaciones de EBD, y se trata de las ideas de la atribución y la inferencia causal; esto es, que a veces podemos decir, con confianza, que la aparición de la enfermedad se debe a una exposición ambiental en particular, por ejemplo, si dos grupos son iguales en todos los aspectos, excepto que un grupo ha sido expuesto a un factor de

interés, entonces, cualquier diferencia en las tasas de enfermedad entre los dos grupos, se dice que es atribuible o causada por la exposición (WHO, 1993).

Por otro lado no todas las enfermedades dependen de un solo factor de riesgo por lo que se deben analizar múltiples riesgos o fracciones, ya que muchos factores de riesgo importantes no crean por sí mismos casos de enfermedad, sino que actúan en conjunción con otros peligros o condiciones; además, ciertas características peligrosas de un factor de riesgo pueden ser compensados por otras circunstancias; en otras palabras, estos factores de riesgo no son por lo general completamente independiente, y los cambios en uno afectarán a los otros; de esta forma, la extracción de uno de estos factores ambientales reducirá la frecuencia de enfermedad, y puede alterar las fracciones de la carga de enfermedad que pueden ser atribuidos a los factores de riesgo restantes (Prüss-Üstün et al., 2003). De tal manera y considerando las anteriores características, dicha evaluación requiere los siguientes datos para cada factor de riesgo:

- La distribución de la exposición al factor de riesgo en la población de estudio;
- La exposición-respuesta para el factor de riesgo;
- Los Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD) (DALYs Disability Adjusted Life Years por sus siglas en inglés) por el factor de riesgo de interés (o por otra parte la información epidemiológica, como las tasas de mortalidad y de incidencia de enfermedades, si no están disponible los AVAD).

De tal manera, el enfoque basado en la exposición, se mide en términos de aumentos de los niveles del contaminantes, la distribución de la exposición al factor de riesgo en la población (I), y la información de la exposición-respuesta (II), se combinan en una fracción de impacto, que se aplica a las estimaciones de la enfermedad (III); por lo que la fracción de impacto es el porcentaje de la

población de riesgo que pueden estar atribuidos a exposiciones peligrosas o comportamientos riesgosos, múltiples niveles de exposición, o por la eliminación incompleta de la exposición (figura 9).

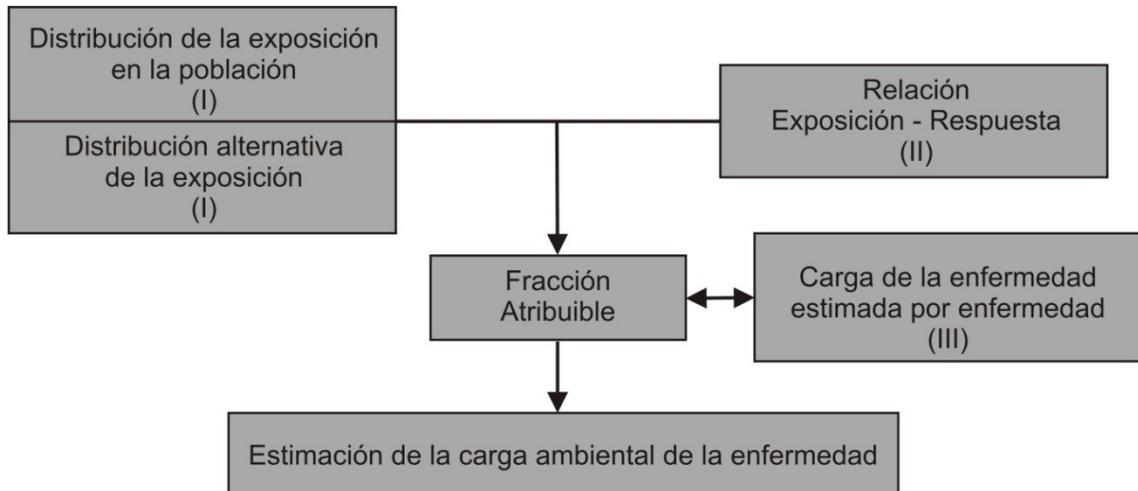


Figura 9: Enfoque basado en la exposición para determinar la carga ambiental de la enfermedad.

Fuente: Tomado de Prüss-Üstün et al., 2003.

De esta forma la carga ambiental de una fracción atribuible a un cambio específico en los niveles de un factor de riesgo y se estima de acuerdo con la fórmula de la fracción de impacto (Last, 2001).

$$AF = \frac{\sum P_i RR_i - \sum P'_i RR_i}{\sum P_i RR}$$

Donde:

AF = Fracción atribuible.

P_i = proporción de la población en la categoría de exposición "i".

P'_i = proporción de la población en la categoría de exposición "i" después de una intervención o cualquier otro cambio.

RR_i = el riesgo relativo en la categoría de exposición "i" en comparación con el nivel de referencia.

En el caso de que la población sea de una sola ciudad con un solo nivel de exposición, esta fórmula se simplifica a la ecuación: AF= RR – 1 / RR (es decir, P_i se convierte en 1, cuando la población total está expuesta, y sólo un valor de

riesgo relativo se aplicaría). Para el cálculo del Riesgo Relativo se emplean las fórmulas de riesgo propuesta para cada resultado de salud y métrica de exposición de acuerdo con el grupo de trabajo, entre los cuales se encuentra el de contaminación del aire exterior (Prüss-Üstün et al., 2003; Ostro, 2004).

Por último para calcular el número esperado de casos de mortalidad debido a la contaminación del aire (E), el AF se aplica a las tasas de mortalidad:

$$E = AF \times B \times P$$

Donde:

AF = Fracción atribuible.

E = número esperado de muertes debidas a la contaminación del aire exterior.

B = la incidencia en la población de los efectos de salud determinado.

P = la población expuesta relevante para el efecto en la salud.

Por tanto el enfoque EBD no es sólo una herramienta para mejorar nuestra comprensión de los vínculos entre el medio ambiente y la salud, sino que también permite a las estimaciones de diferentes fuentes que se comparan y se comunican en un formato estandarizado en donde los datos de un estudio EBD se pueden utilizar para el cálculo de los indicadores de desempeño de los sistemas de apoyo a la salud y entornos de un país o región y si el estudio tiene la resolución necesaria, se puede trazar las diferencias geográficas de poblaciones específicas, así como el monitoreo de tendencias (Prüss-Üstün et al., 2003).

7 METODOLOGÍA.

En el presente trabajo de tesis se evaluaron las concentraciones ambientales del contaminante Ozono (O_3), enfocadas a describir su tendencia y la de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares relacionadas a este contaminante, en los Municipios de Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan integrantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco. En este sentido para lograr la finalidad especificada, se diseñó un estudio no experimental, descriptivo, observacional, cuantitativo y longitudinal que comprendió el periodo de 1994 a 2011.

La metodología utilizada para cumplir los objetivos planteados en el estudio, involucró técnicas de la estadística descriptiva y análisis exploratorio de datos, así como las metodologías expresadas en el *Manual 5 Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire* (INE, 2010d) y el método de la Carga Ambiental de la Enfermedad (EBD) editado por la OMS cuyo autor es Prüss-Üstün y colaboradores (2003). La figura 10 ilustra de manera general el proceso metodológico.

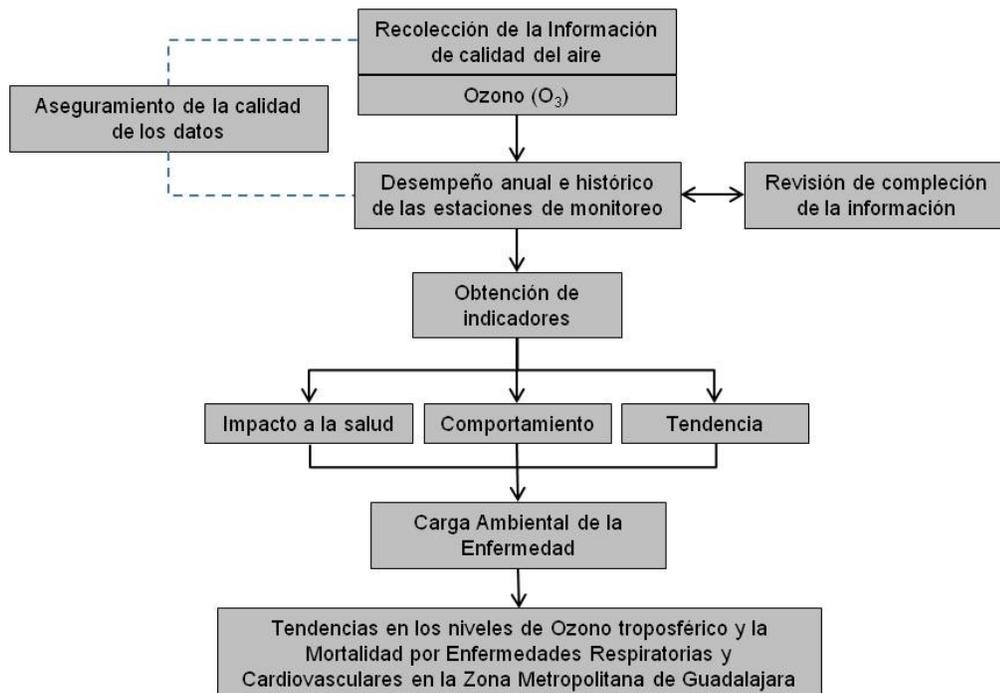


Figura 10: Secuencia metodológica.

Elaboración propia.

Respecto a la obtención de los datos de la calidad del aire, estos fueron proporcionados por la Dirección de Información Ambiental del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco (SIMAJ) de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) del Gobierno de Jalisco. De este conjunto de información solo se seleccionaron los registros de las concentraciones horarias de ozono para el periodo 1994-2011.

Es importante aludir que a la fecha de este estudio operaban 10 estaciones de monitoreo atmosférico en el SIMAJ, sin embargo para este análisis solo se requirieron los datos de concentraciones de ozono de 8 estaciones de monitoreo consideradas como históricas. Por lo tanto las estaciones “Las Pintas” y “Santa Fe” fueron excluidas debido a que a partir de 2011 iniciaron operaciones. En el cuadro 11 se especifican las estaciones incluidas en este estudio así como su localización geográfica y municipal.

Cuadro 11: Localización geográfica y municipal de las estaciones de monitoreo de las cuales se obtuvieron los datos de contaminación por ozono.

Abreviatura para este estudio	Nombre de la Estación	Coordenadas de localización Universa Transversa de Mercator (UTM)		Municipio
		X	Y	
E1	Atemajac	671,245.68	2,291,867.92	Zapopan
E2	Oblatos	677,372.60	2,289,809.72	Guadalajara
E3	Loma Dorada	680,871.56	2,281,974.26	Tonalá
E4	Tlaquepaque	675,792.06	2,283212.06	Tlaquepaque
E5	Miravalle	672608.95	2280257.68	Guadalajara
E6	Las Águilas	664948.25	2281995.19	Zapopan
E7	Vallarta	666775.86	2287456.14	Guadalajara
E8	Centro	673583.67	2286817.87	Guadalajara

Fuente: Tomado de Gobierno del Estado de Jalisco, 2007.

Reconociendo que la precisión de este tipo de observaciones depende de la calidad de los datos utilizados como entrada, en una primera etapa de aseguramiento de la calidad de los datos, la información referente a las concentraciones de ozono recolectada del SIMAJ, se integró a una base de datos desarrollada en Excel® para ser sometida a un análisis gráfico en donde se visualizaron los valores atípicos y/o comportamientos anormales de dichas concentraciones. Posteriormente, esta base de datos fue corroborada en la Subdirección de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire del Instituto Nacional de Ecología, logrando con ello la obtención de una base de datos verificada y confiable.

Como segunda etapa del aseguramiento de la calidad de los datos, se aplicaron las técnicas para la revisión de completitud para el tipo de dato “Concentración diaria de los datos horarios” y para la “Concentración diaria de los promedios móviles de 8 horas” (cuadro 12), ambos necesarios para la generación de indicadores señalados en el “Manual 5: *Protocolo de Manejo de Datos de Calidad del Aire*” (INE, 2010d), así como los criterios definidos en la NOM-020-SSA1-1993 para evaluar la calidad del aire ambiente.

Cuadro 12: Tipo de dato requerido para evaluar la calidad del aire ambiente referente a ozono, en base a la modificación a la NOM-020-SSA1-1993.

Límite	Dato necesario para el cálculo de días en que se rebasa el límite normado
0.110 ppm, promedio horario.	Concentración diaria de los datos horarios
0.080 ppm, promedio de ocho horas	Concentración diaria de los promedios móviles de 8 horas

Fuente: DOF, 2002.

Lo anterior fue realizado con aplicación de macros en hojas de cálculo de Excel®, que de igual manera fueron corroboradas en el Instituto Nacional de Ecología. De esta forma la concentración diaria del dato horario se obtuvo identificando al valor más alto registrado durante un día, siempre y cuando se

tuviera al menos el 75% de los valores horarios del día (18 horas). En el caso en el que se cuente con menos de 75% y uno de los valores horarios fuera mayor a 0.110 ppm, este fue considerado como la concentración diaria de los datos horarios (figura 11).

Hora	Dato horario	Total valores	Concentración diaria (dato horario)	Hora	Dato horario	Total valores	Concentración diaria (dato horario)	Hora	Dato horario	Total valores	Concentración diaria (dato horario)
1	0.010	22	0.090	1	0.010	17	D.I.	1	0.010	17	0.120
2	0.020			2	0.020			2	0.020		
3	0.030			3	0.030			3	0.030		
4	0.040			4	0.040			4	0.040		
5	0.050			5	0.050			5	0.050		
6	0.060			6	0.060			6	0.050		
7	0.070			7				7	0.070		
8	0.080			8	0.080			8			
9	0.090			9	0.090			9	0.090		
10	0.090			10				10			
11	0.090			11	0.090			11	0.090		
12	0.090			12	0.090			12	0.090		
13	0.090			13	0.090			13	0.120		
14	0.090			14	0.090			14	0.090		
15	0.080			15	0.080			15	0.080		
16	0.070			16				16			
17	0.060			17	0.060			17	0.060		
18	0.050			18				18			
19	0.040			19	0.040			19	0.040		
20	0.030			20				20			
21	0.020			21	0.020			21	0.020		
22	0.010			22	0.010			22	0.010		
23				23				23			
24				24				24			

D.I.=Deficiencia de información para completar el 75% requerido para la concentración diaria.

Figura 11: Ejemplo de completación para validar la concentración diaria de los datos horarios.

Elaboración propia.

La concentración diaria para el promedio móvil de 8 horas se calculó similarmente a partir de los datos horarios (figura 12). Esta concentración representa el valor máximo de la serie de promedios móviles calculados para un día, y eran válidos únicamente cuando se contaba con por lo menos el 75% de promedio móviles en un día (18 promedios móviles).

Hora	Dato horario	Promedio 8 horas	Total valores	Concentración diaria (promedio 8 horas)	Hora	Dato horario	Promedio 8 horas	Total valores	Concentración diaria (promedio 8 horas)	Hora	Dato horario	Promedio 8 horas	Total valores	Concentración diaria (promedio 8 horas)
21					21					21				
22					22					22				
23	0.010				23	0.010				23	0.010			
24	0.010				24	0.010				24	0.010			
1	0.010				1	0.010				1	0.010			
2	0.020				2	0.020				2	0.020			
3	0.030				3	0.030				3	0.030			
4	0.030	0.018			4	0.030	0.018			4	0.030	0.018		
5	0.030	0.020			5	0.030	0.020			5	0.030	0.020		
6	0.060	0.025			6	0.060	0.025			6	0.060	0.025		
7	0.070	0.033			7		0.027			7		0.027		
8	0.070	0.040			8		0.030			8		0.030		
9	0.070	0.048			9					9				
10	0.070	0.054			10	0.070				10	0.070			
11	0.070	0.059			11	0.070				11	0.070			
12	0.070	0.064			12	0.070				12	0.070			
13	0.090	0.071			13	0.090				13	0.100			
14	0.090	0.075			14	0.090				14	0.100			
15	0.080	0.076	21	0.076	15	0.080	0.078	15	D.I.	15	0.080	0.082	15	0.082
16	0.070	0.076			16	0.070	0.077			16	0.070	0.080		
17	0.060	0.075			17	0.060	0.075			17	0.060	0.078		
18	0.050	0.073			18	0.050	0.073			18	0.050	0.075		
19	0.040	0.069			19	0.040	0.069			19	0.040	0.071		
20	0.030	0.064			20	0.030	0.064			20	0.030	0.066		
21	0.020	0.055			21	0.020	0.055			21	0.020	0.056		
22	0.010	0.045			22	0.010	0.045			22	0.010	0.045		
23		0.040			23		0.040			23		0.040		
24		0.035			24		0.035			24		0.035		
1	0.010	0.027			1	0.010	0.027			1	0.010	0.027		
2	0.020	0.022			2	0.020	0.022			2	0.020	0.022		
3	0.030	0.020			3	0.030	0.020			3	0.030	0.020		
4	0.030	0.020			4	0.030	0.020			4	0.030	0.020		

D.I.=Deficiencia de información para completar el 75% requerido para la concentración diaria.

Figura 12: Ejemplos de completación para validar la concentración diaria de los promedios móviles de 8 horas. Elaboración propia.

El promedio móvil de 8 horas se calculó tomando como base a los datos horarios, tomando el promedio de la hora seleccionada con los 7 valores horarios registrados en las horas previas. Un promedio móvil de 8 horas se consideró válido cuando este se calculó con al menos 75% de los posibles valores horarios (seis horas). Cuando se tengan menos de ocho horas, el promedio se calculó usando como divisor seis o siete, según sea el caso.

El cumplir con esta segunda etapa del aseguramiento de la calidad de la información, permitió aumentar la confiabilidad de los datos ingresados en la bases de datos y al mismo tiempo crear congruencia del estado que guarda la calidad del aire en la zona de estudio. Con la información recabada tanto en la escala interanual como histórica del lapso de tiempo estudiado, mediante el desempeño anual e histórico, permitió seleccionar a aquellas estaciones que contaron con información suficiente y de calidad para la elaboración de indicadores de la calidad del aire.

7.1 Desempeño anual e histórico de las estaciones de monitoreo.

Como última parte del aseguramiento de la calidad de los datos, se calificó el desempeño anual e histórico de las estaciones de la Red de Monitoreo concerniente al ozono para el periodo de 1994 a 2011.

El desempeño anual se obtuvo calculando el porcentaje de datos válidos de cada estación de medición en un año. El cuadro 13 ilustra las categorías propuestas para el cumplimiento anual en base al total de concentraciones diarias válidas que se deben tener en un año. Cabe señalar que se consideró como dato válido a la concentración diaria que cumplió los criterios de compleción señalados en el apartado anterior.

Cuadro 13: Desempeño anual de la estación de medición.

Equipo de monitoreo	Tipo de dato	Concentraciones diarias		
		Malo (<50%)	Regular (≥50% y <75%)	Bueno (≥ 75%)
Automático	Concentración diaria	0 a 182	183 a 274	≥ a 275

Elaboración propia tomando como referencia INE, 2010.

El desempeño histórico para cada una de las estaciones de monitoreo, se llevó a cabo conociendo la razón porcentual entre la proporción de años con un desempeño anual bueno y el total de años en operación en base al algoritmo propuesto en el cuadro 14.

Cuadro 14: Desempeño historico de las estaciones de medición.

Número de años en operación	Número de años con desempeño anual bueno ¹	Porcentaje de años con desempeño anual bueno	Desempeño histórico		
			Malo	Regular	Bueno
N	M	$\frac{100 \times m}{N}$	(<50%)	(≥ 50% y <75%)	(≥ 75%)

¹Este dato no puede ser mayor al número de años en operación.

Fuente: Tomado de INE, 2010.

El conocimiento generado a partir de dicho análisis permitió cerrar la etapa de aseguramiento de la calidad de los datos, siendo el principal beneficio el identificar cuáles de las ocho estaciones analizadas cumplían tanto con un buen desempeño anual e histórico para la generación de indicadores, y en base a este criterio se eliminaron aquellas estaciones con un desempeño regular y malo.

