

2007-B

92337057

# **UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA SALUD

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL

*Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental*



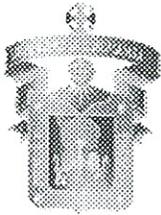
## **INDICADORES DE SALUD AMBIENTAL EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE PARA LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA  
GENOVEVA PINAL GOMEZ

ZAPOPAN, JALISCO.

Enero de 2009



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Centro Universitario de Ciencias de la Salud  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL**

**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 (la) pasante:

**GENOVEVA PINAL GÓMEZ**

Con el título:

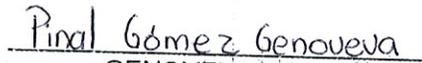
**INDICADORES DE SALUD AMBIENTAL EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE PARA LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

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

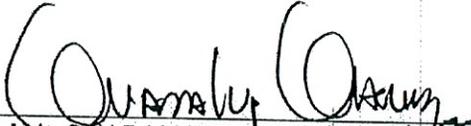
Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva brindar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

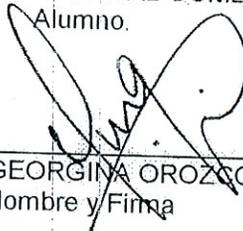
**ATENTAMENTE**  
Las Agujas, Zapopan, Jal. a 27 de Enero del 2009

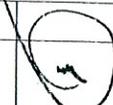
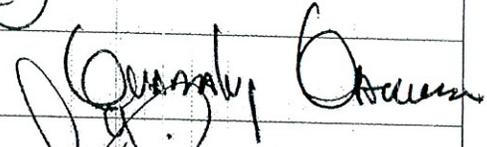
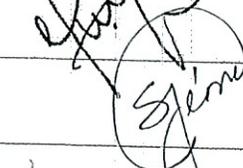
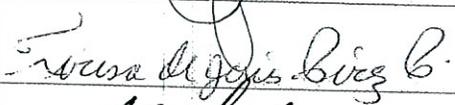
  
\_\_\_\_\_  
DR. ARTURO CURIEL BALLESTEROS  
Director del Trabajo de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
GENOVEVA PINAL GOMEZ  
Alumno.

Asesores:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MA. GUADALUPE GARIBAY CHÁVEZ  
Nombre y Firma

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARTHA GEORGINA OROZCO MEDINA  
Nombre y Firma

SINODALES	FIRMA
DR. ARTURO CURIEL BALLESTEROS	
DRA. MA. GUADALUPE GARIBAY CHÁVEZ	
DRA. MARTHA GEORGINA OROZCO MEDINA	
DRA. SILVIA GRACIELA LEÓN CORTÉS	
MCSA. TERESA DE JESUS PEREZ PATIÑO	
DRA. ROSA LETICIA SCHERMAN LEAÑO (Suplente)	

Zapopan, Jalisco, México.

**Director de la Tesis:**

Dr. Arturo Curiel Ballesteros

**Asesores:**

Dra. Guadalupe Garibay Chávez

Dra. Martha Georgina Orozco Medina

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los maestros compañeros y amigos quienes con su apoyo y conocimientos colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

Al doctor Arturo Curiel y a la doctora Guadalupe Garibay por compartir conmigo sus conocimientos y por su valioso apoyo.

A mi mama, a mis hermanas, a Caro, Sofí, Gaby y Ale por su cariño y paciencia en estos últimos años.

Gracias.

## Tabla de contenido

1. RESUMEN .....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. JUSTIFICACIÓN.....	8
4. OBJETIVOS .....	10
4.1. Objetivo General.....	10
4.2. Objetivos Específicos.....	10
5. MARCO TEÓRICO.....	11
5.1. Concepto de Salud Ambiental .....	11
5.2. Campo de la salud ambiental .....	12
5.3. Contaminación atmosférica y salud.....	14
5.4. El uso de indicadores como una herramienta en la Salud Ambiental: definiciones, características y beneficios.....	15
5.4.1. Definiciones para Indicador de Salud Ambiental.....	15
5.4.2. Beneficios de los indicadores .....	19
5.5. Modelos para la construcción de indicadores .....	19
5.5.1. Modelo PER (Presión –Estado-Respuesta).....	19
5.5.2 Modelo Fuerzas impulsoras- Presión-Estado-Exposición-Efecto- Acción.....	20
5.5.2.1 Fuerzas Impulsoras. ....	22
5.5.2.2 Indicadores de Presiones. ....	22
5.5.2.3 Indicadores de Estado.....	23
5.5.2.4 Indicadores de Exposición.....	23
5.5.2.5 Indicadores de Efectos.....	24
5.5.2.6 Indicadores de Acciones.....	24
6. METODOLOGÍA .....	26
6.1. Construcción de los indicadores .....	26
6.2. Pasos a seguir en la construcción de indicadores .....	27
6.2.1. Establecer los objetivos de los indicadores.....	27
6.2.2. Identificar los tipos de indicadores (Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos y Acciones).....	27
6.2.3. Revisar los criterios de calidad para la selección de indicadores.....	28

6.2.4.	Elaboración de la ficha técnica del indicador.....	29
6.2.5.	Diagrama estrella para la presentación de indicadores.....	30
7.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:.....	31
7.1.	Generalidades.....	31
7.2.	Características meteorológicas.....	32
7.3.	Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).....	33
7.4.	Morbilidad y mortalidad en la Zona Metropolitana de Guadalajara.....	34
7.5.	Calidad del aire.....	34
8.	RESULTADOS.....	36
8.1	Identificación de los indicadores.....	37
8.2	Evaluación de los indicadores a través de los criterios de calidad.....	37
8.1.	Fichas de los indicadores.....	40
8.1.1.	Indicadores de Fuerzas Impulsoras.....	40
8.1.2.	Indicadores de Presión.....	43
8.1.3.	Indicadores de Estado.....	45
8.1.4.	Indicadores de Exposición.....	49
8.1.5.	Indicadores de Efecto.....	51
8.2.	Diagrama estrella para la presentación de indicadores.....	54
9.	DISCUSIÓN.....	63
10.	CONCLUSIONES.....	66
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	68

## Índice de tablas

Tabla 1. Efectos potenciales en la salud por factores ambientales.....	13
Tabla 2. Contenido de una ficha de indicador de salud ambiental .....	29
Tabla 3. Normas mexicanas para la calidad del aire .....	34
Tabla 4. Indicadores de salud ambiental identificados para la ZMG en materia de aire, a través del modelo D-P-S-E-E-A.....	37
Tabla 5. Evaluación de los indicadores a través de los criterios de calidad .....	38

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Modelo Presión-Estado- Respuesta. ....	20
Ilustración 2. Modelo Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos, Acciones. ....	22
Ilustración 3. Modelo Corvalán .....	26
Ilustración 4. Zona Metropolitana de Guadalajara. ....	31
Ilustración 5. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la ZMG . ....	33
Ilustración 6. Número de días fuera de norma de los contaminantes de ZMG	36
Ilustración 7. Indicadores de Salud Ambiental.....	40
Ilustración 8. Índice de motorización . ....	41
Ilustración 9. Vehículos con motor diesel .....	43
Ilustración 10. Parque vehicular con 13 años o más.....	44
Ilustración 11. Días en que el ozono (O <sub>3</sub> ) rebasa la norma horaria.....	47
Ilustración 12. Nivel promedio anual de PM <sub>10</sub> .....	49
Ilustración 13. Superficie en Km <sup>2</sup> , del área que presenta las condiciones más críticas de contaminación del aire .....	50
Ilustración 14. Total de muertes reportadas en la ZMG por IRAs.....	52
Ilustración 15. Mortalidad por cancer de pulmón .....	54
Ilustración 16. Diagrama estrella. ....	55
Ilustración 17. Diagrama estrella para los indicadores del año 1996.....	56
Ilustración 18. Diagrama estrella para los indicadores del año 1997.....	56
Ilustración 19. Diagrama estrella para los indicadores del año 1998.....	57

Ilustración 20. Diagrama estrella para los indicadores del año 1999.....	57
Ilustración 21. Diagrama estrella para los indicadores del año 2000.....	58
Ilustración 22. Diagrama estrella para los indicadores del año 2001.....	58
Ilustración 23. Diagrama estrella para los indicadores del año 2002.....	59
Ilustración 24. Diagrama etrella para los indicadores del año 2003 .....	59
Ilustración 25. Diagrama estrella para los indicadores del año 2004.....	60
Ilustración 26. Diagrama estrella para los indicadores del año 2005.....	60
Ilustración 27. Diagrama estrella para los indicadores del año 2006.....	61
Ilustración 28. Comparación de la condición de salud ambiental en la ZMG a través de la calidad del aire.....	62

## 1. RESUMEN

Esta investigación consiste en el desarrollo de un sistema de información a través de indicadores de Salud Ambiental sobre la calidad del aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) que permita evaluar las tendencias de los contaminantes atmosféricos, sus efectos en la salud humana, identificar las posibles acciones para remediar las condiciones adversas al bienestar de sus habitantes así como facilitar la comunicación con la ciudadanía y demás actores involucrados en el problema de la contaminación del aire.

La metodología utilizada en este trabajo se basa en el modelo elaborado por Corvalán (2000) y difundido por la OMS para el desarrollo de indicadores dentro del marco conceptual de Salud Ambiental Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos, Acciones DPSEEA por sus siglas en inglés (Driving Forces (D), Pressures (P), State (S), Exposure (E<sub>1</sub>), Effects (E<sub>2</sub>) y Actions (A)).

Se identificaron un total de 14 indicadores de salud ambiental para la ZMG.

- a) Fuerzas Impulsoras: tamaño del parque vehicular, número de vehículos que utilizan combustible diesel e índice de motorización.
- b) Presión: antigüedad del parque vehicular, número de avenidas con tráfico de 10,000 vehículos y más, y número de industrias altamente contaminantes.
- c) Estado: número de contingencias ambientales en un año, número de días en que se rebasa la norma de ozono (O<sub>3</sub>) y promedio anual de PM<sub>10</sub>.
- d) Exposición: número de familias que viven en avenidas de alto tráfico y zonas críticas de contaminación del aire.
- e) Efecto: mortalidad por Infecciones Respiratorias Agudas (IRAS), morbilidad por asma y mortalidad por cáncer de pulmón.

En cuanto a los indicadores de Acción estos no se desarrollan en este trabajo ya que deben ser adoptados y llevados a cabo por los tomadores de decisiones.

La tendencia observada es de una pérdida paulatina de la salud ambiental en la ZMG por deterioro de la calidad del aire.

Una de las principales limitaciones para el desarrollo de este proyecto fue la falta de información en el área de salud ambiental y en el caso de la ya existente la poca accesibilidad. El trabajo aquí desarrollado consiste en una primera versión de Indicadores de Salud Ambiental en materia de calidad del aire que nos permiten identificar aspectos críticos y tendencias en lo referente a contaminación atmosférica. Estos pueden ser utilizados a nivel institucional para identificar los factores que tienen mayor influencia en los problemas de contaminación atmosférica y dirigir las acciones específicas que permitan mejorar las condiciones ambientales y por ende la calidad de vida de los habitantes de la ZMG. A nivel personal permiten tomar decisiones informadas y participar de forma activa como sociedad.

## 2. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la ciudad tiene beneficios evidentes, como el incremento en servicios y satisfactores, pero al mismo tiempo provoca la aparición de nuevos riesgos, medir la exposición de la población a numerosos factores ambientales es complejo porque no se tienen sistemas adecuados de información que permitan valorar la magnitud y gravedad de los riesgos a los que se está expuesto en un ambiente urbano.

En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) la contaminación del aire, es considerada por investigadores en el campo de riesgo y salud ambiental de la Universidad de Guadalajara, la mayor amenaza a la salud de los habitantes de la ciudad, y que ha resultado ser uno de los problemas más complejos de resolver debido a la variedad de sectores involucrados como son el de energía, transporte, industria, agricultura, desarrollos inmobiliarios y de infraestructura vehicular (Curiel, *et al.* 2006).

La construcción de indicadores permite disponer de información para crear estrategias y tomar decisiones más apropiadas, son una herramienta valiosa que nos ayuda a evaluar, identificar y priorizar los factores sociales y naturales que limitan o posibilitan la mejora de la salud ambiental en la ZMG.

Además los indicadores son un instrumento que permite a los grupos sociales involucrados en la problemática de la contaminación atmosférica y a las instituciones, tener información clara y actualizada sobre su evolución y sus posibles efectos en la salud humana.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), pese a ser una de las concentraciones humanas más importantes de México, no cuenta con una base de información que permita evaluar los cambios y tendencias que presentan los factores relacionados con la salud ambiental y sus efectos en la salud de la población. Actualmente la información disponible acerca del ambiente y la salud, es dispersa, discontinua, escasa y no está sistematizada a una misma escala a través del tiempo para que puedan compararse y dar cuenta de la real dimensión de los problemas de salud ambiental en la ZMG. Los datos relacionados con la información del ambiente y la salud es de difícil acceso y no del todo comprensibles para la totalidad de los grupos involucrados en los problemas de calidad del aire. Además la información disponible no esta suficientemente sistematizada para la toma de decisiones.

Es fundamental disponer de información fidedigna y sistemática para hacer una mejor toma de decisiones y que las instituciones mejoren su desempeño. “Desde luego, los pocos recursos con que se cuenta en la región para realizar funciones críticas de regulación, licenciamiento y gestión ambiental, tanto en el sector público como en el privado, podrían focalizarse mejor si se contara con información ordenada, y disponible” (Quiroga, 2005).

Un indicador permite, incidir en el conocimiento para ayudar a los individuos a apreciar mejor los riesgos ambientales a los que está expuesto y las oportunidades personales para evitarlo o reducirlo y así minimizar el impacto en la salud de los que ya han sido afectados; identificar y priorizar los problemas que existen; para definir, evaluar y comparar las acciones que deben tomarse, para monitorear los efectos de esas acciones; ayudar a especificar directrices en materia ambiental y para guiar la investigación y desarrollo necesario para el futuro (Corvalán *et al.* 2000)

Los indicadores de salud ambiental en materia de calidad del aire para la ZMG permitirán la toma de decisiones acorde a las necesidades de atención y complejidad del problema, así como la evolución que estos presentan a través de los años y el impacto que están teniendo las medidas implementadas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

Identificar indicadores de calidad para la realización de un diagnóstico de salud ambiental en materia de calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara para valorar prioridades de actuación en la atención de este problema.

### **4.2. Objetivos Específicos**

Desarrollar un conjunto de indicadores de calidad del aire para la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Evaluar a partir de indicadores las tendencias de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara y sus consecuencias y orígenes.