7.2 Elección y obtención de indicadores.

Un indicador se define como un valor que cuantifica y simplifica un fenómeno, y que ayuda a entender condiciones complejas como es el caso de la calidad del aire. Los indicadores de la calidad del aire permiten, entre otras cosas, evaluar el estado de la contaminación atmosférica y comunicar al público de una forma simple cuál es la calidad del aire que respira.

A fin de generar indicadores que sean representativos del comportamiento de un contaminante a lo largo de uno o varios años, la base de dichos cálculos debe provenir de datos válidos por lo que la fuente de estos cálculos fueron los resultados del desempeño anual e histórico practicado a las 8 estaciones de monitoreo contempladas en este estudio. Sin embargo solo se consideraron aquellas en las que hubo concordancia en ambos criterios de concentración diaria (dato horario y promedio móvil de 8 horas), para el cálculo y análisis de los indicadores de la calidad del aire planteados en el *Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire* (INE, 2010d), y lo establecido en la Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 relativa a O₃ (DOF, 2002), además del estándar señalado en la guía de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (2006a), tomado como hipótesis en esta investigación.

El cuadro 15 resume los indicadores de calidad del aire relevantes a la contaminación por ozono entre los que se pueden distinguir los referentes a impacto a la salud, de comportamiento y de tendencia. Cada uno de estos indicadores abona información específica relevante para el manejo y gestión de

la calidad del aire que van desde la ilustración de eventos extraordinarios de contaminación, la variabilidad del contaminante a lo largo del día, semanas o meses que facilitan la identificación de posibles riesgos a la salud por los niveles de contaminación a los que la población es expuesta.

Cuadro 15: Indicadores de calidad del aire elegidos para evaluar aspectos de impacto a la salud, comportamiento y tendencia.

Parámetro y Equipo de Monitoreo	Aspecto a evaluar	Indicador	Tipo de dato requerido para obtener el indicador
Mediciones de Ozono (O ₃) en equipo de monitoreo automático.	Impacto a la salud	Concentración máxima horaria	Dato horario
		Número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma	
		Número y porcentaje de días arriba del límite de la norma	
	Comportamiento	Quinto máximo	Promedio móvil de 8 horas
		Valor máximo y mínimo de promedio móvil	
		Valor promedio del promedio móvil	
		Promedio hora a hora	
		Promedio día a día	
	Tendencia	Promedio mes a mes	
		Intervalos de concentración	

Elaboración propia tomando como referencia INE, 2010.

7.2.1 Indicadores para evaluar impacto a la salud.

Concentración máxima horaria.

Se calculó a partir de la concentración diaria del dato horario de las mediciones horarias de ozono del SIMAJ, identificando al máximo valor registrado en el

conjunto de datos de la serie por estación en un año. Este indicador determina el cumplimiento o incumpliendo del límite horario de 0.110 ppm, especificado en la modificación NOM-020-SSA1-1993 (DOF, 2002).

Número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma.

Se obtuvo con base en el dato horario de las mediciones horarias de ozono del SIMAJ, mediante el conteo de horas por arriba del valor límite 0.110 ppm establecido en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993. Mientras que el porcentaje se calculó como la división del número de horas por arriba del valor límite señalado entre número de horas con concentraciones validas en un año.

Número y porcentaje de días arriba del límite de la norma.

Partiendo de las concentraciones diarias del dato horario de las mediciones de horarias de ozono del SIMAJ, se calculó la sumatoria de días por arriba del valor límite de 0.110 ppm establecido en la NOM-020-SSA1-1993. En el mismo sentido el porcentaje de días arriba del límite se sacó como la división del número de días por arriba del valor límite establecido entre el total de días en un año.

Quinto máximo.

Se obtiene a partir de las concentraciones diarias de los promedios móviles de ocho horas calculados de las mediciones horarias de ozono del SIMAJ. Para cada uno de los años de estudio cuando la información está completa se obtienen 365 o 366 concentraciones diarias según corresponda a año normal o bisiesto. Sin embargo, debido al criterio de compleción del 75% definido en este estudio, se consideró tener como mínimo 274 concentraciones diarias para que las aseveraciones que se hagan con respecto a este indicador sean válidas. Posteriormente los valores obtenidos se ordenaron de mayor a menor, el quinto valor máximo es el que se toma como referencia para este indicador.

7.2.2 Indicadores para evaluar comportamiento.

Valor máximo y mínimo de promedio móvil.

Se adquirió identificando el valor máximo y el valor mínimo de las concentraciones diarias del promedio móvil de 8 horas en cada año de operación, en las estaciones de monitoreo con información suficiente y válida, durante el periodo analizado.

Valor promedio del promedio móvil.

Se logró sumando todas las concentraciones diarias de los promedio móvil de 8 horas; esta suma se dividió entre el número total de dichas concentraciones validas, para cada año de operación.

Promedio hora a hora.

A partir de los promedios móviles de 8 horas, se calculó promediando los valores de las horas del día, para toda la serie de tiempo analizada. El propósito de este indicador fue conocer la marcha diaria durante un día típico.

Promedio día a día.

La base del cálculo para este indicador fueron las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas. En base a ello se obtuvo el valor promedio para cada uno de los días para toda la serie de tiempo analizada. El propósito de este indicador fue conocer el comportamiento de las concentraciones de ozono durante una semana típica.

Promedio mes a mes.

Similarmente para este cálculo se utilizaron las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas. Primeramente se calculó el promedio mensual para cada uno de los años, posteriormente para toda la serie de años analizados. El propósito de este indicador fue conocer el comportamiento de las concentraciones de ozono durante un año típico.

7.2.3 Indicadores para evaluar tendencia de las concentraciones de O₃.

Intervalos de concentración.

Estos se obtuvieron de acuerdo a la separación de rangos de las concentraciones diarias del dato horario y concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas. De manera particular las clases propuestas quedaron definidas en base al valor 0.110 ppm (NOM-020-SSA1-1993), esto quiere decir que un valor igual o mayor a esta concentración se clasificó en la clase “malo”. Así las categorías restantes de regular y buena, se distribuyeron en dos rangos menores a este límite (cuadro 16).

Cuadro 16: Intervalos de concentración para la concentración diaria del dato horario.

Tipo de dato	Clase	Intervalo de concentración (ppm)
Horario	Bueno	< 0.055
	Regular	0.055 a 0.109
	Malo	≥ 0.110

Elaboración propia.

Por otro lado y con la misma idea, para las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas, el valor considerado como referencia para este estudio, es el sugerido por la OMS (0.05 ppm), por lo que un valor igual o mayor a esta concentración se catalogó en la clase “malo”. Por tanto las otras dos categorías restantes regular y buena, se distribuyeron en rangos menores a este límite (cuadro 17).

Cuadro 17: Intervalos de concentración para la concentración diaria del promedio móvil de 8 horas.

Tipo de dato	Clase	Intervalo de concentración (ppm)
Promedio móvil de 8 horas	Bueno	< 0.025
	Regular	0.025 a 0.049
	Malo	≥ 0.050

Elaboración propia.

7.3 Estimación de la carga ambiental para el factor de riesgo O₃.

Para completar este objetivo trazado, se trabajó con el apoyo de la metodología para la evaluación de la carga ambiental de la enfermedad a nivel nacional y local (Prüss-Üstün et al., 2003), El enfoque de este método, está fundamentado en la exposición a uno o varios factores de riesgo ambiental en este caso, un solo factor, la contaminación por ozono. Para el procesamiento de las estimaciones de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, se utilizó la adaptación de dicho método propuesta en la serie número 5, para la contaminación del aire exterior (Ostro, 2004).

De esta forma la carga ambiental atribuible a un cambio específico en los niveles de una fracción de riesgo se estimó de acuerdo con la fórmula de la fracción de impacto (Last, 2001).

$$AF = \frac{\sum P_i RR_i - \sum P_i' RR_i}{\sum P_i RR}$$

Donde P_i es igual proporción de la población en la categoría de exposición "i", incluyendo los no expuestos y RR_i es el riesgo relativo en la categoría de exposición "i", en comparación con el nivel de referencia. Como este fue el caso de una sola ciudad, en la que se supuso un solo nivel de exposición, esta fórmula se simplificó a la ecuación:

$$AF = RR - 1 / RR$$

Es decir, P_i se convierte en 1, cuando la población total está expuesta y un sólo se aplicó un solo valor de riesgo relativo, en este caso solo se evaluó al ozono como factor de riesgo. Esta modificación aplicó para esta investigación, debido a que la información disponible en torno a la calidad del aire ambiente, no permitió incluir a todo el sistema de monitoreo, sin embargo se consideró a las estaciones que si cumplieron los requisitos de calidad de la información son las más aptas y representativas de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Cabe

señalar que nivel de exposición se obtuvo promediando los 12 niveles de concentración obtenidos del comportamiento mes a mes, provenientes de las estaciones de monitoreo, y con esto se consiguió un concentración promedio anual para la ZMG por cada año revisado del periodo de estudio.

El AF se basa en el riesgos relativos (RR), esto son obtenidos de estudios epidemiológicos que ya han evaluado de las concentraciones de ozono y sus efectos en la salud de la población. En este caso se utilizó la fórmula de riesgo propuesta de acuerdo con el grupo de trabajo de contaminación del aire exterior (Ostro, 2004), mientras que el coeficiente necesario para el cálculo del RR se obtuvo del meta-análisis realizado por Bell et al., en 2005, que mediante la recopilación de gran cantidad de estudios epidemiológicos estimaron, un coeficiente β que refleja como se desenvuelve los incrementos de los niveles de concentración de ozono y los efectos en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (cuadro 18).

Cuadro 18: Resultados de salud recomendados y funciones de riesgo utilizados para calcular la carga ambiental de la enfermedad.

Resultado de salud y métrica de exposición	Fuente	Función de Riesgo Relativo (RR) ¹ .	β sugerido (95% IC)	Sub-Grupo
Mortalidad de enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares por exposición a Corto Plazo de O ₃ .	Meta-análisis Bell et al., 2005.	$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$	0.87 (0.55, 1.18)	Todas las edades.

¹Función de riesgo propuesta grupo de trabajo EBD contaminación del aire exterior (Ostro, 2004).

X = Concentración actual de O₃ (µg/m³).

X₀ = Objetivo umbral de la concentración de O₃ (µg/m³).

β = Coeficiente sugerido para incrementos de 10 µg/m³ en 8 horas.

Por último se calculó el número esperado de casos de mortalidad debido a la contaminación del aire (E), donde el AF se aplicó al total de muertes:

$$E = AF \times B \times P$$

Donde:

AF= Fracción atribuible.

E = número esperado de muertes debidas a la contaminación del aire exterior.

B = la incidencia en la población de los efectos de salud determinado.

P = la población expuesta relevante para el efecto en la salud.

La incidencia en la población de los efectos de salud (B) se obtuvo calculando tasas por cada 100,000 habitantes, con datos de mortalidad, recabados del Sistema Nacional de Información en Salud mediante el formato de cubo dinámico, para cada uno de los años de estudio, correspondientes a la enfermedades respiratorias y cardiovasculares (cuadro 19). Estas estadísticas son una de las fuentes sugeridas para estimar la carga ambiental de la enfermedad señaladas en el método (Prüss-Üstün et al., 2003) al no contar con DALY.

Cuadro 19: Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares por cada 100,000 habitantes en la ZMG.

Año de Registro	Mortalidad	
	Enfermedades Respiratorias	Enfermedades Cardiovasculares
1994	28.6	48.1
1995	33.1	48.6
1996	33.5	50.0
1997	30.5	47.4
1998	37.4	49.4
1999	41.5	51.0
2000	38.9	47.9
2001	33.4	45.7
2002	39.3	48.4
2003	42.0	51.8
2004	40.0	44.4
2005	45.1	49.3
2006	39.1	47.4

2007	39.0	46.6
2008	39.1	49.5
2009	47.4	52.7
2010	49.0	56.1
2011	47.1	61.8

Elaboración propia en base a datos de Secretaría de Salud, 2012.

Por otro lado la población expuesta relevante para el efecto en la salud (P), se obtuvo de los censos, conteos y estimaciones de crecimiento de las bases de datos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2013a) y del Consejo Estatal de Población del Estado de Jalisco (COEPO JAL, 2007), para cada uno de los Municipios que forman parte de la ZMG incluidos en este estudio. Finalmente, todo lo especificado anteriormente a lo largo de este capítulo, estuvo orientado para describir las tendencias en los niveles de Ozono troposférico y la contribución que este factor ambiental tiene en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, mediante la estimación de la carga ambiental, en coherencia con el objetivo general trazado para esta investigación.

8 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

8.1 Localización.

La ciudad de Guadalajara, ubicada en el Occidente de México con unas coordenadas en proyección UTM X= 675,849.35 Y= 2,286,041.87, es la capital del Estado de Jalisco y el centro histórico de la segunda zona metropolitana más poblada del país. Guadalajara ha seguido la tendencia de conurbación iniciada por la ciudad de México en los años setenta. En su fase inicial de expansión incorporó a los Municipios de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá a lo que inicialmente se le nombró la Zona Metropolitana de Guadalajara, municipios que son el objeto del presente estudio (figura 13). Sin embargo, en 1995 los Municipios de El Salto, y Tlajomulco de Zúñiga se agregan a la metrópoli, sumando un total de seis Municipios en la actualidad. (INEGI, 2002).



**Figura 13: Localización geográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.
Elaborado sobre mapa "Zona Centro".
Fuente: Gobierno del Estado de Jalisco, 2013.**

7.1 Emisiones vehiculares.

Los cuatro Municipios considerados, comparten una conurbación constante en la que circulaban en 2009 alrededor de 1'525,931 vehículos, lo que representaba el haberse duplicado el parque vehicular en las calles en comparación el año 2000, que a la vez constituía la presencia de un vehículo por cada 2.7 habitantes en la ZMG (CEJ, 2010). En este mismo sentido, la dinámica de aportación de contaminantes por vehículos automotores es la fuente más continua de emisiones, pues en 2008 se calculó que cada año en la zona metropolitana de Guadalajara los vehículos particulares aportan 1,576 toneladas de partículas totales y el transporte público 2,242 toneladas (Curiel y Garibay, 2008).

7.2 Orografía.

La ZMG tiene como principales rasgos orográficos según Díaz (1946) que se esencialmente sobre el valle de Atemajac y está rodeada por la barranca de Huentitán-Oblatos moldeada por el Rio Grande de Santiago, en la cual se une el los río Verde; al Norte se sitúa un macizo riolítico muy erosionado llamado sierra de San Esteban; al Sur y Sureste el valle de Toluquilla, del cual es separado por una pequeña cordillera basáltica y algunos volcanes basálticos como los cerros La Cúpula, de la Reina y el Cholo. Al Suroeste se encuentran varios cerros de altura importante como el del Cuatro, de las Juntas, Santa María Tequepexpan y del Tesoro; y al Oeste se limita por el Bosque La Primavera. El rango de altura de estos complejos orográficos comprende desde los 50 hasta los 500 metros, principalmente en la porción Sur de la ZMG se localizan los de mayor altura; estos conjuntos montañosos constituyen parcialmente una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera de la zona urbana (figura 14).



Figura 14: Rasgos orográficos en la ZMG.

Fuente: Imagen exportada de “Google Earth®”, fecha de imágenes 4/09/2013.

7.3 Demografía.

Esta zona metropolitana es la segunda más poblada de México, después de la Zona Metropolitana del Valle de México, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) pues con información del Censo Nacional de Población y Vivienda de 2010 cuenta con 3,825,748 habitantes distribuido en los cuatro municipios pertenecientes a la zona, es decir, en una superficie total de 603.8 km² cuenta con una densidad promedio de 6,189.4 habitantes por km². El Municipio más poblado de la zona es Guadalajara con una población cercana a los 1.5 millones de habitantes en contraste con Tonalá con poco más de 478mil habitantes siendo éste, último el menos poblado de los cuatro municipios (cuadro 20).

Cuadro 20: Desglose de datos de población para la ZMG.

Municipio	Población (habitantes)	Superficie (km ²)	Densidad poblacional (habitantes/km ²)
Guadalajara	1'495,189	151.4	9,874.4
Zapopan	1'142,483	175.9	6,495.1
San Pedro Tlaquepaque	608,114	110.4	5,506.2
Tonalá	478,689	166.1	2,881.9

Fuente: INEGI, 2013a.

Lo anterior es soportado debido al constante crecimiento poblacional en dicha zona metropolitana, pues los Municipios de San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan han mostrado una tasa de crecimiento anual en los periodos de 1990 a 2000 del 3.42, 7.23 y 3.49 respectivamente; posteriormente se reflejó de 2000 a 2005 tasas de crecimiento del 3.16, 3.45 y 2.52 para cada Municipio en el mismo orden, y finalmente de 2005 a 2010 las tasas continuaron reflejando el incrementando la población con el 1.67, 3.45 y 1.59 en estos Municipios. Por otro lado el Municipio de Guadalajara fue el único que manifestó decrementos del -0.02, -0.49 y -1.46 en las tasas de crecimiento, en los mismos periodos comentados (cuadro 21).

Cuadro 21: Crecimiento Poblacional Municipios de la ZMG en el periodo de 1994 a 2011.

Año	Número de habitantes por Municipio				Total
	Guadalajara	San Pedro Tlaquepaque	Tonalá	Zapopan	ZMG
1994	1,648,885	388,551	222,847	816,730	3,077,014
1995	1,648,555	401,840	238,959	845,234	3,134,588
1996	1,648,226	415,583	256,236	874,732	3,194,776
1997	1,647,896	429,796	274,761	905,261	3,257,714
1998	1,647,567	444,495	294,627	936,854	3,323,542
1999	1,647,237	459,696	315,928	969,550	3,392,412
2000	1,646,319	474,178	337,149	1,001,021	3,458,667
2001	1,638,252	489,162	348,781	1,026,247	3,502,441
2002	1,630,225	504,620	360,814	1,052,108	3,547,766
2003	1,622,237	520,566	373,262	1,078,621	3,594,685
2004	1,614,288	537,015	386,139	1,105,803	3,643,245
2005	1,600,940	563,006	408,729	1,155,790	3,728,465
2006	1,577,608	572,406	422,841	1,174,148	3,747,002
2007	1,554,616	581,962	437,440	1,192,797	3,766,814
2008	1,531,959	591,678	452,543	1,211,742	3,787,922
2009	1,509,632	601,557	468,167	1,230,988	3,810,344
2010	1,495,189	608,114	478,689	1,243,756	3,825,748
2011	1,473,398	618,267	495,216	1,263,511	3,850,392

Fuente: (COEPO JAL, 2007).

7.4 Clima.

La ZMG se encuentra afectada la mayor parte del año por la afluencia de aire marítimo tropical, sin embargo, en el transcurso anual una gran variedad de

fenómenos meteorológicos de escala regional, en superficie y en la atmósfera superior, tienen influencia sobre las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana; el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, el aumento de vehículos y la falta de áreas verdes, son solamente algunos de los factores que influyen en la alteración del clima de la ciudad, Si a esto además le agregamos que los suelos y vegetación naturales son escasos, debido a que la superficie de la ciudad está constituida por áreas pavimentadas y áreas habitacionales, comerciales e industriales; entonces el clima de la ciudad es en gran medida el resultado de ese conjunto de factores (Figueroa, 2005).

Impera en una temperatura media anual de 19.2 °C, una máxima promedio de 28.6 (a las 3 de la tarde) y una mínima media de 12 °C (a las 6 de la mañana), el mes más frío es enero y el más cálido es mayo, presenta una precipitación media anual de 918 mm distribuidos en dos periodos, de mayo a octubre se comprende cómo temporada de lluvias (precipitación de 700 a 900 mm) y el resto del año forma parte del periodo seco (precipitación menor a 70 mm), lo que sitúa a la ZMG en una zona climática templada, subhúmeda con lluvias en verano (Davydova-Belistkaya, 2004).

En la zona metropolitana de Guadalajara, los mayores incrementos de temperatura durante 1996-2000 con respecto a la línea base de los años 1960-1980, se presentan en los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) y las olas de calor son más frecuentes en abril y mayo. Durante el periodo de 1996 a 2000 las temperaturas medias promedio oscilaron de los 19°C en 1960 a 1980 y 22°C en la década de los 90's (Parada, 2010). Se caracteriza por estaciones cálidas, con una generosa radiación solar equivalente a 270 días al año con 9 horas sol (Ulloa et al., 2011).

También se ha identificado que es notablemente más calurosa en su parte central que en sus alrededores, constituyendo así una “isla de calor”, debido a varios factores, entre ellos los más importantes son: la alta absorción de la

radiación solar por parte de la densa construcción urbana, la cual es mucho mayor que la tasa de absorción de un paisaje rural; y la absorción de la gran mayoría de la luz visible e infrarroja que cae sobre los pavimentos de asfalto/concreto que conforman las principales calles y avenidas de la ciudad (Jauregui et al., 1992).

Cabe agregar que el viento manifiesta dos patrones principales de circulación; el primer patrón con 33% de la frecuencia total, indica un flujo de vientos Occidentales, incluyendo las direcciones Suroeste, Oeste-Suroeste, Oeste, Oeste-Noroeste y Noroeste, para las épocas de invierno-primavera. El segundo patrón en importancia, con el 18% de incidencia, son los vientos Orientales que incluye a las direcciones Noreste, Este-Noreste, Este, Este-Sureste y Sureste para las épocas de verano-otoño. Con relación a los vientos provenientes del Norte y Sur, ambos comparten solo el 5% de la frecuencia total, representando una incidencia poco importante en la circulación local. (GEJ/ SEMARNAP/INE, 1997).

Por último se han descrito en particular los periodos de enero a junio y noviembre a diciembre, en los cuales existen inversiones térmicas prácticamente durante todos los días del mes. Aunque, para los meses de julio a octubre, el número de inversiones térmicas llega a ser menor al 50% de los días del mes; esto ocurre regularmente en varias áreas de la ZMG, debido a que las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes. Estas inversiones térmicas actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado, el cual como es normalmente acompañado por bajas velocidades en el viento, resulta así una baja difusión horizontal de los contaminantes (Michel, 1983; GEJ/ SEMARNAP/INE, 1997).

8 RESULTADOS.

9.1 Desempeño anual e histórico del SIMAJ para las mediciones de O₃.

Este análisis calificó el desempeño histórica que tuvo cada una de las estaciones de monitoreo durante el periodo contemplado. Esto se realizó con el fin de identificar cuáles de estas estaciones presentaron información suficiente para las futuras etapas de este estudio, principalmente para generar indicadores confiables y representativos, así como los datos de entrada para el análisis de la carga ambiental de enfermedad. Los datos evaluados en esta etapa fueros las concentraciones diarias tanto del dato horario así como las de los promedios móviles de 8 horas.

Concentración diaria dato horario.

El análisis del desempeño anual en base a los datos horarios presentó en los dos primeros años analizados, la mayor cantidad de desempeños anuales “malos”, principalmente en 1995 en el cual 7 de las ochos estaciones evaluadas presentaron información de calidad inferior al 50%. En este mismo contexto, la E2-Oblatos fue la estación que presentó la mayor cantidad de consecutivos con desempeño “malo” (2003-2005) y “regular” (1998-2000), en los que incluso destacan los años 2003 y 2004 con información nula. Los años 1994, 1997 y 1998 fueron los que presentaron la mayor cantidad de estaciones con desempeños anuales “regulares”, aunque los años más críticos de todo el periodo analizado con desempeños regulares a malos fueron 1994 y 1995 (cuadro 22).

Cuadro 22: Desempeño anual en base al porcentaje de datos válidos para la concentración diaria (dato horario).

Año	Estaciones de monitoreo							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1994	75.9	76.4	46.3	54.2	38.9	61.4	77.5	69.3
1995	34.5	44.9	21.6	46.6	36.4	45.2	40.8	52.1
1996	77.3	91.8	91.5	85.5	82.5	81.7	72.4	89.6
1997	70.4	83.0	86.3	89.0	82.2	74.8	76.4	65.5
1998	75.3	60.5	72.6	92.1	88.8	71.5	79.7	88.5

1999	77.0	60.0	92.9	95.9	95.9	89.3	93.4	91.8
2000	95.4	60.1	91.8	94.5	92.6	89.6	94.8	96.4
2001	96.7	77.0	81.1	96.2	97.0	97.8	97.5	97.5
2002	97.3	79.2	97.0	95.9	89.9	97.5	96.2	97.3
2003	94.8	0.0	97.3	91.2	84.4	98.9	98.6	97.5
2004	93.7	0.0	97.0	89.3	93.2	96.2	92.9	91.3
2005	83.0	45.2	96.2	89.9	91.5	92.9	87.7	98.1
2006	97.8	92.3	78.4	95.1	91.5	94.2	99.2	98.4
2007	77.0	99.5	75.3	98.1	80.8	60.0	95.3	92.1
2008	80.1	88.0	57.9	81.7	92.3	76.5	94.5	63.1
2009	80.3	84.9	75.3	72.3	77.8	97.8	69.3	86.8
2010	92.3	85.5	76.2	80.0	61.6	94.0	88.2	92.6
2011	78.4	91.5	91.0	91.2	43.3	93.2	93.4	74.0

Desempeño anual: Bueno ■, Regular ■, Malo ■.

Elaboración propia.

Por estación los resultados mostraron desempeños “buenos” para la mayoría de ellas durante el periodo de 1999-20007, pues solo en una de las ocho estaciones de monitoreo el desempeño no fue bueno. Del 2008-2011 el número de estaciones con un buen desempeño disminuyó a 6 de las 8 analizadas, a excepción del 2010 con solo la estación E5-Miravalle que registro un desempeño regular. Finalmente de toda la serie de datos analizada los años 2001, 2002 y 2006 fueron los únicos en el que el desempeño anual de todas las estaciones de monitoreo fue bueno.

Respecto al desempeño histórico el análisis mostró que en cinco de las ocho estaciones que conforman la red de monitoreo, el desempeño fue bueno. En particular dichas estaciones fueron la estación E1-Atemajac, E3-Loma Dorada, E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta (figura 15), siendo algunas de estas estaciones donde con frecuencia se presentan los mayores índices de contaminación por ozono.

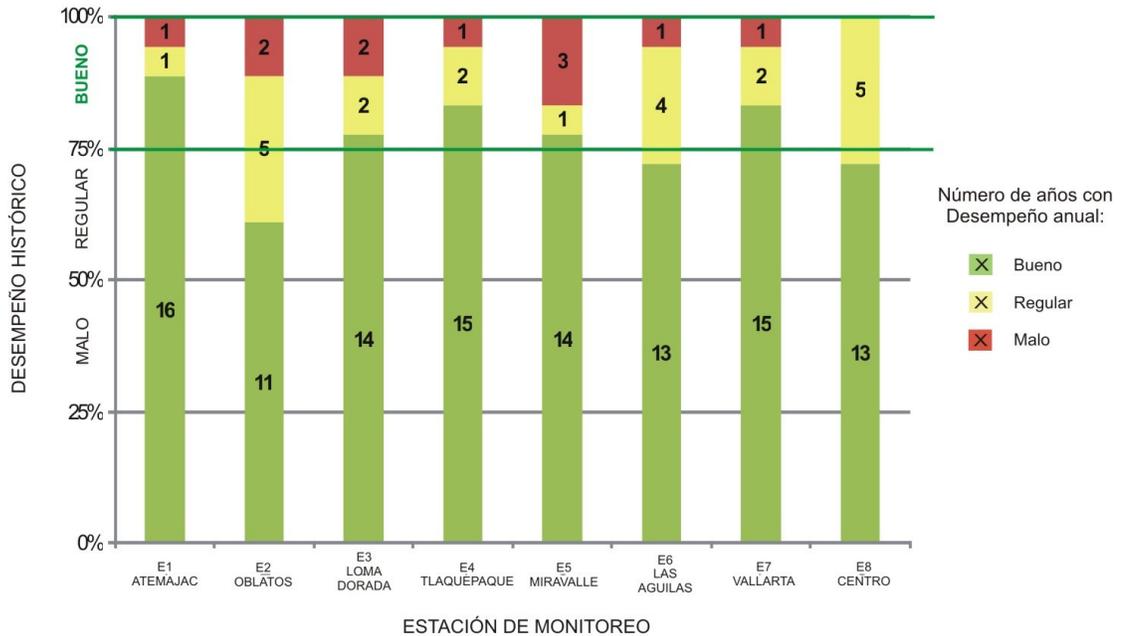


Figura 15: Desempeño histórico para las concentraciones diarias de O₃ provenientes del dato horario del SIMAJ (1994-2011). Elaboración propia.

Concentración diaria promedio móvil de 8 horas.

La concentración diaria para el promedio móvil de 8 h, cuya base de cálculo fueron los datos horarios; mostró que en los primeros dos años de trabajo de la SIMAJ se presentó la mayor cantidad de desempeños anuales “malos”, especialmente en 1995 en el que de las ocho estaciones evaluadas, 7 presentaron información válida menor al 50%. En este mismo contexto, la E2-Oblatos presentó un desempeño muy pobre con el mayor número de años consecutivos con un desempeño “malo” o “regular, que incluso en alguno de ellos la información fue nula. También es relevante señalar que en el año 1998, fue donde se mostraron la mayor cantidad de estaciones con desempeños anuales “regulares”, en total 5 correspondientes a la E1-Atemajac, E2-Oblatos, E3-Loma Dorada, E6-Las Águilas y E7-Vallarta (cuadro 23).

Cuadro 23: Desempeño anual en base al porcentaje de datos válidos para la concentración diaria (promedio móvil de 8 horas).

Año	Estaciones de monitoreo							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1994	57.0	75.3	36.4	54.0	30.4	57.3	67.1	55.6
1995	35.9	43.6	21.9	45.2	37.8	45.8	41.4	51.8
1996	79.5	90.2	92.1	85.8	79.2	79.5	79.2	92.3
1997	75.3	80.8	84.7	85.5	77.3	70.7	75.1	67.4
1998	70.7	57.8	64.4	88.2	83.6	63.8	73.4	84.4
1999	67.9	35.3	86.3	93.4	91.0	73.2	89.0	82.7
2000	94.3	50.3	86.6	93.4	90.2	87.2	94.0	95.6
2001	97.0	68.2	67.9	95.3	94.2	96.7	97.0	97.0
2002	97.5	78.6	97.0	96.2	89.9	96.4	95.9	97.3
2003	94.5	0.0	96.4	91.2	85.2	98.4	98.4	97.3
2004	90.7	0.0	95.4	88.3	91.3	95.1	93.2	91.5
2005	83.6	44.9	95.9	89.9	91.5	90.4	87.1	98.4
2006	97.5	91.8	72.9	94.2	88.5	92.9	98.4	98.1
2007	75.9	99.2	67.4	97.5	76.7	55.1	95.3	89.0
2008	73.8	86.6	45.9	81.7	92.6	61.2	93.7	59.3
2009	79.2	82.5	71.8	67.7	75.9	96.2	65.8	83.3
2010	92.1	85.8	72.1	78.4	61.9	94.2	85.2	93.2
2011	77.8	91.2	90.7	91.0	43.0	92.9	92.9	73.7

Desempeño anual: Bueno ■, Regular ■, Malo ■.

Elaboración propia.

En los resultados también se pudo observar que de los 18 años analizados, únicamente en 1996 y 2002 el desempeño fue bueno en todas las estaciones de la red de monitoreo. En segundo lugar se distingue también el periodo 2003-2006 donde 7 de las 8 estaciones analizadas mostraron de igual manera un desempeño bueno. Las únicas estaciones con un desempeño menor al 75% fueron E2-Oblatos en donde el periodo 2003-2005 su desempeño fue malo; además de la estación E3-Loma Dorada cuyo desempeño fue regular con 72.9 % de concentraciones diarias válidas.

A partir de estos resultados se pudo también observar que las estaciones con el peor desempeño histórico para el periodo de tiempo analizado, fueron E3-Loma Dorada y E2-Oblatos con el 50 % y 55 % respectivamente, y en segundo lugar se distinguió E6-Las Águilas donde el porcentaje de desempeño apenas alcanzó el

61%. Finalmente las estaciones E1-Atemajac y E-8 Centro estuvieron cercanas a un buen desempeño histórico con un 72% (figura 16).

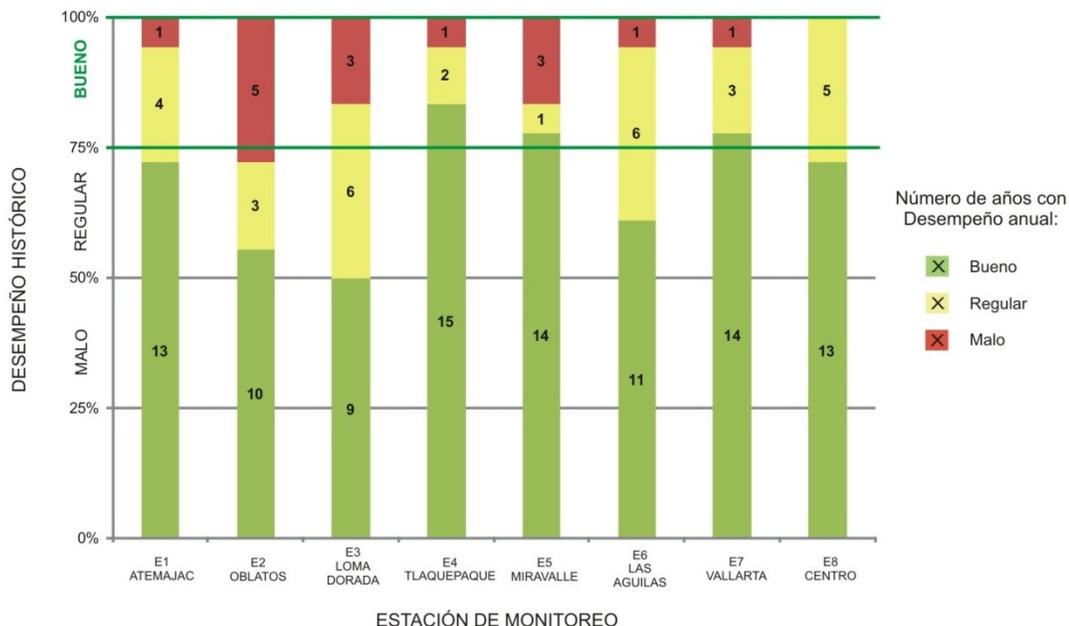


Figura 16: Desempeño histórico para las concentraciones diarias de O₃ provenientes del promedio móvil de 8 horas del SIMAJ (1994-2011). Elaboración propia.

El cuadro 24 muestra el resumen de la estaciones aptas para el cálculo de indicadores de la calidad del aire en base a las especificados en la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993 de Salud Ambiental (DOF, 2010), así como el protocolo de manejo de datos de la calidad del aire (INE, 2010d).

Cuadro 24: Resumen de estaciones con datos suficientes y válidos para la obtención de indicadores de la calidad del aire.

Clave	Nombre	% de desempeño histórico concentración diaria	
		Dato horario	Promedio móvil 8 horas
E1	Atemajac	88.9	72.2
E3	Loma Dorada	77.8	50.0
E4	Tlaquepaque	83.3	83.3
E5	Miravalle	77.8	77.8
E7	Vallarta	83.3	77.8

■ Desempeño histórico bueno para ambos tipo de datos

Elaboración propia.

9.2 Elección y obtención de indicadores referentes a O₃.

El cálculo de indicadores de la calidad del aire solo se llevó a cabo para aquellas estaciones donde el número de datos necesarios para su obtención fue $\geq 75\%$, tal como lo mostró el resumen del cuadro 24. El tipo de indicadores, así como el dato necesario para su cálculo se muestra en el cuadro 25.

Cuadro 25: Indicadores referentes a O₃ elegidos para evaluar aspectos de impacto a la salud, comportamiento y tendencia.

Parámetro y Equipo de Monitoreo	Aspecto a evaluar	Indicador	Tipo de dato requerido para obtener el indicador
Mediciones de Ozono (O ₃) en equipo de monitoreo automático.	Impacto a la salud	Concentración máxima horaria	Dato horario
		Número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma	
		Número y porcentaje de días arriba del límite de la norma	
	Comportamiento	Quinto máximo	Promedio móvil de 8 horas
		Valor máximo y mínimo de promedio móvil	
		Valor promedio del promedio móvil	
		Promedio hora a hora	
		Promedio día a día	
	Tendencia	Promedio mes a mes	
		Intervalos de concentración	

Elaboración propia.

9.2.1 Indicadores para evaluar impacto a la salud por concentraciones de O₃.

Concentración máxima horaria.

Este indicador representa el valor máximo de las concentraciones diarias de contaminación por ozono a que la población es expuesta. De manera general es el reflejo de los eventos extraordinarios de contaminación del aire que ocurrieron en cada uno de los años del estudio. A simple vista en la figura 17, se observó que los valores de concentración máxima a los que la población está siendo expuesta se encuentran varios órdenes de magnitud por encima del valor máximo horario referenciado en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993, resaltando su importancia como factor de riesgo a la salud a lo largo de todo el periodo de estudio, pues solo en E4-Tlaquepaque y para el 2001 dicho valor máximo estuvo por debajo de 0.110 ppm

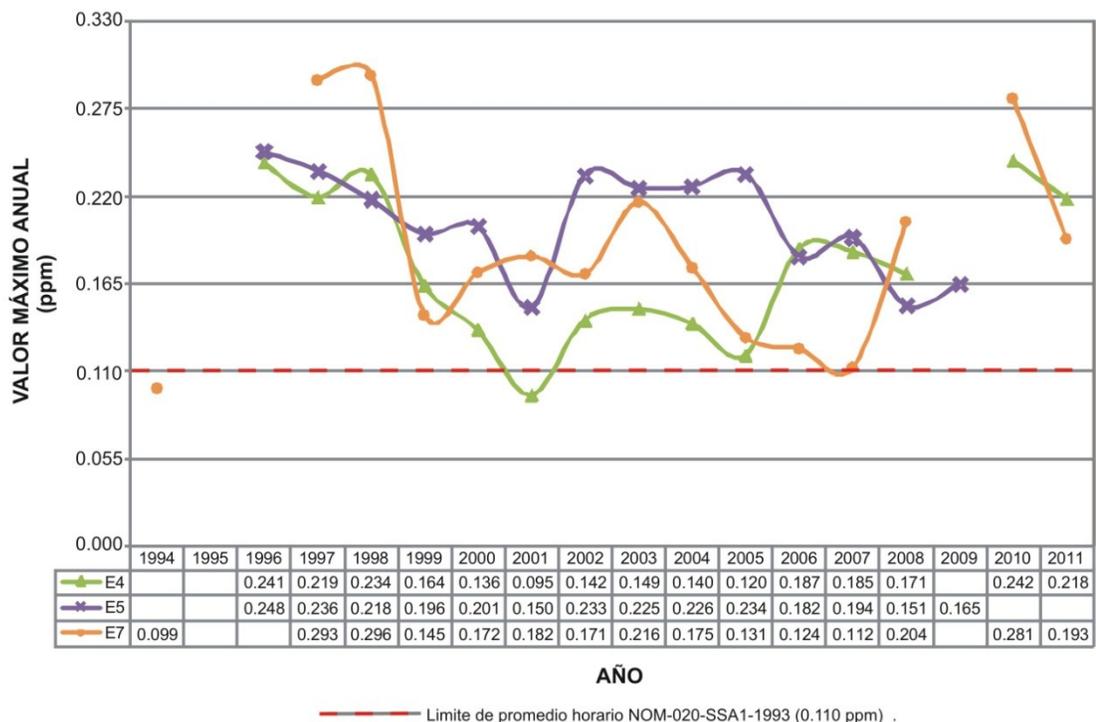


Figura 17: Valores máximos para la concentración diaria de los datos horarios, durante el periodo.

Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

También se evidenció en el gráfico que la E7-Vallarta sobresale con los mayores valores máximos en un orden de magnitud 2.5 veces más grandes que

el referido en la normatividad para este contaminante. En particular los años 1997,1998 y 2010 registraron dichos valores. Con valores máximos casi sostenidos resalta la E5-Miravalle durante el periodo 2002-2005 donde el valor de referencia es superado al doble. Después de este periodo los valores máximos para las tres estaciones muestran una clara tendencia a la baja en el periodo 2005-2008 donde la E7-Vallarta apenas superó el valor normado con 0.112 ppm para 2007, aunque para el siguiente año dicho valor se dispara a 0.204 ppm. Después de este periodo el número de datos válidos no fue suficiente por lo que se observan huecos en la información.