Obtener indicadores, que permitan identificar prioridades de actuación de aquellos grupos sociales involucrados en la problemática de la calidad del aire.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Concepto de Salud Ambiental

Johnson B. L. (1997) en un comunicado de la Agency for Toxic substance and Disease Registry cita la Carta Europea de Salud y Medio Ambiente aprobada durante las conferencias celebradas en Frankfurt en 1989, esta definición estableció los principios esenciales de la relación entre los factores ambientales que determinan la salud humana, y define así a la salud ambiental:

*“incluye tanto los efectos patológicos directos de las sustancias químicas, la radiación y algunos agentes biológicos, así como los efectos (con frecuencia indirectos) en la salud y el bienestar derivados del medio físico, psicológico, social y estético en general, comprendiendo la vivienda, el desarrollo urbano, el uso del terreno y el transporte.”*

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define a la salud ambiental como:

*“La relación entre aquellos aspectos de la salud humana incluyendo la calidad de vida, que son determinados por factores físicos, químicos, biológicos, sociales y psicológicos en el medio ambiente. También se refiere a la teoría y práctica de valorar, corregir, controlar y evitar aquellos factores en el medio ambiente que potencialmente pueden perjudicar la salud de generaciones actuales y futuras” (OMS, 1999)*

El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. (2000) define a la salud ambiental como:

*“aquellos aspectos de la enfermedad humana y lesiones al ser humano, que son determinados o condicionados por factores en el medio ambiente. Lo anterior implica el estudio de los efectos patológicos directos de diversos agentes químicos, físicos y biológicos, así como los efectos que ejerce el medio físico y social en la salud en general, entre otros la vivienda, el desarrollo urbano, el uso del terreno y el transporte, la industria y la agricultura.”*

La definición propuesta por la Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental de la Universidad de Guadalajara (2001), señala que la salud ambiental es:

*“La salud de las comunidades humanas y silvestres que interactúan en un territorio, entendidos estos como sistemas complejos y dinámicos en donde coinciden aspectos económicos, políticos, científicos, jurídicos, culturales, de salud pública y desarrollo humano.”*

Además, la misma Maestría considera cuatro puntos principales dentro del campo de acción de la salud ambiental:

- 1. Analizar las interacciones de las comunidades,*
- 2. Reconocer factores de estrés y degradación como mecanismos desequilibrantes de los ecosistemas y paisajes, la calidad de vida y desarrollo sustentable,*
- 3. Generar propuestas para desacelerar la tendencia de la degradación, prevenir y controlar las amenazas a la salud humana y restaurar las condiciones que mantienen el equilibrio, y*
- 4. Dar certidumbre a las comunidades y territorios para hacerlos habitables y sostenibles.*

## 5.2. Campo de la salud ambiental

Varias de las principales causas de mortalidad y morbilidad se vinculan con desequilibrios del ecosistema y la ausencia de adecuadas respuestas frente al riesgo ambiental. Se estima que las condiciones ambientales son responsables del 25 al 33% de la carga global de enfermedad, con un impacto mayor en los niños menores de 5 años (Smith, Corvalán, y Kjellström, 1999). Como ejemplos de algunas de las relaciones potenciales entre la exposición a las condiciones ambientales y los efectos en salud se mencionan las infecciones respiratorias agudas originadas con frecuencia por la inhalación de aire contaminado por emisiones vehiculares, industriales o de la combustión de biomasa; (Feola y Bazzani, 2001) En el Tabla 1 se resumen algunas de las relaciones potenciales

entre la Exposición a las condiciones ambientales y los Efectos en salud.

Tabla 1. Efectos potenciales en la salud por exposición a factores ambientales.

Efectos en la salud	Factores ambientales					
	Agua y saneamiento	Contaminación del aire	Salud de la vivienda	Riesgos químicos	Desastres naturales	Cambios Globales
Infecciones respiratorias agudas		x	x	x		
Diarreas	x		x	x	x	
Intoxicaciones por sustancias químicas	x		x	x	x	x
Enfermedades mentales		x	x	x		x
Cáncer	x	x	x	x		x
Enfermedades respiratorias crónicas		x	x	x		x
Lesiones e incapacidades por accidente			x			x

Fuente: OPS, 2002

La OMS en la década de los 90's adopto un nuevo enfoque en el se está dando una transición de riesgos ambientales para la salud, desde los riesgos "tradicionales", consecuencia en gran parte de la pobreza, relacionados con grados insuficientes de desarrollo y con el impacto de fenómenos naturales, a los riesgos "modernos", asociados con los rasgos de insostenibilidad en el desarrollo mismo. En general, los países en desarrollo padecen tanto los riesgos tradicionales como los modernos. Debe subrayarse que el concepto de riesgos "modernos" está directamente asociado a procesos de degradación de

los ecosistemas tales como la deforestación, erosión, cambio climático, y contaminación del agua, aire y suelo (Feola, 2005).

### 5.3. Contaminación atmosférica y salud.

Los contaminantes ambientales son elementos o sustancias en el aire, agua o suelo que, cuando están presentes en exceso, disminuyen la calidad o capacidad de la vida. Están presentes en el ambiente en cantidades que no dañan a plantas o animales, sin embargo, cuando exceden determinado nivel constituyen un peligro potencial o real. El nivel, por debajo del cual no dañan la salud, se determina con fundamento en evidencias científicas (Munguía y Pérez, 2003).

Diferentes estudios epidemiológicos han sugerido que la exposición de seres humanos a los contaminantes del aire se asocia con el desarrollo de enfermedades pulmonares y con una prevalencia elevada de síntomas como tos y expectoración (Holtzman, Cunningham, Sheller, y Irsigler, 1979; Romieu, y otros, 1995). Otros estudios han sugerido la asociación entre la mortalidad con la exposición a altas concentraciones de las PM<sub>10</sub> (Dockery, Pope, Xu, Spengler, Ware, y Fay, 1993; Pope, Schwartz, y Ramson, 1992). Estas investigaciones muestran que existe una relación entre inflamación bronquial aguda y aumento de la reactividad bronquial por la exposición aguda a concentraciones horarias de O<sub>3</sub> superiores a 0.08 ppm, especialmente en niños y adolescentes durante el ejercicio.

Existe evidencia que apoya la asociación entre partículas suspendidas totales (PST) y sobre todo PM<sub>10</sub> con mortalidad diaria, especialmente en personas mayores de 65 años de edad o con problemas crónicos respiratorios o cardiovasculares. En el estudio de seis ciudades de Estados Unidos, Dockery y colaboradores observaron asociación entre concentración de PST y PM<sub>10</sub> con mortalidad diaria. Esta asociación fue más evidente con PM<sub>10</sub> (Munguía y Pérez, 2003)

En México, la Presidencia de la República (2001) menciona que la contaminación del aire es causada por el crecimiento de la población y el desarrollo económico dado en años recientes. Se destaca que la calidad del aire no es aún satisfactoria y ello se debe principalmente por emisiones a la atmósfera de fuentes fijas que corresponden a la industria y fuentes móviles, en particular el parque vehicular.

#### 5.4. El uso de indicadores como una herramienta en la Salud Ambiental: definiciones, características y beneficios.

Ha sido reconocido que en muchas partes del mundo en desarrollo, gran cantidad de enfermedades son atribuidas a factores ambientales, nuevos contaminantes están emergiendo y tienen repercusiones en la salud humana, pero estimar su efecto y su carga es difícil de medir (OMS, 1997 en Corvalán *et al.* 2000). Basada en esta idea nace una urgente necesidad de acción, para reevaluar la salud ambiental; esto se puede lograr de muchas maneras, una de ellas es la construcción de indicadores.

Los tomadores de decisiones requieren de información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y la salud. Los indicadores poseen el potencial de constituir importantes herramientas en la comunicación de la información científica y técnica. También, pueden facilitar el acceso a dicha información a los diferentes grupos de usuarios, y así transformar la información en acción. Así mismo, el desarrollo de herramientas accesibles a los usuarios no-expertos, así como, la utilización de marcos de indicadores comunes, pueden facilitar no sólo la transformación de datos en información relevante, sino también la formulación de estrategias para la planificación y la formulación de políticas (CIAT-Banco Mundial-PNUMA, 2000).

##### 5.4.1. Definiciones para Indicador de Salud Ambiental

Actualmente en la literatura se pueden encontrar varias definiciones, la OCDE

(1998) precisa que un indicador ambiental es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo.

El Ministerio del Ambiente de Canadá lo define como un parámetro que, monitoreado a través del tiempo, proporciona información de la tendencia o las condiciones de un fenómeno que supera a la estadística en sí misma. En particular, precisa que los indicadores ambientales son claves seleccionadas que representan o resumen un aspecto significativo del estado del ambiente, la sustentabilidad de los recursos naturales y su relación con las actividades humanas (*Environment Canada*, 1995).