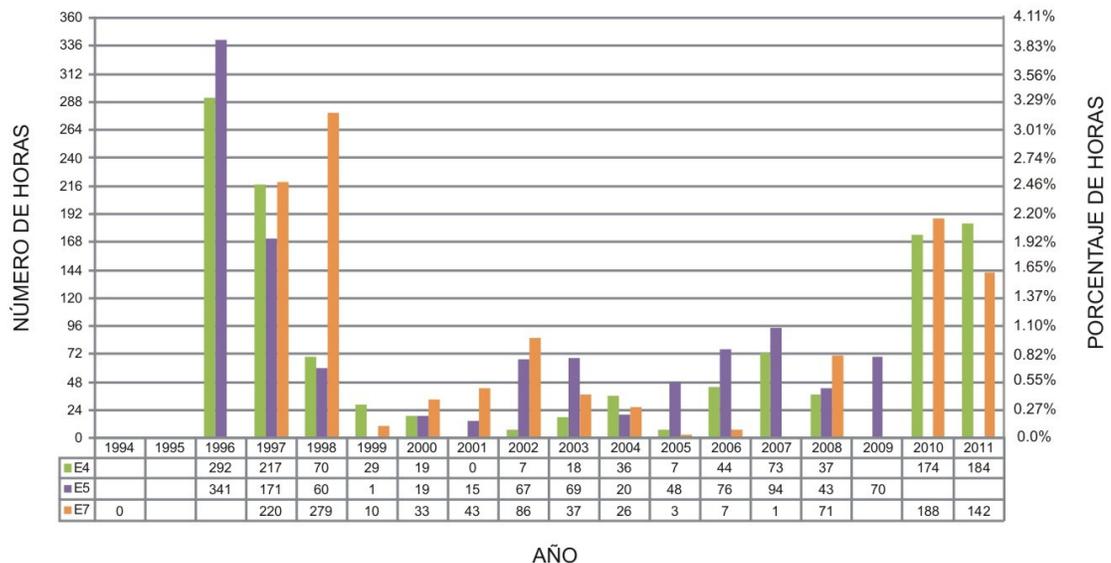
Aunque el gráfico no muestra información de la época del año en que se presentan los picos máximos de contaminación por ozono, se observó durante el análisis que la ocurrencia de estos valores es en el periodo estacional de primavera, cuando el índice de radiación solar es lo suficientemente fuerte para catalizar los mecanismos de formación de ozono a partir de precursores como NO_x y COV's, a excepción de la registrada en el año 1999 de 0.145 ppm en la E7-Vallarta, la cual se identificó en el periodo de invierno, específicamente el 07 de enero a las 16:00 horas.

Número y porcentaje de horas arriba de la norma.

Representa el conteo de horas por arriba del valor límite establecido en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993, por lo que es un complemento a la evaluación del cumplimiento del límite establecido en la normatividad específica para ozono. Su aportación es como indicador del impacto que pudiere ejercer este contaminante en una región. De una manera más práctica la información de este indicador se puede expresar como “porcentaje de horas arriba del límite” mediante la división del número de horas por arriba del valor límite establecido en NOM entre el total de horas con concentraciones válidas del período que se va a analizar.

Los resultados de dichos cálculos se presentan en la figura 18, de estos resalta el año 1996 con el mayor número de horas en que se rebasa el valor normado

de 0.110 ppm. En particular E5-Miravalle con 341 horas, lo que se aproxima al 4% de las horas registradas en un año (8,760 horas para una año normal, y 8784 para año bisiesto). Aunque parece que la información de este indicador no es tan relevante en relación al total de horas en un año, complementa la información especificada en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993, “Para protección de la salud no debe ser mayor a 0.110ppm, solo una vez en el año....”, si se observa que en toda la serie de tiempo analizada esto se incumple constantemente. También en el gráfico destacan los años 1997 y 1998 con un buen número de horas que no cumplen el valor normado para las tres estaciones de monitoreo analizadas. Durante el primero de los años la E5-Miravalle mostró un comportamiento antagónico al año anterior solo alcanzando 171 horas en contraste con las mostradas en 1996. En la E4-Tlaquepaque y E7-Vallarte el número de horas fue muy similar, 217 y 220 respectivamente.



**Figura 18: Número y porcentaje de horas en los que se rebasa el valor normado 0.110 ppm del contaminante O₃.
Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.**

En el periodo 1999-2009 los resultados de este indicador muestran una clara distribución bimodal. El primer pico de la distribución se alcanza en el año 2002, correspondiendo en este año el mayor número de horas por arriba del valor normado a la E7-Vallarta y en segundo lugar a la E5-Miravalle. El segundo pico de la distribución se alcanza en el año 2007 donde la E5-Miravalle y E4-

Tlaquepaque alcanzaron el mayor número de horas por arriba del valor normado. Finalmente el gráfico muestra que durante los dos últimos años analizados la tendencia del número de horas por encima del valor normado es una clara tendencia a la alza con el número de horas superior a las 140 horas en particular para las estaciones E4-Tlaquepaque y E7-Vallarta.

Número y porcentaje de días arriba de la norma.

Es de igual manera un indicador para evaluar aspectos de impacto a la salud que pudiera ejercer la contaminación por ozono en una región. Representa el conteo de días por arriba del valor límite establecido en modificación a la NOM-020-SSA1-1993 por lo que es un complemento a la evaluación del cumplimiento del límite establecido en la normatividad específica para ozono. De una manera más práctica la información de este indicador se puede expresar como “porcentaje de días arriba del límite” mediante la división del número de días por arriba del valor límite establecido en NOM entre el total de días con concentraciones válidas del período que se va a analizar. El cálculo del número de días o el porcentaje de días en que se rebasa el valor de los límites establecidos en la norma se realizó con las concentraciones diarias tal como se definió en la metodología.

Los resultados de este indicador se ilustran en la figura 19 y muestran una distribución muy similar al indicador anterior del número de horas por arriba del valor límite. Al trabajar con las concentraciones diarias para este indicador, la magnitud del impacto que se pudiera tener sobre la salud es más congruente, pues existe una correspondencia directa entre el número de días en un año y el número de concentraciones diarias.

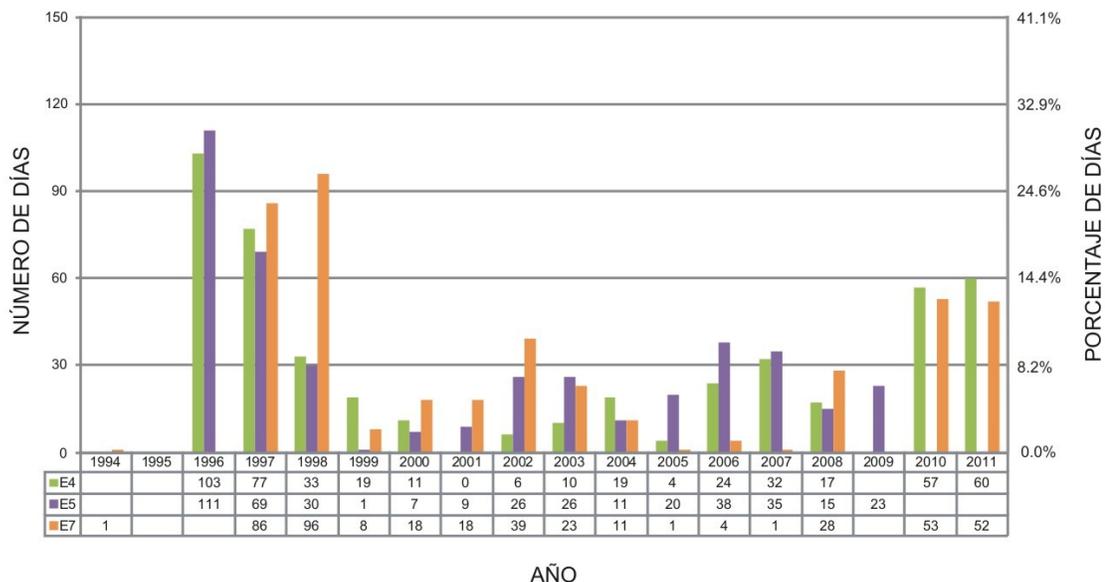


Figura 19: Número y porcentaje de días en los que se rebasa el valor normado 0.110ppm, O₃ en base a la concentración diaria. Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

Del gráfico se observan tres patrones de distribución a lo largo de la serie de tiempo analizada. Así el mayor número de días con concentraciones diarias por arriba del límite establecido ocurrió durante el periodo de 1996-1998. De este sobresales las estaciones E4-Tlaquepaque y E5-Miravalle con porcentajes superiores al 28 %, lo cual quiere decir que de los 365 días del año en por lo menos en 102 de ellos, los valores de concentración diaria excedieron el límite estándar. En el segundo patrón que corresponde al periodo 1999-2009, se visualiza una distribución bimodal donde las máximas concentraciones diarias se alcanzan en los años 2002 y 2006 para las estaciones E7-Vallarta y E5-Miravalle con 39 y 38 días donde la concentración diaria excedió el valor estándar de manera respectiva. Finalmente los dos años de la serie analizada muestran un incremento en el número de días con concentraciones diarias donde en la E4-Tlaquepaque se registró el mayor número de estos días con 57 y 60 que de forma aproximada corresponden a un 14%.

Quinto máximo.

Se refiere al quinto valor más grande de las concentraciones diarias de los promedios móviles de ocho horas, el cual debe ser igual o menor a 0.08 ppm y

solo se permite 4 veces en un año, por lo que sí existe un quinto día en el transcurso de un año, el cual es mayor o igual al señalado, incumple los especificado en la modificación a la a la NOM-020-SSA1-1993. Bajo este principio, observando la figura 20, se notó que en todos los años al menos una estación violo este criterio, destacando la E5-Miravalle con 13 años y una distribución bimodal donde estos valores alcanzaron sus máximos durante los años 2003 y 2007 con 0.111 y 0.112 ppm correspondientemente. Por otro lado y aunque en 1999, 2001-2002, y 2005-2007 se incumplió la NOM también fueron años en los que en toda la serie de tiempo analizada las concentraciones diarias de ozono estuvieron por abajo de los 0.080 ppm en algunas estaciones.

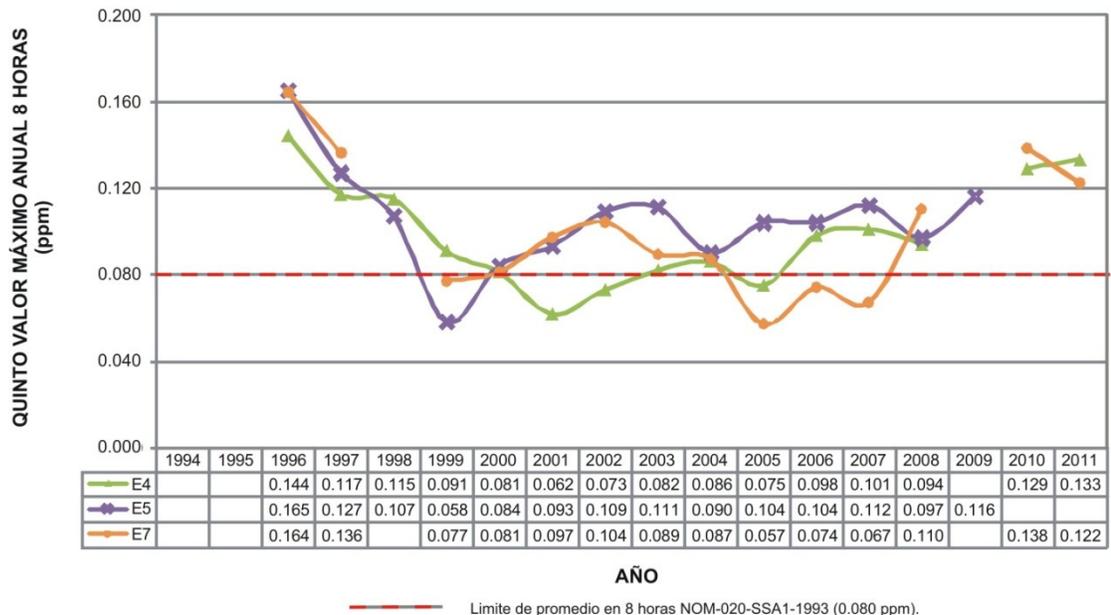


Figura 20: Quinto valor máximo de las concentraciones diarias a partir de los promedios móviles de 8 horas.
Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

9.2.2 Comportamiento de las concentraciones de O₃.

Valor máximo y mínimo de promedio móvil.

El comportamiento de los valores máximos y mínimos correspondientes a las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 h, permite visualizar el rango de valores de concentración que ha presentado la contaminación por ozono a lo largo de la serie de tiempo analizada.

El diagrama de caja utilizado en la serie de gráficos de la figura 21, es un gráfico esencial en el análisis exploratorio de datos, ya que resume de forma práctica la estadística resumen de un conjunto de datos como lo son los valores máximos y mínimos representados por los extremos en cada uno de los diagramas, las medidas de tendencia central como la media y mediana ubicadas en el rectángulo del diagrama.

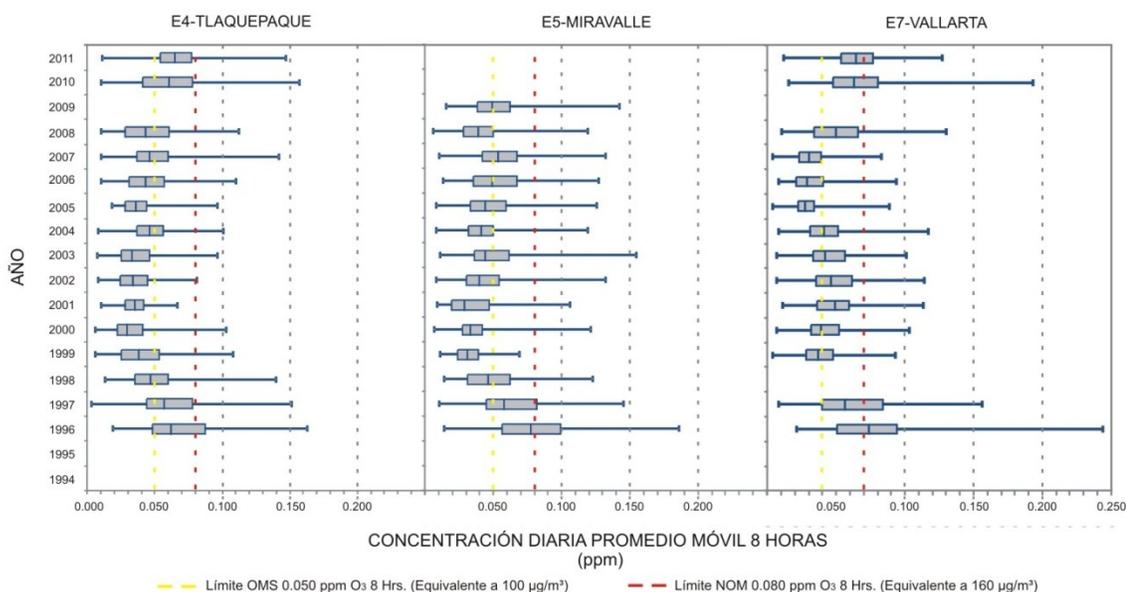


Figura 21: Valores máximos y mínimos de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O_3 en la ZMG. Elaboración propia con datos del SIMAJ para O_3 .

El comportamiento de los valores máximos fue muy similar entre las estaciones, excediendo en más del doble el valor estándar de 0.080 ppm contemplado en la normatividad mexicana. Aunque de manera particular dichos valores máximos fueron inferiores al valor normado solo en E4-Tlaquepaque y E5-Miravalle en particular para los años 2001 y 1999.

Por otro lado el comportamiento de los valores mínimos estuvo muy por debajo de valor normado. A manera de comparativa la figura anterior ilustra además del límite establecido en la normatividad mexicana, el valor de referencia de la OMS (0.050 ppm) solo para ilustrar que son varios los años en que más del 50% de las concentraciones diarias exceden este límite. También en el gráfico

se observa una ligera tendencia a la alza en los valores máximos a partir del 2007.

Valor promedio del promedio móvil.

El promedio al ser una medida de tendencia central informa sobre el dato que ocupa la posición central en una distribución. Como indicador el promedio se refiere a la concentración representativa de la serie de datos. De esta forma la figura 22 ilustra en línea azul el valor promedio para cada uno de los años de la serie analizada y las áreas grises el rango de ocurrencia de las concentraciones diarias. El comportamiento anual del promedio de las concentraciones diarias observó una clara tendencia a la baja durante los tres primeros años del periodo analizado. De manera general estos valores se mantienen por debajo del valor de referencia de la OMS, mostrando una importante recuperación a partir de los 4 últimos años en que de nueva cuenta los valores promedio incrementan sus concentraciones llegando a superar la referencia de la OMS.

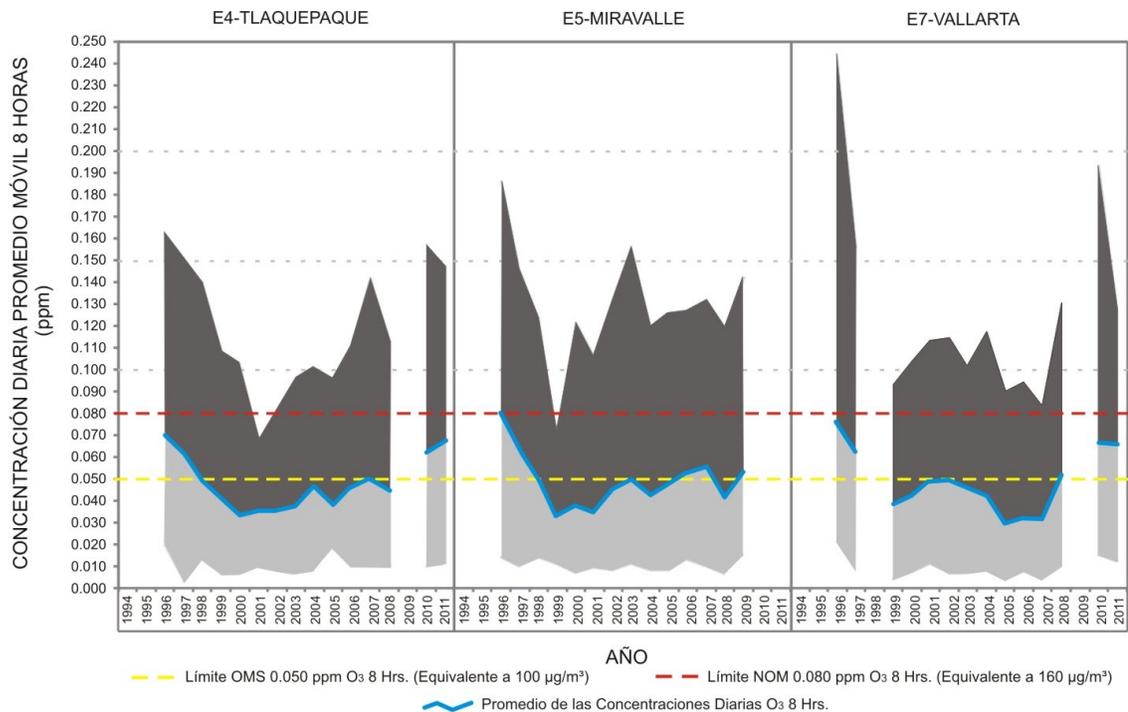


Figura 22: Promedio de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O₃ en la ZMG.

Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

Promedio hora a hora.

La figura 23 ilustra el comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para un día típico. Al ser el ozono un contaminante secundario el comportamiento de las concentraciones a lo largo del día es la a la baja de las 00:00 a las 11:00 horas periodo en que la intensidad de la radiación solar como catalizador en la producción de este contaminante no es tan importante. A partir de las 12:00 horas la concentración de este contaminante se dispara y alcanza su pico máximo entre las 16 y 19 horas con un valor de 0.047 ppm, para luego descender de manera abrupta hasta terminar el día, como consecuencia de la ausencia de la radiación solar; de forma comparativa este valor es muy cercano al límite especificado por la OMS.

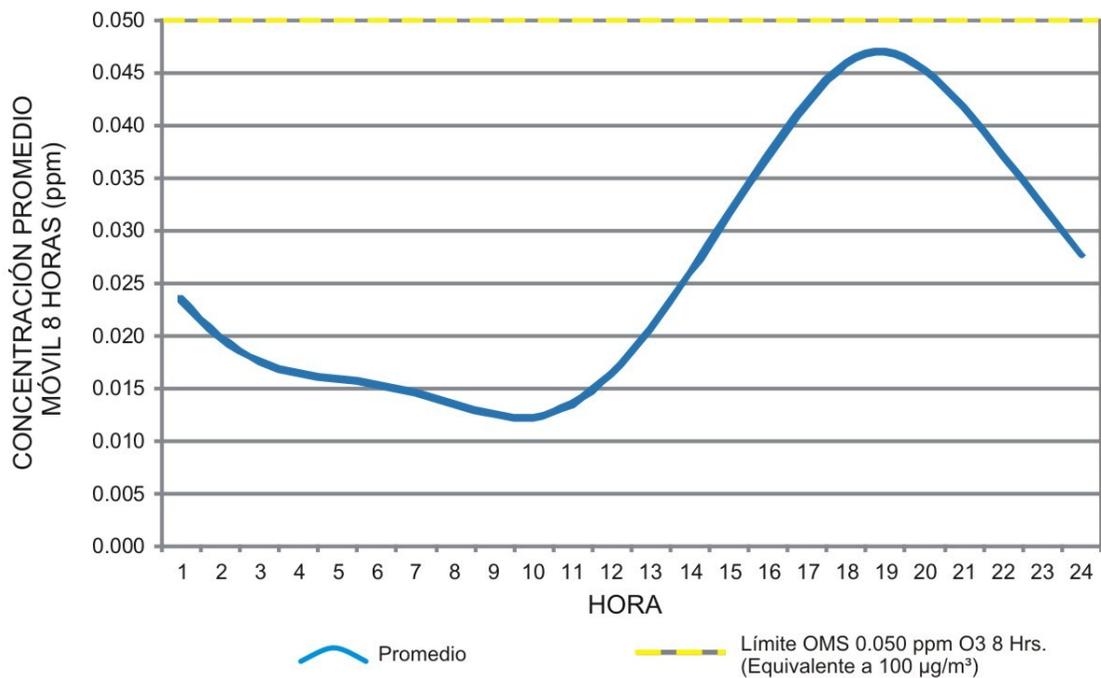


Figura 23: Comportamiento hora a hora de los promedios móviles de 8 horas referente a O₃ en la ZMG.
Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

Promedio día a día.

El propósito de este indicador es analizar el comportamiento de las concentraciones diarias del promedio móvil en 8h a lo largo de una semana típica. Los resultados de este indicador no muestran algún patrón específico a

la dinámica que ocurre durante la semana. El rango de concentraciones osciló entre 0.0491 ppm - 0.0505 ppm, con apenas una diferencia de 0.0014 ppm, lo cual indica que la concentración de ozono en el transcurso de la semana es prácticamente homogénea; dichos valores son de relevancia si se comparan con el valor de referencia de la OMS (figura 24).

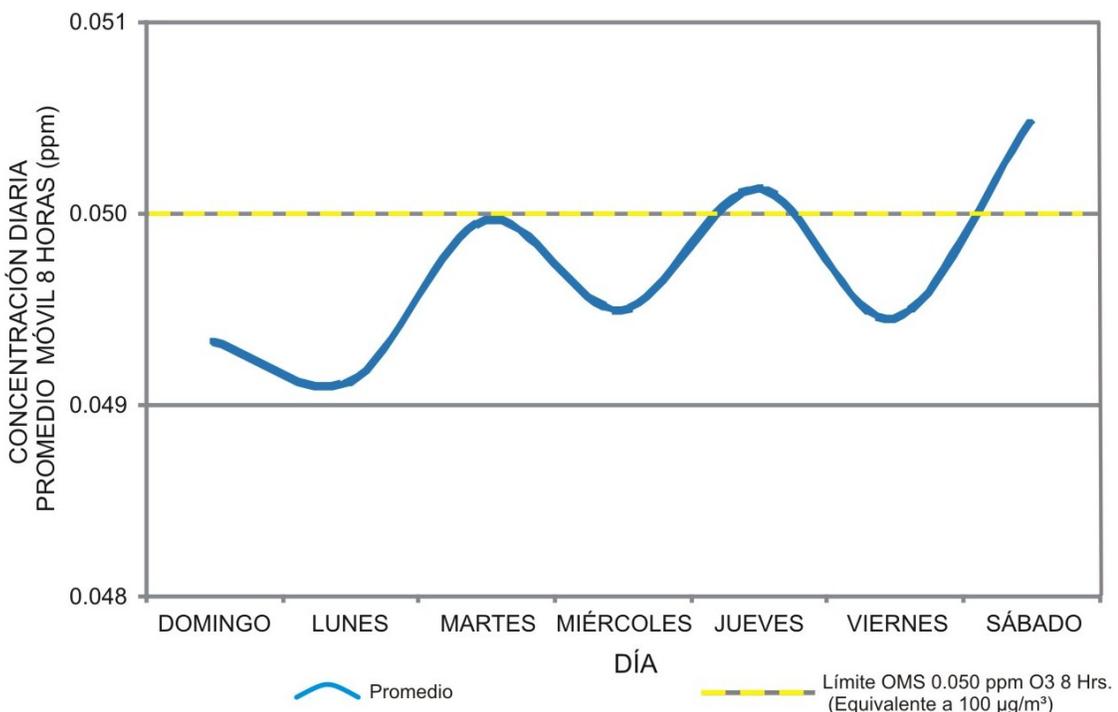


Figura 24: Comportamiento día a día de los promedios móviles de 8 horas referente a O₃ en la ZMG.
Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

Promedio mes a mes.

El conocer el comportamiento de las concentraciones diaria de los promedios móviles de 8h para cada uno de los meses del año, proporcionó información de la dinámica de la contaminación durante un año típico.

De igual manera de forma comparativa se ilustra en la figura 25 el valor límite de referencia de la OMS así como el valor normado en México. Del gráfico se observó que el valor promedio alcanza su pico máximo de concentraciones durante el mes de mayo que de acuerdo a la climatología de la zona de estudio es el mes con mayor intensidad de radiación solar durante el año.

Posteriormente en los meses de junio - septiembre se distinguió un descenso del promedio en las concentraciones, que coincide con transcurso del temporal lluvias. Para los meses siguientes se registró una pequeña recuperación compatible con las estaciones de otoño e invierno donde las lluvias descienden de manera considerable. Sin embargo para este mismo periodo el extremo de los valores máximos de los promedios, registraron un comportamiento antagónico, incluso excediendo el valor normado en el mes de diciembre.

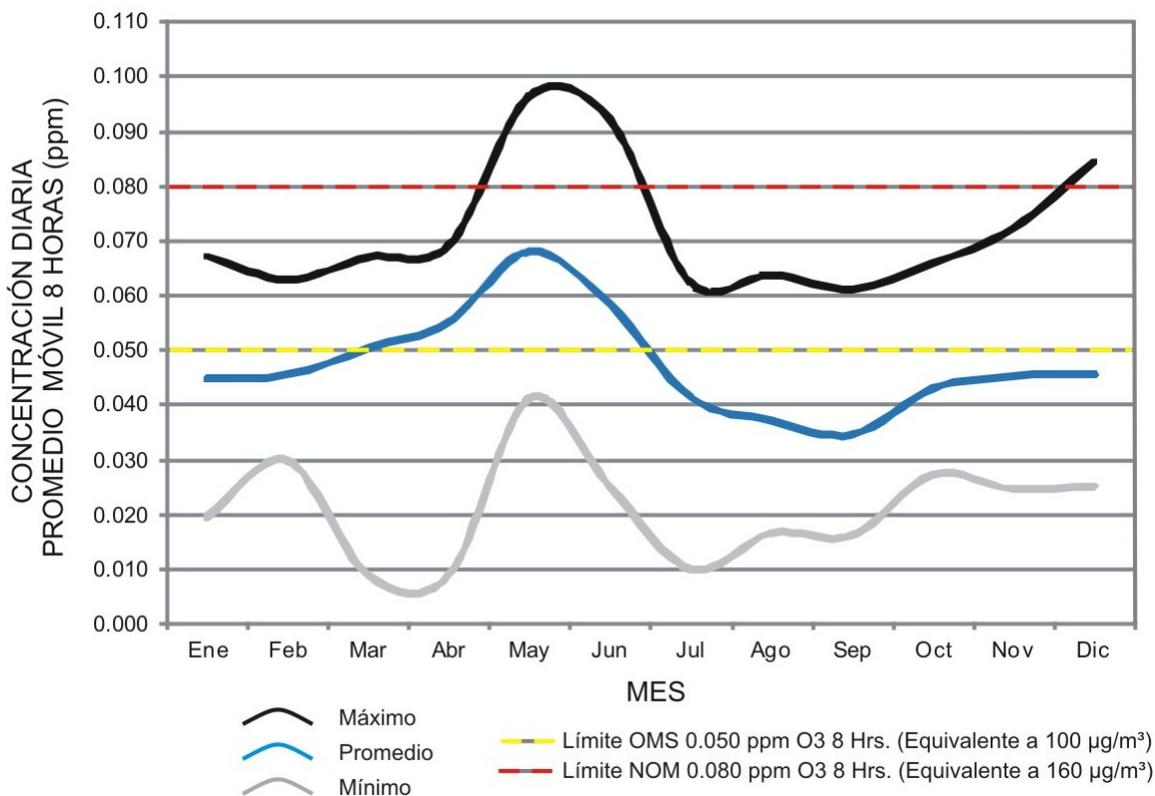


Figura 25: Comportamiento mes a mes de los promedios móviles de 8 horas referente a O₃ en la ZMG.

Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

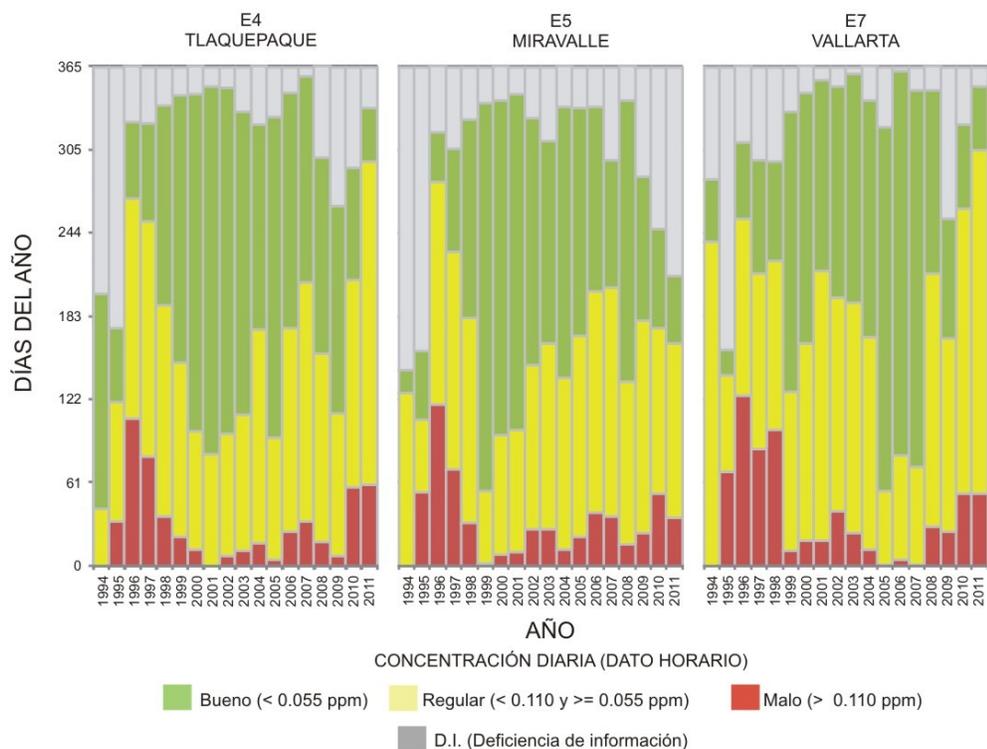
Respecto al rango de los valores promedio, los que se ubican debajo del mismo, presentaron un incremento notable y sostenido a partir del mes de septiembre con concentraciones no tan despreciables en comparación a las que se registran en los meses más cálidos del año.

9.2.3 Tendencia de las concentraciones de O₃.

Este indicador al estar basado en la distribución de intervalos de las concentraciones diarias, propuestos a partir de los límites recomendados tanto por la normativa mexicana así como el por la OMS, permite diferenciar cualitativamente la calidad del aire a lo largo de la serie de tiempo analizada.

Intervalos de concentraciones diarias (dato horario).

Los resultados de este indicador tomaron como base de los intervalos el límite de 0.110 ppm especificado por en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993. Este análisis mostró concordancia con los indicadores de impacto a la salud, pues la mayoría de días con una mala calidad del aire se registró en el año de 1996. De manera general también se observó que en la mitad de los días del año la calidad del aire es de mala a regular. Con las barras en gris el grafico también ilustra como la deficiencia de información se incrementa a partir de 2008, indicando un posible deterioro de los aparatos de monitoreo (figura 26).



**Figura 26: Tendencias de las concentraciones diarias del dato horario referente a O₃ en la ZMG (1994-2011).
Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃**

Intervalos de concentraciones diarias (promedio móvil de 8 horas).

Los resultados de este indicador al tomar como base de los intervalos el límite de 0.05 ppm recomendado por la OMS, reveló un escenario crítico para la calificación anual de la calidad del aire a lo largo del periodo analizado, pues dicho límite es más estricto que el valor equiparable mexicano de 0.080 ppm en ocho horas. Similar a indicadores anteriores sobresalen los años de 1996, 2010 y 2011 con una mala calidad del aire. De manera general se visualizó que solo en 1/3 del año la calidad del aire es buena y la proporción restante la calidad del aire se calificó de mala a regular (figura 27). En esta imagen también se volvió a identificar mediante las barras en color gris, como la deficiencia de información aparece de manera más notable y se incrementa a partir de 2008.

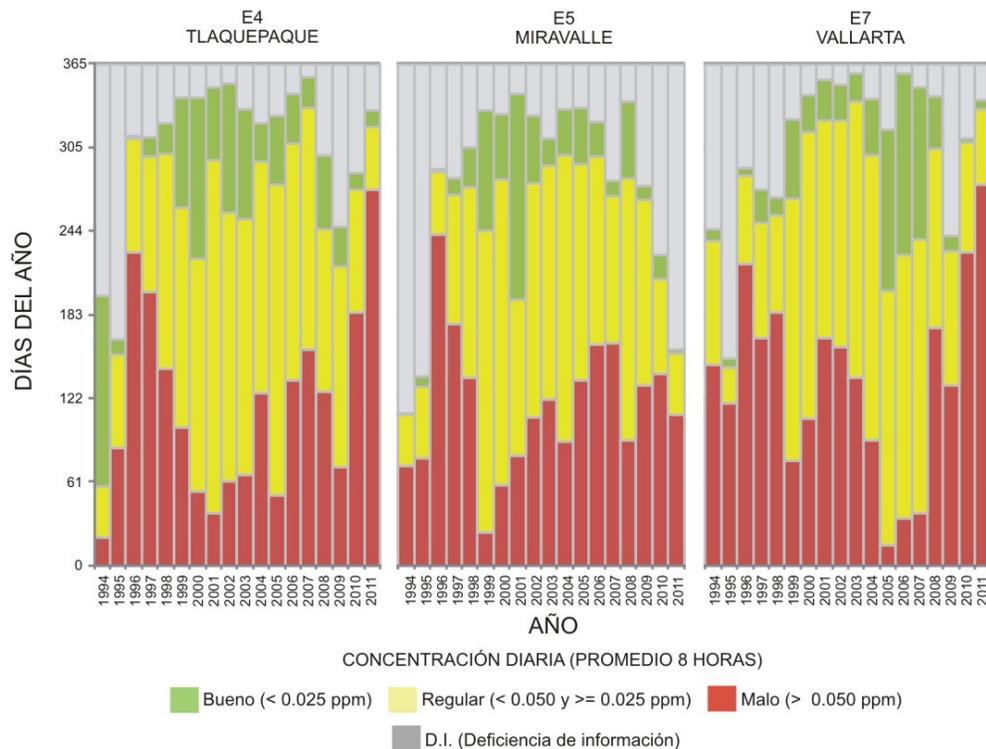


Figura 27: Tendencias de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas referente a O₃ en la ZMG (1994-2011). Elaboración propia con datos del SIMAJ para O₃.

9.3 Carga ambiental de la fracción de riesgo ozono en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La tendencia de la mortalidad por Enfermedades respiratorias y cardiovasculares identificada para la Zona Metropolitana de Guadalajara mediante los datos consultados en la base de datos de egresos hospitalarios por mortalidad en formato de cubo dinámico del Sistema Nacional de Información en Salud de la Secretaría de Salud Federal, se mostró a la alza a lo largo del periodo estudiado (figura 28). También se observaron varios incrementos notables en 1996, 1999, 2003, 2005 además del más considerable y sostenido en un periodo de tres años correspondiente a 2009-2011. Lo anterior se mostró de manera similar para ambos grupos de enfermedades, aunque fue más extendido el rango de incrementos, para el grupo de las enfermedades respiratorias.

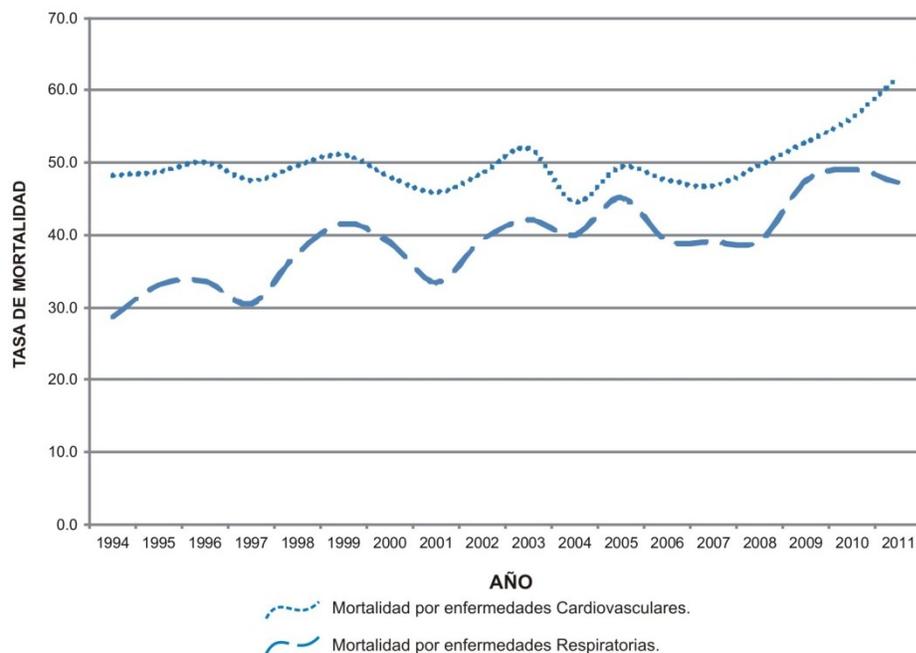


Figura 28: Tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG.

Elaboración propia.

Una vez identificada la tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares se aplicó el EBD para tener una mejor descripción de esta tendencia, entorno a la participación de las concentraciones

ozono, como factor de riesgo. Los resultados del método aplicado expresaron estimaciones positivas para el promedio anual (concentraciones diarias, promedio móvil 8h) con concentraciones mayores a 0.050 ppm (cuadro 26, filas en rojo). En particular los años 1996-1997 y 2010-2011 presentaron las estimaciones más altas que concuerdan con las concentraciones anuales más altas registradas en el periodo analizado. Por otro lado 2003, 2007 y 2009 que apenas exceden el 0.050 ppm sugieren estimaciones menores.

Cuadro 26: Estimación de la carga ambiental para enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG, considerando las concentraciones de O₃ troposférico como fracción de riesgo.