La necesidad de medir y por lo tanto de establecer una comparación, que permita a los responsables de las políticas ambientales y de salud disponer de información que conduzca a establecer medidas de control y de gestión que ayuden a mejorar la calidad de vida de las poblaciones humanas a llevado a países, como España, a desarrollar indicadores ambientales; quienes en su primera propuesta de estos definen:

*“un indicador ambiental es, una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones”* (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).

Para el *Florida Center for Public Management*, institución que desarrolló un sistema de indicadores con el fin de asesorar a las dependencias ambientales de la Unión Americana, un indicador ambiental es un elemento que describe, analiza y presenta información científicamente sustentada sobre las condiciones y tendencias ambientales y su significado (*Florida Center for Public Management*, 1998).

Según la OCDE (1998) las dos características principales de los indicadores ambientales son:

1. Reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible a la realidad de una situación.
2. Simplificar los procesos de comunicación.

Estas características básicas convierten a los indicadores en el instrumento mediante el cual se proporciona información concisa y sustentada científicamente a diversos usuarios, tomadores de decisiones y al público en general de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente.

La OPS en uno de sus talleres realizados sobre Indicadores de Salud Ambiental (OPS, 2000) define a un indicador de salud ambiental como:

*“aquel que proporciona datos sobre calidad ambiental y su impacto en salud pública. Es una medida de salud, calidad ambiental o socio-demográfica la cual es importante para monitorear la salud general de la población. Proporcionan información acerca del estado de salud de las personas con respecto a factores ambientales y se pueden emplear para evaluar la salud o un factor relacionado con la salud en una población específica a través de medidas directas o indirectas. Se utilizan para evaluar el estado de la línea de partida y tendencias, rastrear el programa de metas y objetivos y edificar la capacidad de vigilancia núcleo en agencias estatales y locales”.*

Una de las recomendaciones de la 3ª Conferencia Ministerial sobre Salud y Medio Ambiente, celebrada en Londres en junio de 1999, fue la puesta en práctica de los Planes Nacionales de Acción sobre Salud y Medio Ambiente (NEHAPs, por sus siglas en inglés). Para llevarlos a cabo, es necesario desarrollar un sistema de información sobre salud y medio ambiente que sirva para elaborar una política de acciones y comunicación con el público, y al

mismo tiempo posibilite su comparación a nivel internacional (Posada de la Paz, Carroquino, y Soldevilla, 2004)

Además como resultado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo conocida como Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992, representantes de 179 países, entre ellos México, adoptaron el Programa conocido como Agenda 21.

La Agenda 21 es un plan de acción integral que las organizaciones del sistema de la Organización de las Naciones Unidas, los gobiernos y los grupos principales de la sociedad deben considerar en el plano mundial, nacional y local (FAO, 2003). El documento esta organizado en cuatro secciones y en su capítulo 40, Información para la Adopción de Decisiones, señala que:

*“Los indicadores comúnmente utilizados, como las mediciones de las corrientes individuales de contaminación o de recursos, no dan indicaciones precisas. Los métodos de evaluación de la interacción entre diversos parámetros sectoriales del medio ambiente y el desarrollo son imperfectos o se aplican deficientemente. Es preciso elaborar indicadores del desarrollo sostenible que sirvan de base sólida para adoptar decisiones en todos los niveles y que contribuyan a una sostenibilidad autorregulada de los sistemas integrados del medio ambiente y el desarrollo...Los países en el plano nacional y las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en el plano internacional deberían desarrollar el concepto de indicadores del desarrollo sostenible a fin de establecer esos identificadores (Organización de las Naciones Unidas, 1992).*

Aunque en este documento se hace referencia a indicadores de sustentabilidad es claro que son una herramienta base para la evaluación de la Salud Ambiental.

#### 5.4.2. Beneficios de los indicadores

Los indicadores se elaboran para simplificar y cuantificar fenómenos complejos, de manera tal que estos puedan ser analizados en un contexto dado, y ser comunicados a los diferentes niveles de la sociedad (Adriaanse, 1992).

Los indicadores ambientales proporcionan información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable a la hora de tomar decisiones.

Asimismo, los indicadores sirven para identificar aquellas fuerzas que contribuyen hacia el mejoramiento o la degradación de las condiciones económicas, sociales y ambientales, permitiendo establecer metas precisas de acciones futuras para que a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones (Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá, 2000).

### 5.5. Modelos para la construcción de indicadores

#### 5.5.1. Modelo PER (Presión –Estado-Respuesta)

*El marco de análisis dominante para la construcción de indicadores es el denominado Presión-Estado-Respuesta, desarrollado por primera vez por Frier y Rapport (1979). Este marco, introducido con fuerza en el conjunto de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) constituye el modelo de desarrollo de indicadores ambientales de ese organismo internacional. Se basa en el concepto de causalidad Presión – Estado – Respuesta, donde se hace un seguimiento del proceso en el que las actividades humanas presionan sobre el medio y sobre la calidad y cantidad de los recursos naturales, modificando su estado, lo que se traduce en una respuesta social a través de políticas y acciones sociales que modulan la presión sobre el medio (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).*

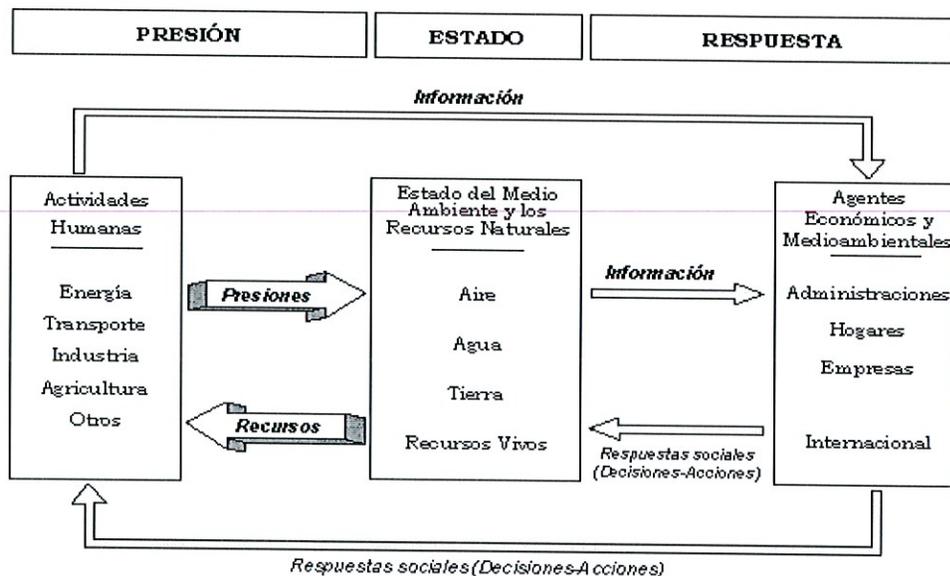


Ilustración 1 Modelo Presión-Estado- Respuesta. Fuente OCDE, 1994

### 5.5.2 Modelo Fuerzas impulsoras- Presión-Estado-Exposición-Efecto- Acción

Con el entendimiento de que en realidad la problemática ambiental es más compleja, y el modelo PER no es suficiente para cubrir todas las áreas, se han desarrollado otros modelos que proporcionan un marco de trabajo mas adecuado para la problemática ambiental y en particular de la Salud Ambiental.

Corvalán *et al.* (2000) proponen un modelo con un enfoque más amplio para incluir fuerzas impulsoras en las presiones en salud y el ambiente. Al modelo se le llamó DPSEEA por sus siglas en inglés (Driving Forces (D), Pressures (P), State (S), Exposure (E<sub>1</sub>), Effects (E<sub>2</sub>) y Actions (A). Este modelo es útil ya que cubre una amplia variedad de posibles fuerzas y tiene acciones que reúnen a profesionales, practicantes y administradores de los campos ambientales y de salud pública para ayudar a orientarlos en el plan más alto del problema.