Año	Concentración promedio anual ¹		Riesgo Relativo ² (RR)	Fracción Atribuible (AF)	Estimación Carga Ambiental de la Enfermedad (E) ³	Intervalo de confianza 95% (IC) ³	
	ppm	µg/m ³					
1994	D.I. ⁴	D.I. ⁴	0.9166771	-0.090897		F.N.A.	
1995	D.I. ⁴	D.I. ⁴	0.9166771	-0.090897		F.N.A.	
1996	0.073	143	1.0383227	0.0369083	984	627	1,326
1997	0.062	122	1.0193179	0.0189518	480	304	649
1998	0.050	97	0.9975719	-0.002434		F.N.A.	
1999	0.038	74	0.9778326	-0.02267		F.N.A.	
2000	0.034	67	0.9719644	-0.028844		F.N.A.	
2001	0.035	69	0.9731751	-0.027564		F.N.A.	
2002	0.039	77	0.9801787	-0.020222		F.N.A.	
2003	0.057	111	1.0099781	0.0098795	333	211	451
2004	0.045	89	0.9902868	-0.009808		F.N.A.	
2005	0.041	79	0.9823025	-0.018016		F.N.A.	
2006	0.048	95	0.995452	-0.004569		F.N.A.	
2007	0.053	103	1.0027912	0.0027834	90	57	122
2008	0.044	87	0.9884025	-0.011734		F.N.A.	
2009	0.054	106	1.0052136	0.0051865	198	125	268
2010	0.065	127	1.0239992	0.0234368	942	598	1,272
2011	0.066	129	1.0251403	0.0245238	1,029	653	1,389
				Total*	4,055	2,575	5,477

Elaboración propia.

*F.N.A. = Fracción No Atribuible.

¹Promedio anual en ppm convertido a µg/m³ equivalencia 1.000 ppm = 1,960 µg/m³.

²Función RR = exp[β (X - X₀)]

³Coefficiente β sugerido 95% IC = 0.87 (0.55, 1.18). Meta-análisis Bell, Dominici, & Samet (2005); nivel de referencia 0.050 ppm en 8 horas equivalente a 100 µg/m³ con incrementos de 0.001 ppm.

⁴D.I. Deficiencia de información.

Así el método sugiere para la Zona Metropolitana de Guadalajara se esperaría un valor total acumulado de 4,055 muertes (I.C. 95% 2,575 – 5,477) por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, donde las concentraciones de O₃ (promedio de 8 horas) pudieron haber participado como una fracción de riesgo atribuible a la carga ambiental de dichas enfermedades.

Contrastando el número de muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares rescatados de la Secretaria de Salud (2012), con la tendencia del número de casos esperados en base a la metodología de la carga ambiental, en la figura 29 se observa una correspondencia descriptiva, con los años que superaron los 0.050 ppm móvil en 8 horas y que además resultaron con valores positivos en la estimación de la EBD descrita anteriormente en el cuadro 26.

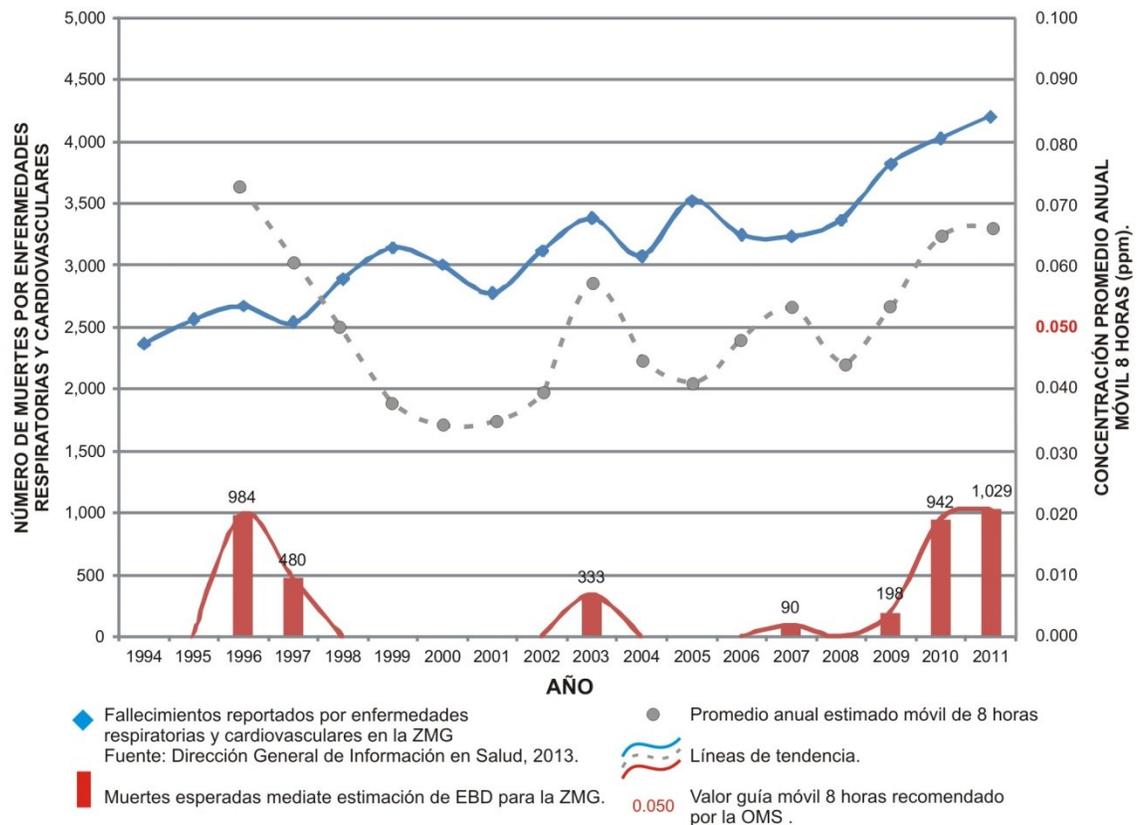


Figura 29: Carga ambiental de la fracción de riesgo ambiental ozono y su posible contribución en el número de muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la ZMG.

Elaboración propia con datos de la Secretaria de Salud y del SIMAJ.

10 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Las mediciones de Ozono, considerado contaminante criterio, atiende a la preocupación creciente de las grandes ciudades acerca de la evaluación de los efectos de la contaminación del aire para la salud y el bienestar de los seres humanos (INECC, 2013; Molina y Molina, 2001; WHO, 2000). Este contaminante del aire se comenzó a medir en la ZMG, de manera constante, a partir de 1994 con el inicio de operaciones del SIMAJ, con el propósito de generar información confiable relacionada con los niveles de contaminación, a través del monitoreo de la calidad del aire como parte de la gestión y la mejora del medio ambiente (SEMADET, 2013; INE, 2010a).

El resultado del análisis del desempeño histórico en la ZMG realizado en esta investigación, refleja lo distante de cumplir el propósito planteado en el párrafo anterior, pues aunque 5 estaciones cumplen la suficiencia para estimar la concentración diaria del dato horario, solamente 3 de las 8 estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco a lo largo de los 18 años analizados, han generado información suficiente y confiable referente al contaminante ozono, que permita generar la concentración diaria de los promedios móviles de 8 horas, y por tanto identifica valores de exposición más constantes y concordantes de acuerdo a las evaluaciones que se generan a nivel internacional y que en su discusión consideran este tipo de dato como más relevante en cuestiones de exposición tales como los meta-análisis de Bell, et al. (2005) Levy, et al. (2005) y de la World Health Organization (WHO, 2004).

Lo antepuesto, complementa las deficiencias encontradas en los equipos de monitoreo del parámetro ozono, en la auditoría de 2009 realizada por el INE (2011), y se concuerda con el hecho de que las 8 estaciones históricas del SIMAJ realmente requieren de atención. Esta evidencia, sugiere que en el ámbito político, la calidad del aire ha perdido la atención de los tomadores de decisiones y de la población, aun cuando han ocurrido situaciones muy sensibles y visuales de contaminación reavivan este interés, como los incendios

en el Bosque de la Primavera y las contingencias ambientales consecuentes. Para recuperar y mantener el interés político y social, una recomendación para la SEMADET es, que en las pantallas informativas que comunican el IMECA y los niveles de contaminación específicos para cada contaminante, se publiquen a la par, los riesgos asociados para la salud humana asociados a los niveles de concentración muestreados en los equipos de monitoreo, esto permitirá ir sensibilizando a la población, sobre esta problemática.

En este mismo contexto y tomando en cuenta que el identificar la información suficiente y confiable, permite a científicos, legisladores y autoridades encargadas de proteger a ambiente, tomar las decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente, identificar áreas donde ocurren los problemas más severos en el contexto tanto local como nacional, así como evaluar la situación de la contaminación atmosférica para comunicar al público la calidad del aire que se respira (Zuk, Tzintzun-Cervantes, & Rojas-Bracho, 2007; Mitosek, 1996). El haber realizado el análisis del desempeño y la calidad de la información que genera el SIMAJ, robustece los datos usados como base para ésta investigación, pues el trabajo realizado por Pinal (2009) ya señalaba que el desarrollo de indicadores de salud ambiental en la ZMG se enfrentaba a la falta de información confiable.

Así pues, además de evidenciar las deficiencias en el monitoreo, la información resultante del análisis de desempeño, significó una fortaleza para esta investigación, ya que la información recabada de las estaciones E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta, puede ser considerada como representativa de las concentraciones de ozono en la ZMG, pues metodológicamente cumplen con los criterios de cantidad y calidad de la información necesaria para la generación de indicadores de impacto a la salud, comportamiento y tendencia, de acuerdo a lo especificado por el Instituto Nacional de Ecología (2010d). Suma a la representatividad, que dichas estaciones se localizan en la porción Sur y Noroeste de la ciudad, las cuales

históricamente se ha mencionado como relevantes en torno a la contaminación por ozono (Pinal, 2009; Tereshchenko y Figueroa, 1999; Michel, 1983; Figueroa, 2005). Reconociendo la oportunidad de trabajar en subsecuentes estudios, más específicos, con la población aledaña a dichas estaciones de monitoreo, que seguramente permitirá comprender aún mejor la relación entre la salud y el contaminante ozono.

Aun en este propósito, el excluir a 5 estaciones E1-Atemajac, E2-Oblatos, E3-Loma Dorada, E6-Las Águilas y E8-Centro, y sólo considerar a aquellas que contaron con la información necesaria para el periodo de tiempo analizado, evitó que las estaciones incluidas para el cálculo de indicadores, fueran incomodados por las diferencias de los datos y así, ser sensibles a los cambios reales que la calidad del aire ha mostrado de manera histórica, de acuerdo a las características de un buen indicador señaladas por la WHO (1999) y el Instituto Nacional de Ecología (2010d).

De manera particular, si en las estaciones E1-Atemajac, E6-Las Águilas y E8-Centro, que estuvieron muy cerca de cumplir un desempeño histórico bueno, bastaría con una mejora de 1 a 4 años en su desempeño, para que aporten una mayor cantidad de datos para el desarrollo de indicadores. Mientras que la E2-Oblatos y E3-Loma Dorada, requieren realmente de una mayor atención, pues sus desempeños son los más bajos del SIMAJ y con esto incumplen el objetivo de garantizar el diagnóstico y la vigilancia del estado de la calidad del aire, señalado en el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (2003).

En resumen la mayoría de los desempeños anuales malos y regulares por estación de monitoreo, generalmente incidieron en los dos primeros años de operación (1994 y 1995), lo que podría haber estado ligado a una inadecuada fase de capacitación del personal y de normalización de los equipos (Korc, 1999), pues el Programa Nacional de Monitoreo (2003) reconoce el inicio de operaciones del SIMAJ fue a partir de 1996. Posteriormente a este periodo,

disminuyen significativamente las deficiencias en el monitoreo, sin embargo esto no ocurrió en todas las estaciones, lo que permitió diferenciar claramente a las 5 estaciones excluidas que no consiguieron lograr una constancia en la mejora de su desempeño, el cual, evidentemente no fue atendido.

Por último alrededor del desempeño del monitoreo, a partir de 2008 vuelven a aparecer años con desempeños malos y regulares, incluso en aquellas que operaban de buena manera, esto se puede atribuir a la antigüedad del equipo de monitoreo, pues el cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire (INE, 2011) señala que el Sistema de Monitoreo Ambiental es un instrumento que data de 1993 y su vida útil es de 15 años, es decir, debió ser renovado en 2008.

Por otro lado, particularmente de la problemática en torno a al ozono, diversos estudios, principalmente basados en análisis relacionados a las concentraciones por encima de la norma nacional de una hora en un año (0.110 ppm), que solo han requerido de la información de los datos horarios, señalan que este criterio normado, se rebasa en promedio el 30% de los días en un año y al menos el 27.7% de los habitantes en los municipios que la conforman estuvieron expuestos a este nivel de concentración, mientras que para el límite también normado y establecido en un promedio de 8 horas, se aludió que en 2009 la ZMG, ya rebasaba a las demás ciudades del país, lo que la situaba como la Zona Metropolitana con mayores niveles de concentración de ozono en México (Comission for Environmental Cooperation, 2006; Pinal, 2009; INE, 2011). Los resultados mostrados en este análisis difieren un poco, en torno a lo mostrado en los indicadores de impacto a la salud, que están relacionados con los criterios normados. En ellos se expresó que el porcentaje de días en que se rebasa la norma señalada, en promedio es del 14% de los días en un año.

La diferencia de entre estos dos resultados es imputable a la exclusión de estaciones de monitoreo que se realizó en función del desempeño histórico y

anual de cada estación de monitoreo. El no considerar a 5 estaciones sin duda redujo la cantidad de datos disponibles, sin embargo el utilizar únicamente a estaciones que por cada año de operación recabaron la información suficiente y representativa, aseguró una mayor certeza de la situación real de la contaminación por ozono. Por tanto, lo realizado, aboga una mejor y mayor representatividad de la situación de la exposición al ozono de los habitantes en la ZMG. Cabe señalar que aunque no fue objetivo de esta investigación, el comparar lo resultante de los indicadores, con los de otras ciudades, la información que se generó en cada indicador, puede ser comparable en posteriores investigaciones con cualquier otra ciudad de la república mexicana, que cumpla con el proceso metodológico que plantea el INE para la generación y cálculo de indicadores, que permitirá obtener mejores comparaciones.

Lo que sí es concordante con los estudios señalados, es que constantemente en la ZMG se rebasa el nivel de 0.110 ppm en una hora, pues solamente este valor puede ser superado una vez al año (DOF, 2002), y estos indicadores evidencian que en todos y cada uno de los años revisados, es decir, desde 1998 a 2011, al menos una estación incumple el criterio de 0.110 ppm. De la misma forma el indicador “quinto máximo”, equiparable al segundo criterio normado de 0.080 ppm en 8 horas, cuya permisiva es de hasta 4 días al año, en al menos una estación, durante todos los años del periodo analizado, mostro la misma constancia de incumplimiento.

En tanto al comportamiento del ozono, la literatura indica que los niveles altos aparecen durante los meses más cálidos; también muestran fuertes pautas diurnas, siguiendo los patrones de emisión de luz del sol y del transporte (Patz et al., 2000). Particularmente en la ZMG, se ha referido que las horas en que ocurren las concentraciones máximas de ozono parecen abarcar el intervalo de las 13-15 hrs en invierno; y en verano cuando la radiación solar es más intensa, mientras que el intervalo de la ocurrencia de las altas concentraciones de ozono se extiende de las 13-18 hrs (Figuroa, 2005; Davydova-Belistkaya, 1999). Por

tanto cuando estas condiciones se presentan son lo suficientemente favorables para catalizar a los elementos precursores como NO_x y COV's formadores de ozono, lo cual, resalta la importancia de mitigar sobre estos precursores, y así directamente, mitigar la contaminación por ozono.

En el presente trabajo el comportamiento del ozono mediante el indicador "promedio hora a hora", mostró que el patrón diurno coincide con lo señalado, pues a partir de las 12:00 horas la concentración de este contaminante se dispara y alcanza su pico máximo de 0.047 ppm (concentración diaria de los promedios móviles de 8h) entre las 16 y 19 horas, lo que muestra que en un día típico en la ZMG la población pudiera estar expuesta a este nivel de contaminación, que además la sitúa en un escenario riesgoso pues se encuentra apenas 0.003 ppm por debajo de los recomendado por la OMS (0.050 ppm). Lo anterior toma relevancia pues este valor se encuentra dentro del rango de exposición ponderado para ozono estimado por el INE en la ZMG (0.041–0.051 ppm) en su último reporte de la calidad del aire de 2011, que vuelve a sumar a la representatividad de los datos generados en esta investigación, con estaciones de buen desempeño anual e histórico .

Otro dato relevante a considerar entorno al comportamiento del ozono, es que si bien el patrón de comportamiento durante el año es concordante con la literatura señalada, lo realizado también mostro que el rango de los valores promedio mínimos registrados, presentó un incremento notable y sostenido a partir del mes de septiembre con concentraciones no tan despreciables en comparación a las que se registran en los meses más cálidos del año. Mientras que para este mismo periodo, el extremo de los valores máximos de los promedios mensuales, registraron un comportamiento antagónico, pues también fueron considerablemente altos para el mes de diciembre, donde las temperaturas son bajas. Además en el año de 1999 para la E7-Vallarta se alcanzó la concentración máxima anual de 0.145 ppm ocurrida en el mes de enero. Lo antepuesto se puede relacionar el número de inversiones térmicas

pues estas son importantes al atrapar los contaminantes y el incremento de estos eventos en este periodo (GEJ/ SEMARNAP/INE, 1997).

Aún en este tenor del comportamiento, los datos encontrados mostraron que las concentraciones de ozono no obedecen al patrón de transporte, pues el “indicador día a día” no probó un patrón específico acorde a la dinámica según los días de laborales y de descanso en la ciudad, respecto a los estudios contrastados (CEJ, 2012; Córdova, 2007; Parra y Gámez, 2005). Es importante señalar que lo expuesto, no demerita la relevancia de los incrementos del parque vehicular así como de la cantidad de las emisiones que generaron, ni mucho menos el gran aporte de ellas, en la problemática de la contaminación por ozono (CEJ, 2012; Curiel y Garibay, 2008), sino que lo mostrado en este análisis, sugiere que las emisiones de precursores para la generación de ozono, del transporte en general, día a día, son muy similares en la ZMG.

En lo que se refiere a la tendencia de la contaminación por ozono en el área estudiada, los análisis realizados anteriormente señalaban que la exposición promedio anual a este contaminante aumentó 27%, reconociéndose que la contaminación por ozono ha empeorado en los últimos años afectando la salud ambiental de la ZMG (INE, 2011; Pinal y Curiel, 2009; Curiel, 2009). Lo resultante en esta investigación además de concordar con lo anterior, reveló que la tendencia de las concentraciones diarias, al ser divididas en intervalos de concentración, tomando en cuenta los límites referente al ozono por la NOM para el dato horario y lo recomendado por la OMS para el promedio en 8 horas, en dos terceras partes del año, dichas concentraciones comprendieron el rango de clasificación de malo a regular, esto es equivalente a concentraciones mayores a 0.055 ppm en una hora y concentraciones mayores de 0.025 en promedio de 8 horas, lo que sin duda presenta un peligro constante que se puede traducir en una exposición continua y prolongada a este contaminante.

Los resultados señalados, también permitieron respaldar lo destacado por Tereshchenko & Filonov (1997), que describen las elevadas concentraciones de ozono ocurridas en 1996 y lo atribuyeron a la presencia de smog fotoquímico sobre la ZMG, pues en el histórico de datos analizados en este estudio, 1996 de igual forma, se presentó como el peor año en todos los indicadores analizados. Posterior a esto, en el periodo 1999-2009 los resultados se mostraron disminuciones en los niveles de concentraciones que se reflejó en todos los indicadores, pero no en la desaparición de la problemática. Estas disminuciones pudieron estar relacionadas al establecimiento e implementación de políticas relacionadas a esta problemática, como el programa de mejoramiento de la calidad del aire en la ZMG de 1997 y el programa de acción: Salud ambiental (SS, 2002), así como a la mejora de los combustibles y la implementación de tecnologías de control de emisiones contaminantes (Figueroa, 2005).