El modelo diseccionado en las “Fuerzas Impulsadoras – Presiones – Estado – Exposición – Efectos – Acciones” (modelo DPSEEA) para el desarrollo de indicadores de salud ambiental, actúan como una valiosa guía para desarrollar

indicadores dentro de un amplio rango de situaciones, por ejemplo, en el desarrollo de indicadores dirigidos a peligros ambientales específicos (contaminación del aire) o problemas específicos de salud (afecciones respiratorias en niños), o para describir en forma completa la multicausalidad del ambiente y la salud como ocurre en áreas específicas. Este marco de trabajo fue utilizado en la descripción y análisis de la situación global relacionada a salud, ambiente y desarrollo dentro del reporte titulado, Salud y Ambiente en el Desarrollo Sostenible (OMS, 1997).

Los enlaces causales ya seleccionados por el modelo P-E-R se encuentran en este nuevo modelo conceptual: la calidad ambiental depende de las presiones sobre el ambiente (recursos consumidos y emisiones de gases producidas), las presiones son generadas por las actividades urbanas. Cada respuesta social posible será explicada como una modificación de las actividades urbanas, resultando en la reducción de las presiones ejercidas al final. El nuevo marco DPSEEA aclara los enlaces causales detrás de las actividades urbanas: Las verdaderas Fuerzas Impulsoras son las necesidades socio-económicas de la población; las actividades urbanas son desarrolladas para responder a estas necesidades e interactuar con ellas (Fusco, 2001).

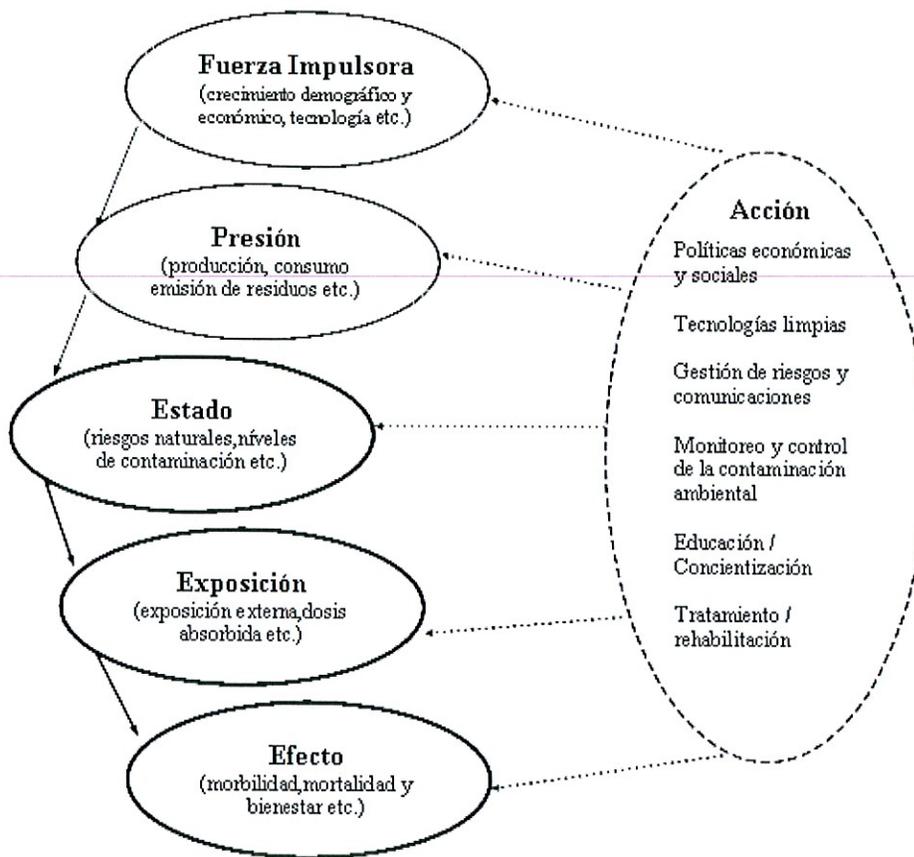


Ilustración 2 Modelo Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos, Acciones. Fuente: Corvalán *et al.* 2000

#### 5.5.2.1 Fuerzas Impulsoras.

Éste componente se refiere a los factores que “Fuerzan” el proceso ambiental. Una de las más importantes es el crecimiento poblacional. Esto hace que una población mayor esté expuesta a los peligros ambientales ya que muchas personas viven o trabajan en zonas de riesgo. En espacios marginales la inestabilidad del ambiente vuelve a las poblaciones más vulnerables a los peligros ambientales. Existe una amplia gama de Fuerzas impulsoras, como son el desarrollo de la tecnología, el desarrollo económico y las políticas de intervención (Corvalán *et al.* 2000).

#### 5.5.2.2 Indicadores de Presiones.

Los indicadores de presión describen las variables que causan (o pueden causar) los problemas ambientales. Describen las presiones ejercidas sobre el

ambiente por las actividades humanas, como es el caso, por ejemplo, de las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Las presiones ambientales incluyen el consumo de recursos naturales y la producción de contaminantes y desechos. Las presiones, cambian el estado del ambiente, y este cambio puede tener un impacto sobre la salud humana o en el ecosistema. Definitivamente, la sociedad responde a estos impactos tomando medidas que afectan los diferentes enlaces de la cadena causal (Fusco, 2001)

Una característica de estos indicadores es que deben ser receptivos, es decir una persona responsable de adoptar decisiones tiene la oportunidad de cambiar la tendencia del indicador (y por lo tanto, disminuir el problema) de forma positiva lanzando acciones apropiadas (Jesinghaus, 1999).

#### 5.5.2.3 Indicadores de Estado.

Se refieren a la calidad del ambiente (agua, aire, flora, fauna, suelo) así como a la calidad y estado de los recursos naturales asociados a procesos de explotación socioeconómica (Ministerio de Medio Ambiente, 1996) por ejemplo la calidad del aire (concentraciones de contaminantes) o del agua, así como a la condición de los ecosistemas. Dichos indicadores constituyen generalmente los objetos de políticas de protección ambiental.

Como tales reflejan el objetivo último de la elaboración de políticas ambientales. Los indicadores de estado deben de estar diseñados para ofrecer una visión general de la problemática ambiental y su evolución en el tiempo (OCED, 1993).

#### 5.5.2.4 Indicadores de Exposición.

La exposición se refiere a la interacción de las personas con los factores de riesgo inherentes al ambiente. En el caso de la contaminación ambiental, la exposición a agentes ambientales peligrosos puede ocurrir de tres diferentes maneras: inhalación, ingestión o absorción dérmica.

#### 5.5.2.5 Indicadores de Efectos.

La exposición a peligros ambientales, se antepone a un gran número de consecuencias en la salud. Los efectos pueden variar dependiendo de la peligrosidad del agente, de la duración y magnitud de la exposición al factor de riesgo al que la población puede estar sometida.

#### 5.5.2.6 Indicadores de Acciones.

En la fase de problemas ambientales y efectos observados a la salud, la sociedad puede intentar, adoptar e implementar una variedad de acciones. Éstas pueden ser de muchas formas y ser dirigidas hacia diferentes puntos del modelo para lograr cambios en el ambiente y la salud.

Los indicadores de acciones corresponden a las respuestas de la sociedad, demuestran hasta que punto la sociedad está respondiendo a los cambios ambientales. Hablamos de acciones individuales y colectivas, que pueden ser para mitigar, prevenir o adaptarse al los impactos negativos que provoca el ser humano en el ambiente, y también para detener o revertir los daños ambientales ya causados (OECD, 1993).

En el largo plazo las acciones pueden ser protectoras (cambios en la conducta personal y en el estilo de vida para prevenir exposiciones). Las acciones pueden ser tomadas para controlar amenazas, ya sea erradicándolas o reduciéndolas. Presentan los esfuerzos realizados por la sociedad o por una institución dada para reducir o mitigar la degradación del ambiente; a través de dar respuesta a los indicadores de estado. Las acciones de respuesta son dirigidas primeramente, hacia los agentes de “presión” (Corvalan, 2000).

El modelo DPSEEA se utilizó en la iniciativa Análisis de Salud y Ambiente para la Toma de Decisiones (Corvalán, 1995), surgida con el objetivo de contribuir a la formulación de políticas ambientales y de salud mediante el aporte de conocimientos científicamente validados. Esta iniciativa integra métodos de evaluación toxicológica y epidemiológica con métodos de evaluación ambiental a

fin de generar y agregar datos en indicadores destinados a monitorear el efecto de los cambios ambientales sobre la salud de la población.

El modelo DPSEEA avanza conceptualmente en la construcción de indicadores de salud ambiental, ya que asocia la promoción de la salud con el modelo de desarrollo vigente y sus consecuencias ambientales, lo que permite, además, elaborar propuestas intersectoriales de acciones prioritarias integrales. No obstante, debe tenerse en cuenta que tanto la vigilancia epidemiológica como el monitoreo ambiental continuo y sistemático exigen una capacidad tecnológica y de recursos humanos muy alta, lo que dificulta su realización. De hecho, uno de los mayores problemas para producir estas evaluaciones ha sido la escasez de datos y la sospecha de la baja calidad de muchos de ellos. A pesar de esta limitación, el modelo conceptual DPSEEA se empleó en iniciativas de la OMS en el campo de la salud ambiental, particularmente en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM) y en la determinación de la carga ambiental de enfermedad (CAE) (Schütz, Hacon, Silva, y Nagatani, 2008).

## 6. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolla utilizando la metodología propuesta por Corvalán para el desarrollo de indicadores de salud ambiental conocida como DPSEEA.

### 6.1. Construcción de los indicadores

Se tomaron en cuenta las Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos, Acciones propuesto por Corvalán *et al.* 2000, del que se derivó el siguiente modelo.

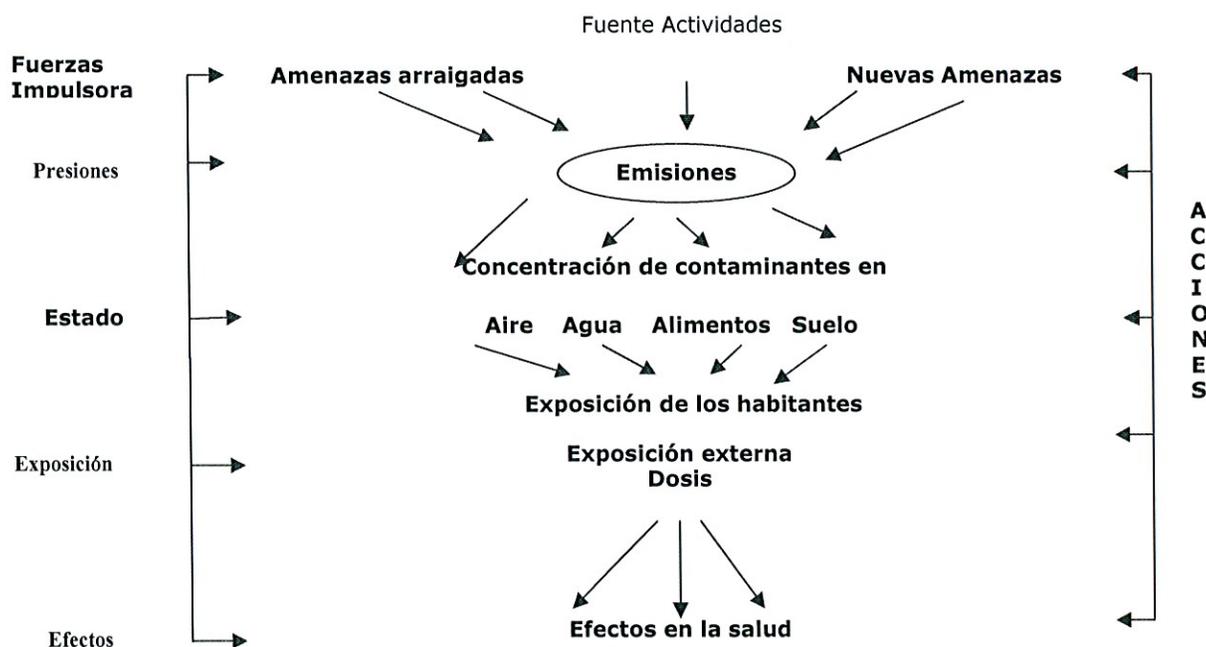


Ilustración 3 Modelo Corvalán (2000) para la generación de indicadores de Salud Ambiental

Este modelo se aplicó a la ZMG para identificar los indicadores de salud ambiental a partir de la calidad del aire de la ciudad.

Se considera conveniente analizar para los indicadores un mínimo de tres datos en diferentes épocas, con el fin de tener una base que permita analizar la tendencia que presenta cada indicador.

Al no existir una institución o área gubernamental específica que recabe la información relacionada con la Salud Ambiental, fue necesario recurrir a diferentes instituciones gubernamentales: La Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES) institución responsable del monitoreo de los contaminantes atmosféricos, Secretaría de Finanzas, Secretaría de Salud Jalisco y al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La mayoría de la información se encontró en formatos y tablas orientados a objetivos relacionados con aspectos económicos e informes estadísticos. En algunos casos la información no se encontró disponible en alguno de los años, o la metodología utilizada para obtener la información no tenía la confiabilidad y calidad necesaria para construir el indicador, por lo que se tuvieron que desechar varios.

Para construir el indicador fue necesario procesar los datos ya que el indicador no se obtiene directamente de la fuente de datos consultada.

## 6.2. Pasos a seguir en la construcción de indicadores

### 6.2.1. Establecer los objetivos de los indicadores.

Entender como los factores ambientales se relacionan con la salud humana y afectan nuestro bienestar, permitiendo una mejor toma de decisiones.

### 6.2.2. Identificar los tipos de indicadores (Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición, Efectos y Acciones).

Después de conocer la estructura del modelo DPSEEA se realizó una búsqueda en la bibliografía existente sobre el tema, para identificar las propuestas generadas en las instituciones internacionales sobre posibles indicadores de salud ambiental y se revisó la experiencia de países que han utilizado este modelo conceptual y cuales indicadores fueron más significativos. Además se consideró la opinión. Una vez que obtuvimos la información, se inició con la elaboración de un listado de posibles indicadores para la ZMG.

### 6.2.3. Revisar los criterios de calidad para la selección de indicadores.

Los indicadores deben ser evaluados y pasar por un proceso de selección en el cual deben ser evaluados a la luz de una serie de criterios de calidad (Curiel, 2003). Los criterios de calidad para la evaluación y selección de indicadores constituyen las medidas para garantizar la calidad estadística y científica de los indicadores (Ministerio de Medio ambiente, 1996).