Comparativamente, en los últimos dos años del periodo analizado correspondientes a 2010 y 2011, los niveles de concentraciones de ozono vuelven a mostrar aumentos muy notables, que pudieron estar relacionados al fenómeno de “La Niña” registrado durante el mismo periodo 2010-2011 (NOAA, 2011), el cual generalmente tiende a reducir el periodo de lluvias, generando con ellos una mayor cantidad de días secos en el transcurso del año. Esto posicionó a 2010 y 2011 únicamente por debajo a lo mostrado en 1996 referente a esta problemática de contaminación.

En tanto a la estimación de la carga ambiental de enfermedad, no se identificó algún trabajo similar que haya realizado con dicho método, para la zona de estudio. De manera general, estas estimaciones se expresaron con valores positivas cuando el promedio anual (concentraciones diarias, promedio móvil 8h) superó los 0.050 ppm. Esto se exhibió en particular para los años 1996 (0.073 ppm), 1997 (0.062 ppm), 2003 (0.057 ppm), 2007 (0.053 ppm) 2009 (0.054 ppm), 2010 (0.065 ppm) y 2011 (0.066 ppm). De estos años, 1996, 2003 y de 2009 a 2011 (figura 27), coinciden con notables incrementos en número de

muerres por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, tomando como referencia a los casos registrados en el histórico de la Dirección General de Información en Salud (2013).

El resultado con valores positivos en la carga ambiental para el 2007, no mostró un considerable incremento en el número de muerres. Tal vez por apenas rebasar el umbral propuesto por la OMS de 0.050 ppm, en contraste con el 0.053 ppm registrado en este año. Por lo que se sugiere, que esta concentración aun no es distintiva en los incrementos mostrados, y por tanto los valores arriba de esta cifra, son los que pueden ser considerados como más representativos a los incrementos en el número de muerres.

Como caso particular, 1997 difirió con la tendencia mostrada en toda la serie analizada. A pesar de haber registrado una concentración de 0.062 ppm, no se observó un incremento notable en el número de muerres en comparación con lo registrado en la Dirección General de Información en Salud (2013). Además no se observó concordancia alguna con las tendencias de contaminación, pues respondiendo a esta concentración, y como se apreció con otras. En base a la metodología utilizada en este trabajo, no se tiene una respuesta congruente, quedando pendiente una vez que se cuente con un sistema de vigilancia epidemiológica del sistema de salud, que cuente con estadísticas más fina respecto a los lapsos de tiempo en que los servicios de salud reportan las incidencias de dichas enfermedades la autoridad correspondiente. En todo caso, aun cuando el número de muerres por enfermedades respiratorias y cardiovasculares no mostró un incremento en base a las concentraciones de ozono registradas, existieron en este año eventos climáticos extremos, que en algunos estudios, se refieren como factores que inciden en dichas enfermedades (Seinfeld y Pandis, 1998; Levy et al., 2005; Ebi y McGregor, 2008), que tampoco se ve reflejado en un incremento según el registro del sistema de salud.

En respaldo a lo anterior, lo ocurrido en 1999 y 2005 se tornó muy relevante en esta parte de la investigación, pues fueron años en los que si se mostraron incrementos notables en el número de muertes de la Dirección General de Información en Salud (2013), los cuales pudieran estar más relacionados a la variabilidad climática y a la contaminación por partículas suspendidas menores a 10 μm acontecida en esos años, de acuerdo a lo señalado por Parada en 2012. Respecto a la estimación de la carga ambiental, en estos años esta resultó negativa, pues el promedio anual fue apenas de 0.038 ppm y 0.041 ppm respectivamente para esos años. En apoyo a estos resultados, los indicadores analizados en este estudio revelaron condiciones por debajo de los criterios definidos para dichos indicadores.

Finalmente, anteriormente a este análisis, los estudios habían presentado asociaciones de los valores de ozono con algunas enfermedades respiratorias (Curiel, 2009) y cardiovasculares (Parada, 2012), estas se realizaron utilizando el incremento en la frecuencia de exposición a valores fuera de norma de ozono, del criterio permitido en 1 hora. Lo evidenciado en este trabajo plantea la oportunidad que además de utilizar el criterio de una hora, en posteriores estudios se incluya el trabajar con las concentración provenientes de los promedio móviles en 8 horas, pues estos representan una concentración que si no es muy extrema, presentó la bondad de ser más constante y sensible durante el día, además de que se mostró más sensata en torno a un acercamiento de exposición real en la población, que quedó evidenciada con la estimación de la carga ambiental de la enfermedad.

Cabe señalar que en todo lo anterior siempre se consideró que el aire que se respira, es una mezcla de contaminantes, los cuales conllevan la interacción de diversas sustancias entre sí, generándose situaciones de potenciación de los efectos, adición o incremento de estos o posiblemente en algunos casos, antagonismo de efectos lo que disminuiría el efecto en la población expuesta (Bateson y Schwartz, 2004). Debido a esto, en ningún momento se supuso que

existen concentraciones sin riesgo, pues al existir una mezcla de contaminantes, se puede desconocer sus efectos aditivos o potencializados y sus daños a la salud.

En complemento con el párrafo anterior, el método EBD permite considerar que no todas las enfermedades dependen de un solo factor de riesgo, por lo que se deben analizar múltiples riesgos o fracciones, ya que muchos factores de riesgo importantes no crean por sí mismos casos de enfermedad, sino que actúan en conjunción con otros peligros o condiciones (Prüss-Üstün et al., 2003). De tal manera que al analizar un solo riesgo como en este caso fue el ozono, no significa que este factor es el único responsable en la aparición de efectos a la salud analizados, si no que la extracción o disminución de este factor ambiental reducirá la frecuencia de enfermedad, según la estimación, en al menos 4,055 muertes (I.C. 95% 2,575 – 5,477) por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y con esto alterar a otras fracciones de la carga de enfermedad que pueden ser atribuidos a los factores de riesgo restantes y que no fueron considerados en este estudio.

Adicionalmente es necesario recordar y considerar que los fallecimientos son la parte más álgida de los efectos a salud por la contaminación del aire, por lo que es necesario reflexionar, que seguramente existieron una mayor cantidad de signos y síntomas que afectaron a una gran parte de la población principalmente de niños, mujeres embarazadas, personas con afecciones respiratorias y ancianos con enfermedades crónicas, pues son los primeros en manifestar una serie ordenada de la gravedad de las consecuencias de la contaminación del aire, tal y como lo comenta Ballester (1999), aun en concentraciones no tan elevadas.

Finalmente, la tendencia de las concentraciones de ozono y la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares mostraron una tendencia muy similar, que se ve reflejada en los indicadores, concentración máxima horaria,

número y porcentaje de horas arriba del límite de la norma, número y porcentaje de días arriba del límite de la norma, quinto máximo, valor promedio del promedio móvil, e intervalos de concentración. La estimación del método EBD, que aunque presentó algunas dificultades limitantes para la escala local, principalmente la de obtener un valor de concentración para toda la población en la ZMG, este método coadyuvó para describir de mejor manera, la magnitud del problema de salud que implica el ozono como una fracción de riesgo ambiental, ozono. Pues como se ha descrito en el marco teórico de este documento, la vía causal entre el riesgo ambiental y la aparición de la enfermedad es compleja y por tanto complicada de establecer, además todavía no hay datos probatorios sobre muchas enfermedades.

En este mismo contexto, esta investigación demuestra la necesidad de persistir en la atención para mejorar las condiciones de calidad del aire y las estrategias de comunicación de riesgos, concretamente de la contaminación atmosférica por ozono en la ZMG. Además, aunque en México la norma para O₃ de la Secretaría de Salud ha sido actualizada en 2002, la presente evaluación despliega una pauta, para que los niveles establecidos en dichas normas, se traten de armonizar con las normas y guías internacionales particularmente con la de la OMS, evaluando a la par, las posibilidades reales que tiene la ZMG para mejorar el monitoreo de ozono y cumplir una nueva regulación, que en conjunción con programas y estrategias aseguren su cumplimiento y por tanto la protección a la salud del ambiente y por consecuencia de la población.

11 CONCLUSIONES

- La información correspondiente a ozono que genera el Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco, presenta una importante insuficiencia de información, que no permite generar indicadores de la calidad del aire que incluyan las estaciones de toda la red de monitoreo de acuerdo al desempeño histórico de la red.
- 5 de las 8 estaciones (E1-Atmeajac, E3-Loma Dorada, E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta) mostraron un desempeño bueno para la concentración diaria del dato horario, lo que representa fuentes información suficiente para evaluar el criterio de 0.110 ppm en una hora de la normativa vigente en México.
- Solo 3 estaciones (E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta) mostraron un desempeño histórico bueno en la medición de dicho contaminante con información suficiente y confiable para las concentraciones diarias móviles de 8 horas; que representan en términos de exposición e impacto a la salud una mayor sensibilidad para evaluar tendencias.
- Las estaciones de monitoreo E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta, representan una buena condición para en base a su información, generar indicadores de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara, representativos y confiables, que faciliten las tareas de comparación y conclusiones del estado que guarda la contaminación del aire a nivel nacional.
- Las estaciones E4-Tlaquepaque, E5-Miravalle y E7-Vallarta, pueden ser utilizadas en estudios puntuales cuyo objetivos sean ahondar en la relación del ozono y los efectos a la salud en la zona Sur y Oeste de la ciudad.
- La mejora a corto y mediano plazo en el desempeño en la E1-Atmeajac, E6-Las Águilas y E8-Centro significaría una mayor representatividad en los indicadores de calidad del aire referentes a ozono.

- Las estaciones E2-Oblatos y E3-Loma Dorada que presentaron los desempeños más bajos del SIMAJ, requieren de mayor atención para que puedan generar información suficiente y de calidad referente a ozono.
- Los indicadores utilizados revelaron que la tendencia de las concentraciones diarias de ozono en la ZMG, son de regulares a malas, pues en por lo menos en alguna estación de monitoreo, consecutivamente desde 1998 a 2011 han superado los valores límites (0.110 ppm en una hora y 0.080 ppm promedio móvil 8 horas) especificados en la modificación a la NOM-020-SSA1-1993 de Salud Ambiental y el criterio (0.050 ppm en 8 horas) recomendado por la Organización Mundial de la Salud.
- En un día promedio en la Zona Metropolitana de Guadalajara la concentración de ozono (promedio móvil de 8 horas) es de 0.047 ppm, esto representa 0.003 ppm apenas por abajo de lo recomendado por la OMS (0.05 ppm), lo que representa un riesgo constante para la población.
- Además de los meses de mayo y junio, las concentraciones diarias promedio de ozono, incrementan su rango máximo y mínimo en los meses de noviembre y diciembre, lo que podría ser considerado en investigaciones que consideren la estacionalidad de la mortalidad y/o morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas a este contaminante.
- De acuerdo con la estimación de la carga ambiental de la enfermedad cuando las concentraciones anuales son superiores a los 0.053 ppm (promedio de 8 horas), se muestra de mejor manera la participación del ozono, como una de las fracciones de riesgo atribuibles a los incrementos en la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la Zona Metropolitana de Guadalajara.
- Los años de 1997, 2003, 2007, 2009, 2010 y 2011 pueden ser claves para entender la relación entre la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares y la contaminación por ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

12 BIBLIOGRAFÍA

- ANPE Galicia. (Enero de 2010). *Sindicato de Profesores*. Recuperado el 23 de Enero de 2013, de Datos: <http://www.anpegalicia.com/datos/anpe/cie9.pdf>
- ARAGONAIRE. (Febrero de 2013). *La Calidad del Aire en Aragón*. Obtenido de El Ozono: http://www.aragonaire.es/ozone.php?n_action=types
- Arbex, M., Santos, U., Martins, L., Saldiva, P., Pereira, L., & Braga, A. (Septiembre-Octubre de 2012). Air pollution and the respiratory system. *Journal Brasileiro de pneumologia*, 38(5), 643-655.
- Atkinson, R., Yu, D., Armstrong, B., Pattenden, S., Wilkinson, P., Doherty, R., y otros. (19 de Julio de 2012). Concentration–Response Function for Ozone and Daily Mortality: Results from Five Urban and Five Rural U.K. Populations. *Environmental Health Perspective*, 120(10), 1411-1417.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159-175.
- Ballester, F., Tenías, J., & Pérez-Hoyos, S. (Marzo-Abril de 1999). Efectos de la contaminación Atmosférica sobre la Salud: Una Introducción. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 109-121.
- Bateson, T., & Schwartz, J. (Marzo de 2004). Who is Sensitive to Effects of Particulate Pollution on Mortality? *Epidemiology*, 15(2), 143-149.
- Bell, M., & Davis, D. (Junio de 2001). Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution. *Environmental Health Perspectives*, 109(Supple 3), 389–394.
- Bell, M., & Samet, J. (2010). Contaminación del Aire. En H. Frumkin (Ed.), *Salud Ambiental de lo Global a lo Local* (S. d. McGraw-Hill Interamericana Editores, Trad., págs. 359-393). Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud.

- Bell, M., Dominici, F., & Samet, J. (2005). A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. *Epidemiology*, *16*(4), 436-445.
- Bell, M., McDermott, A., Zeger, S., Samet, J., & Dominici, F. (17 de Noviembre de 2004). Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *The Journal of the American Medical Association*, *292*(17), 2372-2378.
- Bernard, S., Samet, J., Grambsch, A., Ebi, K., & Romieu, I. (May de 2001). The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. *Environmental Health Perspectives*, *109* (Suppl 2), 199-209.
- Bufalini, J., Finkelstein, P., & Durman, E. (1989). *Air Quality, in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency.
- CARB. (1989). *Draft Criteria for evaluating air quality-related indicators*. California, USA: California Air Resources Board.
- Carlsen, H., Forsberg, B., Meister, K., Gíslason, T., & Oudin, A. (8 de Abril de 2013). Ozone is associated with cardiopulmonary and stroke emergency hospital visits in Reykjavík, Iceland 2003-2009. *Environmental Health: A global Access Science Source*, *12*:28, doi: 10.1186/1476-069X-12-28.
- Castleman, W., Dungworth, D., Schwartz, L., & Tyler, W. (1980). A cute respiratory bronchioli. An ultrastructural and autoradiographic study of epithelial cell injury and renewal in rhesus monkeys exposed to ozone. *American Journal Of Pathology*, *98*, 811-840.
- CEJ. (2010). *Inventario de Emisiones de Contaminantes de los Vehículos Automotores en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara, Jalisco: Colectivo Ecologista Jalisco A.C. / The William and Flora Hewlett Foundation.
- CEJ. (2012). *Más de una década de aire sucio en nuestra ciudad, 2000-2010*. Guadalajara, México: Colectivo Ecologista Jalisco, A.C. y Fundación William y Flora Hewlett.

- CENMA. (2003). *Elaboración de Reglamentos y Protocolos de Procedimientos para el aseguramiento del Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos*. Santiago de Chile: Centro Nacional de Medio Ambiente / Universidad de Chile.
- CEPIS. (1999). *Programa de Control de Contaminación del Aire*. Lima, Perú: OPS.
- Cifuentes, L., Borja-Aburto, V., Gouveia, N., Thurston, G., & Devra, D. (2001). Assessing the Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2002-2020): Santiago, Sao Paulo, México City and New York City. *Environ Health Perspect*, 109, 419-425.
- Cody, R., Weisel, C., Birnbaum, G., & Liroy, P. (Junio-Agosto de 1992). The effect of ozone associated with summertime photochemical smog on the frequency of asthma visits to hospital emergency departments. *Environmental Research*, 58(1-2), 184-194.
- COEPO JAL. (30 de Junio de 2007). *Consejo Estatal de Población*. Obtenido de Carpetas Municipales: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcoepo.app.jalisco.gob.mx%2Fswf%2FCarpetas%2520municipales%2Fzapotlanejo%2F3Proyeccionesd epoblacion.xls&ei=XdgGUsrkBq_22AWJkoH4Ag&usg=AFQjCNERnp04HXgq3PwtMt80
- Comission for Environmental Cooperation. (30 de Sep de 2006). *Comission for Environmental Cooperation*. Obtenido de The North American Mosaic: An Overview of Key Environmental Issues: www.cec.org/Storage/32/-2355_SOE_Ground-levelOzone_en.pdf
- Coordinación General del Sistema Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1980). Carta de Climas 1:1'000,000.
- Córdova, M. (. (2007). Movilidad urbana sustentable para la zona conurbada de Guadalajara. *IV Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual* (págs. 393-428). Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.

- Corvalán, C., Briggs, D., & Zielhuis, G. (2000). *Decision making in environmental health. from evidence to action*. New York, USA: Organización Mundial de la Salud.
- Curiel, A. (2009). Medio ambiente: más allá de los recursos naturales. En V. González, C. Anguiano, & H. Gutierrez (Edits.), *2 Décadas en el Desarrollo de Jalisco 1990-2010* (págs. 45-62). Guadalajara, México: Gobierno de Jalisco / Secretaría de Planeación.
- Curiel, A. (2010). Medio ambiente: más allá de los recursos naturales. En GEJ, V. González, C. Anguiano, & H. Gutierrez (Edits.), *2 décadas en el desarrollo de Jalisco 1990 - 2010* (págs. 45 - 62). Guadalajara, Jalisco, México: Secretaría de Planeación.
- Curiel, A. (2010). Tendencias de la Salud Ambiental en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En S. Antonio (Ed.), *La Ciencia desde Jalisco; Memorias de los coloquios, resultados de investigación* (págs. 61-76). Guadalajara, Jalisco: Academia Jaliscience de Ciencias y COECYTJAL.
- Curiel, A., & Garibay, G. (2008). *Contaminantes atmosféricos en la zona metropolitana de Guadalajara de impacto en la salud ambiental*. Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Davis, D. (2002). The Great Smog. *History Today*, 11(2), 2-3.
- Davydova-Beliskaya, V. (1999). Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara, Jalisco México. Tesis profesional de Doctorado en Ciencias de la Tierra. . 158 pp. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15(2), 103-111.
- Davydova-Beliskaya, V. (2004). Microclima y situación ecológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. En G. López, & J. Guerrero, *Ecología urbana de la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara: Agata - Universidad de Guadalajara.
- Davydova-Beliskaya, V., & Skiba, Y. (1999a). Memorias IX Congreso Nacional de Meteorología. *Estimación de los niveles de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco* (págs. 140-143). Guadalajara, México: OMAC / Universidad de Guadalajara.

- Davydova-Belistkaya, V., & Skiba, Y. (Febrero de 1999b). Climate of Guadalajara city (Mexico), its variation and change within latest 120 years. *World Resource Review*, 11(2), 158-270.
- Decaini, A. (1997). *Manual ISO-9000* (Tercera ed.). México, D.F.: Ediciones Castillo.
- DGCNICA/INE/SEMARNAT. (2003). *Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico*. México, D.F: Instituto Nacional de Ecología.
- Diaz, S. (1946). *Geografía general y física del Estado de Jalisco*. Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Dirección General de Información en Salud (DGIS). (21 de Diciembre de 2012). *Sitio Oficial de la Sistema Nacional de Información en Salud de la Secretaría de Salud Federal*. (S. d. Salud, Editor) Recuperado el 21 de Dic de 20112, de Base de Datos de Egresos Hospitalarios Por Mortalidad En Instituciones Públicas Del Sector Salud, 1994-2011: http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/eh_sectorial_morta.html
- Dirección General de Información en Salud. (19 de Enero de 2013). *Sistema Nacional de Información en Salud*. (Secretaría de Salud) Recuperado el 22 de Enero de 2013, de BAse de datos de defunciones generales 1994-2011: <http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/defunciones.html>
- DOF. (1994a). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993*. México D.F. 23 de diciembre de 1994: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (1994b). *Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993*. México D.F. 23 de Diciembre de 1994: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (1994c). *NOM-023-SSA1-1993*. México, D.F. 23 de diciembre de 1994: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (1994d). *NOM-026-SSA1-1993*. México, D.F. 23 de diciembre de 1994: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2002). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993*. México, D.F. 30 de Octubre de 2002: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2002). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993*. México, D.F. 30 de Octubre de 2002: Diario Oficial de la Federación.

- DOF. (2005). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993*. México D.F. 26 de Septiembre de 2005: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010*. México, D.F. 8 de Septiembre de 2010: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010*. México, D.F. 8 de Septiembre de 2010: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2013). *NORMA Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-2012, Para la vigilancia epidemiológica*. México, D.F. 19 de febrero de 2013: Diario Oficial de la Federación.
- Ebi, K., & McGregor. (Noviembre de 2008). Climate Change, Tropospheric Ozone and Particulate Matter, and Health Impacts. *Enrimental Health Perspectives*, 116(11), 1449-1455.
- EC. (03 de 07 de 2013). *European Comission*. Obtenido de Air quality: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- EPA. (19 de Agosto de 2010). *U.S Environmental Protection Agency*. Obtenido de Ozone: <http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh/ozone.pdf>
- EPA. (Oct de 2011). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de Air and Radiation: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- EPA. (2012 de Abril de 2012a). *U.S. Environmental Protection Agency*. Recuperado el 23 de Enero de 2013, de Six Common Air Pollutants: <http://www.epa.gov/airquality/urbanair/>
- EPA. (01 de Septiembre de 2012b). *U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de Ground-level Ozone: <http://www.epa.gov/air/ozonepollution/basic.html>
- EPA. (11 de 06 de 2013). *U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de Technology Transfer Network National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_history.html
- Figuroa, A. (Nov de 2005). Tesis de Doctorado. *Investigación de los Patrones Meteorológico-Climáticos y los Patrones de Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitan de Guadalajara*. Guadalajara, Jalisco, México.

- Filippidou, E., & Koukouliata, A. (2011). Ozone effects on the respiratory system. *Progress in Health Sciences*, 1(2), 144-155.
- Folinsbee, L., McDonnell, W., & Donald, H. (1 de Octubre de 1988). Pulmonary Function and Symptom Responses after 6.6-Hour Exposure to 0.12 ppm Ozone with Moderate Exercise. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 28-35.
- Frischer, T., Kuehr, J., Pullwitt, A., Meinert, R., Forster, J., Studnicka, M., y otros. (1993). Ambient Ozone Causes Upper Airways Inflammation in Children. *American Review of Respiratory Disease*, 148(4 (Part 1)), 961-964.
- Frumkin, H. (2010). Introducción. En H. Frumkin (Ed.), *Salud Ambiental de lo Global a lo Local* (S. d. McGraw-Hill Interamericana Editores, Trad., pág. 1267). Washington, D.C: Organización Panamericana de la Salud.
- Gauderman, W., McConnell, R., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., y otros. (Octubre de 2000). Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 162(4 Pt1), 1383-1390.
- Gay, C. (2000). *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México.
- GEJ /SEMARNAP / INE. (1997). *Programa de mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (07 de Abril de 2007). *Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable*. (G. d. Sustentable, Ed.) Recuperado el 11 de Septiembre de 2011, de Generalidades de la RAMAG:
<http://capturportal.jalisco.gob.mx/wps/wcm/connect/c627cb00406294688068948ee5502f24/ramag.pdf?MOD=AJPERES>
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2013). *Gobierno del Estado de Jalisco*. Recuperado el 2013 de Junio de 20, de Visita Jalisco:

http://visita.jalisco.gob.mx/wps/portal/ptc/destinosyatractivos/zonacentro/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gzb2djr1AXEwMDSycXA0-TQJMgY28vx7BAU6B8JJK8v6-ro4GnhY9_gLeHgVmYlykB3eEg-5BUuJu5AFU4u_gGeYUEGjiGmqHJYzEfJG-AAzga6Pt55Oem6hfkRhhkBqQrAgBcbKHL/dl

- Gong, H., Wong, R., Sarma, R., Linn, W., Sullivan, E., Shamoo, D., y otros. (1998). Cardiovascular Effects of Ozone Exposure in Human Volunteers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 158(2), 538-546.
- Gourevtch, D. (1995). [Hippocratic medicine and the treatise *Airs, waters and places*. A short history of the beginnings and influence of a scientific error]. *Medicina nei secoli*, 7(3), 425-433.
- Guerrero, L., & León, A. (Sep-Dic de 2008). Aproximación al concepto de salud. Revisión histórica. *Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 18(53), 610-633.
- Hernández-Cadena, L., Téllez-Rojo, M., Sanín-Aguirre, L., Lacasaña-Navarro, M., Campos, A., & Romieu, I. (Julio-Agosto de 2000). Relationship between emergency consultations for respiratory diseases and air pollution in Juarez City, Chihuahua. *Salud pública de México*, 42(4), 288-297.
- INE. (2010a). *Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- INE. (2010b). *Manual 2. Sistemas de medición de la calidad del aire*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- INE. (2010c). *Manual 3. Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- INE. (2010d). *Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- INE. (2011). *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología.

- INECC. (05 de Julio de 2013). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de Calidad del aire en México: <http://www.inecc.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>
- INEGI. (1 de Julio de 2011). *Instituto Nacional de Geografía y Estadística*. Obtenido de Mortalidad: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/defunciones.aspx?tema=P>
- INEGI. (2013a). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 25 de Enero de 2013, de Censos y Conteos de Población y Vivienda: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/>
- INEGI. (2013a). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 10 de Abril de 2013, de Censo de Población y Vivienda 2010: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- INEGI. (1 de Marzo de 2013b). *Instituto Nacional de Geografía y Estadística*. Recuperado el 10 de Abril de 2013, de Mortalidad: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/mortalidad/tabulados/ConsultaMortalidad.asp>
- Ion-Nedelcu, N., Nițescu, M., Caian, M., Bacruban, R., & Ceașu, E. (2008). Effect of air pollution upon the hospitalization for acute lower respiratory tract infections among the Bucharest municipality's residents. *Bacteriologia, Virologia, Parazitologia, Epidemiologia*, 53(2), 117-20.
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: Informe de síntesis*. Wembley, Reino Unido: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2011). *Anexo B. Glosario de términos*. Recuperado el 02 de NOVIEMBRE de 2011, de <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Jaramillo, F., Rincón, A., & Posadas, F. (2006). *Toxicología Básica*. Aguascalientes, México: Universidad Autónoma de Aguascalientes / Universidad de Guadalajara / Universidad Juárez del Estado de Durango.

- Jauregui, E., Godinez, L., & Cruz, F. (1992). Aspects of heat-islands in Guadalajara, México Atmospheric Environment. *Urban Atmosphere*, 26b(3), 391-396.
- Kehrl, H., Vincent, L., Kowalsky, R., Horstman, D., O'Nei, I. J., McCartney, W., y otros. (1987). Ozone exposure increases respiratory epithelial permeability in humans. *American Review of Respiratory Disease*, 135(5), 1124-1128.
- Khare, M., & Nagendra, S. (2007). Artificial Neural Networks in Vehicular Pollution Modelling. (J. Kacprzyk, Ed.) *Studies in Computational Inteligence*, 41, 1-6.
- Korc, M. (1999). *Monitoreo de la calidad del aire en América Latina*. Lima, Perú: Oorganización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
- Last, J. (2001). *A dictionary of epidemiology*. New York: Oxford University Press / International Epidemiological Association.
- Levy, J., Chemerynsky, S., & Sarnat, J. (Jul de 2005). Ozone exposure and mortality - An empiric Bayes metaregression analysis. *Epidemiology*, 16(4), 458-468.
- Loomis, D., Borja-Aburto, V., Bangdiwala, S., & Shy, C. (1996). *Ozone exposure and daily mortality in Mexico City: a time-series analysis*. Boston, USA: The Health Effects Institute.
- Mage, D., Ozolins, G., Peterson, P., Webster, A., Orthofer, R., Vanderweerd, V., y otros. (1996). Urban Air Pollutions in Megaities of the World. *Atmospheric Environment*, 30(5), 681-686.
- Martínez, A., & Romieu, I. (1997). *Introducción al Monitoreo Atmosférico*. México, D.F.: Hermes Impresores.
- Martinez, E., Quiroz, C., Daniels, F., & Montoya, A. (2007). *Contaminación Atmosférica y Efectos sobre la Salud de la Población de Medellín y su área metropolitana*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Mehta, S., Shin, H., Burnett, R., North, T., & Cohen, A. (Marzo de 2013). Ambient particulate air pollution and acute lower respiratory infections: a

- systematic review and implications for estimating the global burden of disease. *Air Quality and Atmosphere Health*, 6(1), 69-83.
- Michel, J. (1983). *La contaminación atmosférica y la salud: la relación que existe entre la contaminación atmosférica de Guadalajara y la salud de su población*. Guadalajara, México: Centro de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad de Guadalajara.
- Ministerio de Salud de Argentina. (Agosto de 2011). *Ministerio de Salud - Provincia de Buenos Aires*. Recuperado el 23 de Enero de 2013, de Estado de Salud: <http://www.ms.gba.gov.ar/EstadodeSalud/cie10/cie10.pdf>
- Mitosek, G. (1996). A New Approach to Designing of Air Quality Monitoring Networks in Urban Areas. En I. Allegrini, & F. De-Santis (Edits.), *Urban Air Pollution* (Vol. 8, págs. 115-123). Roma, Italia: Springer.
- Molina, L., & Molina, M. (2001). *Air quality in the México Megacity*. Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology / Kluwer Academic Publishers.
- Mudway, I., & Kelly, F. (Feb-Abr de 2000). Ozone and the lung: a sensitive issue. *Molecular Aspects of Medicine*, 21(1-2), 1-48.
- Najera, C. (2005). Análisis de ozono de troposfera baja registrado en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Tesis profesional posgrado en Hidrometeorología*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Nemery, B., Hoet, P., & Nemmar, A. (2001). The Muse Valley Fog of 1930: An Air Pollution Disaster. *Lancet*, 357, 704-708.
- NOAA. (20 de Octubre de 2011). *World Meteorological Organization*. (N. O. Administration, Editor) Recuperado el 11 de Septiembre de 2013, de Media Centre: http://www.noaanews.noaa.gov/stories2011/20111020_winteroutlook.htm
- OMS. (1946). *Carta Magna*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

- OMS. (1993). *Nuestro planeta, nuestra salud: Informe de la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la OMS*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud.
- OMS. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe*. Ginebra, Suiza: OMS Oficina Regional Europa.
- OMS. (2004). *Informe de salud en el mundo 2004*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2005). *The Commission on Social Determinants of Health*. Genova, Italia: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2006a). *Guías de la Calidad del Aire OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2006b). *Ambientes Saludables y Prevención de Enfermedades. Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Resumen de orientación*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2009a). *Global Health Risk. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2009b). *Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud Informe Final: Subsana las desigualdades en una generación*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud / Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud.
- OMS. (Septiembre de 2011). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Centro de Prensa: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS. (12 de Julio de 2013). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de The top 10 causes of death: <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/index.html>
- OMS. (2013). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Temas de salud: http://www.who.int/topics/respiratory_tract_diseases/es/

- OMSb. (12 de Julio de 2013). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Enfermedades cardiovasculares: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/es/
- OMS-CEPIS. (2004). *Guías para la Calidad del Aire*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- ONU. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU. (1993). *Cumbre para la Tierra: Programa 21*. Ginebra: Organización de las Naciones Unidas.
- Ostro, B. (2004). *Outdoor air pollution : assessing the environmental burden of disease at national and local levels* (OMS Environmental Burden of Disease Series, No. 5 ed., Vol. Outdoor Air Pollution). (A. Prüss-Üstün, D. Campbell-Lendrum, C. Corvalán, & A. Woodward, Edits.) Ginebra, Suiza: World Health Organization.
- PAHO. (Septiembre de 2012). *Pan American Health Organization (PAHO)*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2013, de Curso de instrucción: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_epi/e/modulo5.html
- Parada, T. (2010). Efectos de la variabilidad climática en la salud: Las Infecciones Respiratorias Agudas en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Biología*. Zapopan, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Parada, T. (Noviembre de 2012). Variabilidad climática, Ozono, PM10 y Mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón y neumonías: zona metropolitana de Guadalajara 1996-2009. *Tesis profesional para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Salud Ambiental*. Zapopan, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Parra, J., & Gámez, E. (2005). Movilidad espacial de los trabajadores que laboran en la industria electrónica de la región metropolitana Guadalajara. *Carta económica regional*, 91, 51-60.

- Patz, J., McGeehin, M., Bernard, S., Ebi, K., Epstein, P., Grambsch, A., y otros. (Abr de 2000). The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108(4), 367-376.
- Peng, R., Samoli, E., Pham, L., Dominici, F., Touloumi, G., Ramsay, T., y otros. (1 de Jun de 2013). Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Air Quality, Atmosphere, & Health*, 6(2), 445-453.
- Pinal, G. (Enero de 2009). Indicadores de salud ambiental en materia de calidad del aire para la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Tesis Profesional para obtener el título de Maestro en Ciencias*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Pinal, G., & Curiel, A. (2009). Aire y Salud. En G. Garibay (Ed.), *Aire y Salud* (págs. 21-41). Guadalajara, México, Jalisco: Universidad de Guadalajara / Instituto de Medio Ambiente y Comunidades Humanas.
- Pönkä, A., & Virtanen, M. (Septiembre de 1996). Low-level air pollution and hospital admissions for cardiac and cerebrovascular diseases in Helsinki. *American Journal of Public Health*, 86(9), 1273-1280.
- Prüss-Üstün, A., Campbell-Lendrum, D., Corvalán, C., & Woodward, A. (Edits.). (2003). *Assessing the environmental burden of disease at national and local levels* (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 1 Introduction and methods ed.). Geneva: World Health Organization.
- Riojas, H., Hurtado, M., Idrovo, J., & Vázquez, H. (2006). *Estudio Diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología / Instituto Nacional de Salud pública.
- Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L., A, d. L., Junger, W., Vera, J., y otros. (Octubre de 2012). *Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study)*. Instituto Nacional de Salud Pública. Boston, USA: The Health Effects Institute.

- Romieu, I., Meneses, F., Sienna-Monge, J., Huerta, J., Ruiz-Velasco, S., White, M., y otros. (15 de Marzo de 1995). Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *American Journal of Epidemiology*, 141(6), 546-553.
- Ruidavets, J., Cournot, M., Cassadou, S., Giroux, M., Meybeck, M., & Ferrières, J. (8 de Febrero de 2005). Ozone air pollution is associated with acute myocardial infarction. *Circulation*, 111(5), 563-569.
- Ruíz, D. (2004). *Manual de Estadística*. Sevilla, España: Universidad Pablo de Olavide.
- Schwela, D. (Enero-Junio de 2000). Air pollution and health in urban areas. *Reviews on Environmental Health*, 15(1-2), 13-42.
- Scott, G., & Diab, R. (Oct de 2000). Forecasting air pollution potential: a synoptic climatological approach. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(10), 1831-1842.
- Secretaría de Salud. (01 de Julio de 2012). *Sistema Nacional de Información en Salud*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2012, de Mortalidad: <http://sinais.salud.gob.mx/mortalidad/>
- SEGOB. (2009). *Diagnóstico sobre la realidad social, económica y cultural de los entornos locales para el diseño de intervenciones en materia de prevención y erradicación de la violencia en la región centro: el caso de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco*. Secretaría de Gobernación, Comisión Nacional para Prevenir Erradicar la Violencia contra las Mujeres. México, D.F.: Gobierno Federal de México.
- Seinfeld, J., & Pandis, S. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Nueva York: Wiley.
- SEMADET. (Marzo de 2013). *Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial*. Recuperado el 02 de Septiembre de 2013, de Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/>
- SEMARNAT. (2007). *Plan Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. México D.F.: Gobierno Federal de México.

- SEMARNAT. (2008). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SIEJ. (31 de Octubre de 2011). *Gobierno del Estado Jalisco*. Recuperado el 21 de Junio de 2012, de Sistema de Información Estadística y Geográfica: <http://sieg.gob.mx/contenido/PoblacionVivienda/notacoepo201121.pdf>
- Smith, K., Corvalán, C., & Kjellström, T. (10 de Sep de 1999). How much global ill health is attributable to environmental factors? *Epidemiology*, 10(5), 573-84.
- Srebot, V. G., Rainaldi, Trivella, M., & Sicari, R. (Junio de 2009). Ozone and cardiovascular injury. *Cardiovascular Ultrasound*, 7(30), doi: 10.1186/1476-7120-7-30.
- Srebot, V., Gianicolo, E., Rainaldo, G., Trivella, M., & Sicari, R. (2009). Ozone and cardiovascular injury. *Casdiovascular Ultrasound*, 7(30), doi:10.1186/1476-7120-7-30.
- SS. (2002). *Programa de Acción Salud Ambiental*. México, D.F.: Secretaría de Salud, Gobierno Federal.
- SS. (2007). *Programa Nacional de Salud*. México, D.F.: Gobierno Federal de México.
- SSJ. (10 de Octubre de 2012). *Secretaría de Salud Jalisco*. Recuperado el 21 de Enero de 2013, de Contenidos de Estadística: http://www1.jalisco.gob.mx/wps/portal/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3ifEB8PY68glwMLf08XA08Dg2A3R3NXcws_A6B8JJK8v4mPsYGRm7-Po0uQq4FFgBkB3V76Uek5-UIAe8JBNiOpdQ82NAeaFObm4u7o7B7kbowmj8UmkLwBDuBooO_nkZ-bql-QG1EZ7KnrCAD-VFJQ/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3
- SSJ. (2013). *Secretaría de Salud Jalisco*. Recuperado el 24 de Enero de 2013, de Estadísticas e Indicadores: http://ssj.jalisco.gob.mx/sites/ssj.jalisco.gob.mx/files/princau_mortalidad_2011_gral.pdf
- Tapia, G. (Enero de 2006). Contaminación por ozono y su efecto a grupos vulnerables considerando a la ausencia escolar. *Teis profesional para*

- obtener el grado de Maestro en Ciencias*. Zapopan, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Tarlov, A. (1996). Social determinants of health: The sociobiological translation. En D. Blane, E. Brunner, & R. Wilkinson, *Health and Social Organization* (págs. 71-93). Londres: Routledge.
- Téllez-Rojo, M., Romieu, I., Polo-Peña, M., Ruiz-Velasco, S., Meneses-González, F., & Hernández-Avila, M. (Noviembre-Diciembre de 1997). Effect of environmental pollution on medical visits for respiratory infections in children in Mexico City. *Salud Pública de México*, 39(6), 513-522.
- Tereshchenko, I., & Figueroa, A. (1999). Estudio preliminar de las altas concentraciones de ozono y los efectos a la salud pública en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Memorias IX Congreso Nacional de Meteorología* (págs. 136-139). Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Tereshchenko, I., & Filonov, A. (1997). Acerca de las Causas de las Elevadas Concentraciones de Ozono en la Atmósfera en la Zona Metropolitana de Guadalajara, en octubre de 1996. *GEOS*, 17(2), 54-59.
- Ulloa, H., García, M., Pérez, A. M., & Ávila, D. (2011). Clima y radiación solar en las grandes ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco, México). *Investigaciones Geográficas*(56), 165-175.
- Wark, K., & Warner, C. (1976). *Air pollution: its origin and control*. New York, USA: Harper and Row Publishers Inc.
- Watkinson, W., Campen, M., Nolan, J., & Costa, D. (Agosto de 2001). Cardiovascular and systemic responses to inhaled pollutants in rodents: effects of ozone and particulate matter. *Environmental Health Perspectives*, 109((Suppl 4)), 539-546.
- WHO. (1993). *Basic epidemiology*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (1999). *Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies*. Geneva: World Health Organization.

- WHO. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe*. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series.
- WHO. (2001). *Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution*. WHO Working Group, WHO Regional Office for Europe. Bilthoven, Netherlands : World Health Organization.
- WHO. (2004). *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3)*. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.
- WHO. (2010). *Causes of death 2008: data sources and methods*. World Health Organization, Department of Health Statistics and Informatics. Geneva: World Health Organization.
- WHO/UNEP. (1992). *Urban air pollution in megacities of the world*. Blackwell, Oxford.: World Health Organization / United Nations Environment Programme.
- Zanobetti, A., & Schwartz. (1 de Oct de 2011). Ozone and Survival in Four Cohorts with Potentially Predisposing Diseases. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 184(7), 836-841.
- Zuk, M., Tzintzun-Cervantes, M., & Rojas-Bracho, L. (2007). *Tercer Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. México, D.F.: INE/SEMARNAT.
- Zuñiga, L. (1996). Aplicación del análisis factorial de las correspondencias al estudio de la contaminación en Guadalajara. *Tesis profesional Maestría en Matemáticas*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.