En la bibliografía sobre indicadores se encuentra una gran cantidad de criterios para la evaluación y selección de indicadores. Para este trabajo se consideraron los siguientes:

1. Fácil de medir.
2. Fácil de entender. Todos deben entender sin lugar a dudas lo mismo.
3. Consistente. Aceptado por los diferentes interesados, siempre es deseable que todos los implicados acepten el criterio y que se comprometan a alcanzarlo.
4. Tiene relación con la Salud Ambiental de la ZMG.
5. Con capacidad para acceder a los datos con un esfuerzo razonable. Que se adapten al problema específico que se quiere analizar y a las necesidades de los usuarios de la información.
6. Con disponibilidad de datos a través del tiempo. Que sea posible repetir las mediciones.
7. Compatible a nivel internacional. Que tengan fundamento conceptual para facilitar comparaciones objetivas en los niveles nacional e internacional.
8. Se relaciona con la contaminación del aire y su efecto e la salud humana.
9. Flexible y con un amplio marco conceptual. Ayuda a identificar problemas prioritarios y nuevas líneas de investigación.
10. Sensible para cambiar a través del tiempo. Debe ser flexible, capaz de adaptarse a cambios difícilmente previsibles.

#### 6.2.4. Elaboración de la ficha técnica del indicador.

Los indicadores seleccionados se plasman en una ficha técnica (instrumento de recolección de datos) diseñada de forma que permita su fácil comprensión. Consiste de un conjunto de elementos que describen de manera sencilla sus características para su mejor comprensión, interpretación y para que cualquier usuario esté en posibilidad de rehacer los cálculos de éste. La ficha (Cuadro 2), esta acompañada de un gráfico (datos del indicador) que permite evaluar su tendencia.

Tabla 2 Contenido de una ficha de indicador de salud ambiental

Ficha del indicador	
1. Nombre	Designa al indicador
2. Definición conceptual	Describir de forma sencilla al indicador.
3. Justificación	Describe la relevancia del indicador en el contexto de la salud ambiental.
4. Unidad de medida.	Indica como se expresará el resultado final del indicador.
5. Valor deseable	Cuando su valor esta en congruencia con una salud ambiental óptima.
6. Cálculo	Es la formula matemática que nos permite obtener el valor del indicador.
7. Presentación de los datos	formato o diseño en el que serán presentados los resultados(tablas, graficas, etc.,)
8. Relación con otros indicadores	Muestra como se interrelacionan los indicadores entre si.
9. Fuente de información	Indica la fuente de donde se obtuvo la información para documentar el indicador.
10.Frecuencia de medición	Periodo de tiempo en el cual el indicador se espera que varíe.

11. Tipo de indicador	Definir según el modelo DPSEEA (Fuerzas Impulsoras, Presiones, Estado, Exposición y Efectos).
-----------------------	---

#### 6.2.5. Diagrama estrella para la presentación de indicadores.

Para facilitar el análisis de los indicadores estos suelen presentarse de manera conjunta en un gráfico o diagrama llamado de estrella. Este consiste en una gráfica radial, donde cada rayo corresponde a un indicador; la longitud del rayo representa el valor del indicador hacia el valor objetivo, ajustado a una escala que va del 0 al 10.

Dependiendo del número de indicadores (rayos), al unir los puntos de la gráfica puede dibujar un triángulo, un pentágono o un círculo. Entre mas perfecta sea la estrella, mas cerca estaremos del valor deseable o condición ideal.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

### 7.1. Generalidades

Es la región urbana resultante de la fusión de la ciudad de Guadalajara y las cabeceras municipales de Tonalá, Tlaquepaque y Zapopan se encuentra en los llanos de Atemajac y Toluquilla, en la planicie de Tesistán, y recientemente sobre las laderas del volcán Cerro del Cuatro y del Cerro Pelón en la compleja formación volcánica La Primavera.



Ilustración 4 Zona Metropolitana de Guadalajara. Fuente: INEGI 2005

La ZMG se localiza a una altitud promedio de 1,540 metros sobre el nivel del mar, con una superficie aproximada de 30,852 hectáreas. Geomorfológicamente la zona de estudio se ubica en el Eje Volcánico de México, donde alterna el valle sedimentario volcánico, donde se ubica la ZMG, con bloques de montañas volcánicas, y amplias depresiones producto de la erosión hídrica (Curiel *et al.* 2006).

La ZMG alberga a 3'728,465 habitantes, según el censo de población y vivienda del INEGI realizado en el 2005 y se comparte la Red Automática de Monitoreo Atmosférico y el transporte urbano.

Actualmente el 47% de los habitantes de la ZMG están en el municipio de Guadalajara, el 29% en Zapopan, el 14% en Tlaquepaque y el 10% en Tonalá. Guadalajara presenta una tasa de crecimiento negativa, pero en los otros tres municipios si bien las tasas van decreciendo, estas siguen siendo importantes, de 2.5% para Zapopan y Tlaquepaque y 4% para Tonalá (Curiel *et al.* 2006).

## 7.2. Características meteorológicas

La ZMG presenta una temperatura promedio anual de 21°C, siendo el mes más frío enero con 17°C, y el mes más caliente mayo con 25°C en promedio. El periodo de lluvias inicia en la segunda quincena del mes de junio y termina en septiembre, siendo julio el mes más lluvioso y marzo el más seco. En los cuatro meses de lluvia la precipitación suma un promedio de 866 milímetros que representa el 91% de la lluvia anual.

La frecuencia de inversión térmica en la ZMG esta presente 283 días al año, lo que representa el 78% de los días, siendo los periodos de enero a junio y octubre a diciembre, cuando su presencia se da prácticamente en todos los días del mes. Durante el periodo de lluvia, su frecuencia llega a ser menor al 50% de los días del mes. Se concluye que el tipo de inversión térmica que presenta más riesgo para la salud es la de *radiación* ya que se forma en la capa baja de la atmósfera sobre la superficie de la tierra. Su presencia en conjunto con inversiones de tipo de *subsistencia* y *advección* provocan la concentración de contaminantes en la atmósfera (Curiel *et al.* 2006).

### 7.3. Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

En 1973 el Gobierno mexicano a través de la Secretaría de Salubridad y Asistencia junto con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo inició un proyecto de diagnóstico de la calidad del aire en la ZMG, se midió información de calidad del aire por un periodo de 5 años (1975-1979). En 1991 se conformó una red de monitoreo manual con 15 estaciones en las que se muestreaba plomo y partículas suspendidas.

La actual Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMG empezó a operar en 1993 y con registros continuos a partir de 1996, con ocho estaciones. Cada una de las estaciones fue equipada para medir los contaminantes criterio: ozono ( $O_3$ ), partículas suspendidas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ), bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), bióxido de azufre ( $SO_2$ ) y monóxido de carbono (CO), además de diversos parámetros meteorológicos.

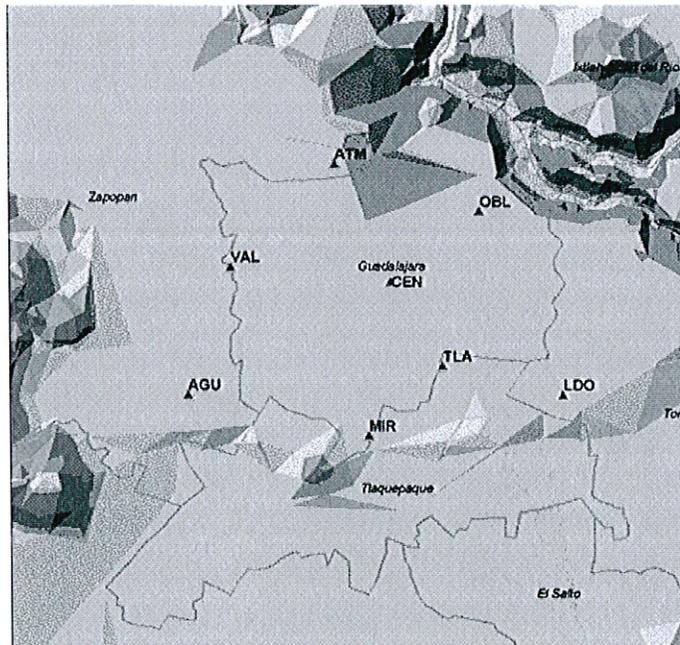


Ilustración 5 Ubicación de las estaciones de monitoreo Atemajac (ATM), Oblatos (OBL), Centro (CEN), Vallarta (VAL), Las Águilas, (AGU), Tlaquepaque (TLA), Miravalle(MIR) y Loma Dorada (LDO). Fuente: INE, 2005.

#### 6.4. Morbilidad y mortalidad en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Las enfermedades respiratorias agudas en 1998 se encontraban en el segundo lugar de causa de muerte, solo después de los accidentes. En el 2000 se presentan en el primer lugar, afectando a dos de cada 10 habitantes de la ZMG. Los datos más recientes colocan como primera causa de defunción, las enfermedades cardiovasculares, seguida de tumores malignos.

#### 6.5. Calidad del aire

De 1994 a 1999, se elaboraron normas sanitarias de calidad del aire bajo el nombre de Índices Mexicanos de Calidad del Aire. La característica de éstas es el análisis de frecuencias y probabilidades de ocurrencia de días con diferentes niveles de contaminación. Su propósito, fue establecer las concentraciones máximas de contaminantes en el aire, y que estas no excedan más de una vez al año la garantía de protección a la salud.

Estas normas se dictan para mantener la buena calidad del aire, tienen por objeto proteger la salud y el equilibrio ecológico y contemplan como elementos fundamentales: la gravedad del efecto, el número de personas perjudicadas y las variantes de la exposición a corto o largo plazo.

Tabla 3 Normas mexicanas para la calidad del aire

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m <sup>3</sup> )	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993 <sup>a</sup>
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m <sup>3</sup> )	1 vez al año	0.03 ppm (promedio aritmético anual)	NOM-022-SSA1-1993 <sup>a</sup>
Bióxido de nitrógeno	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-

(NO <sub>2</sub> )	(395 µg/m <sup>3</sup> )			1993 <sup>a</sup>
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m <sup>3</sup> )	No se permite	-	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 <sup>b</sup>
	0.08 ppm (8 horas) <sup>d</sup>	4 veces al año	-	
Partículas suspendidas totales PST	210 µg/m <sup>3</sup> (24 horas) <sup>e</sup>	2% de mediciones al año	-	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993 <sup>c</sup>
Partículas menores de 10 micrómetros PM <sub>10</sub>	120 µg/m <sup>3</sup> (24 horas) <sup>e</sup>	2% de mediciones al año	50 µg/m <sup>3</sup> (promedio aritmético anual) <sup>f</sup>	
Partículas menores de 2.5 micrómetros PM <sub>2.5</sub>	65 µg/m <sup>3</sup> (24 horas) <sup>e</sup>	2% de mediciones al año	15 µg/m <sup>3</sup> (promedio aritmético anual) <sup>f</sup>	
Plomo (Pb)	-	-	1.5 mg/m <sup>3</sup> (promedio aritmético en 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993 <sup>a</sup>

Diario oficial de la Federación, 1994.

En la ZMG la calidad del aire se evalúa a partir del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), que es un índice compuesto creado para saber si los niveles de contaminación representan un riesgo, para cada uno de los contaminantes se ha asignado una escala de 0 a 500. El límite satisfactorio de los contaminantes atmosféricos, se representa con un valor de 100 puntos IMECA como valor diario, que corresponde al valor que establecen las normas de calidad del aire para cada uno de los contaminantes. Según este índice a partir de los 101 puntos se presentan efectos adversos, particularmente en niños y en adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Gobierno de la Ciudad de México, 2006)

La contaminación de Guadalajara es debida a la alta densidad demográfica y vehicular y a su actividad industrial, siendo relevante la influencia de factores geográficos, climáticos y meteorológicos. (Comisión Estatal de Ecología, 1991)

## 8. RESULTADOS

La figura 6 muestra los días al año en que cada uno de los contaminantes monitoreados por la Red de Monitoreo Ambiental de Guadalajara (RAMAG) rebasa los 100 puntos IMECA. Al revisar los reportes de la RAMAG durante un periodo de 11 años (1996-2006) se puede observar que los contaminantes del aire que persistentemente excedieron los 100 puntos IMECA fueron las partículas menores de 10  $\mu$  ( $PM_{10}$ ) y el ozono ( $O_3$ ) el resto, bióxido de azufre ( $SO_2$ ), bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y monóxido de carbono también llegan a presentar niveles peligrosos para la salud, aunque en una proporción menor de días, lo que no significa que no presentan riesgos para la salud.

Estos contaminantes del aire, tanto las investigaciones nacionales como internacionales han mostrado fehacientemente que ejercen un efecto nocivo sobre la salud respiratoria (Munguía y Pérez, 2003).

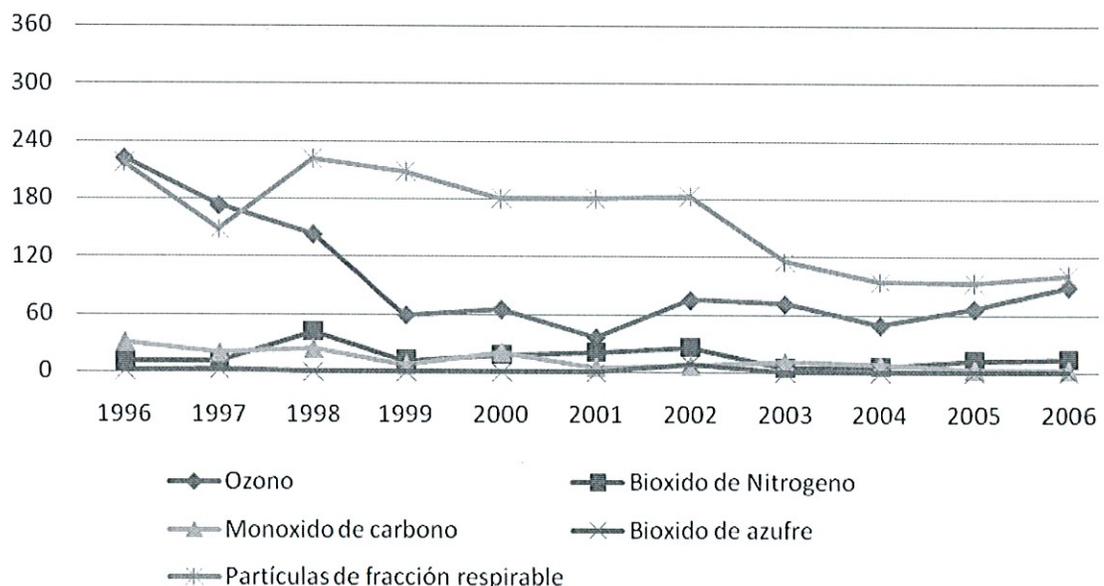


Ilustración 6 Número de días fuera de norma para cada uno de los contaminantes en la ZMG de 1996 al 2006. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las estaciones RAMAG- SEMADES

## 8.1 Identificación de los indicadores

Se identificaron un total de 14 posibles indicadores de salud ambiental en materia de calidad del aire para la ZMG: 3 de Fuerzas dinamizadoras, 3 de Presiones, 3 de Estado, 2 de Exposición y 3 más de Efectos. Los cuales se señalan a continuación (Cuadro 4.).

Tabla 4 Indicadores de salud ambiental identificados para la ZMG en materia de aire, a través del modelo D-P-S-E-E-A

Tipo de indicador*	Nombre
Fuerzas dinamizadoras	Parque vehicular
	Vehículos con motor diesel
	Índice de Motorización
Presiones	Antigüedad del parque vehicular
	Industrias altamente contaminantes (cementeras, fundidoras y ladrilleras)
	Avenidas con tráfico de 10,000 vehículos por día y más
Estado	Contingencias ambientales en un año
	Días en que el O <sub>3</sub> rebasa su norma
	Promedio anual de PM10
Exposición	Zonas críticas urbanas expuestas a contaminación del aire
	Familias que viven en avenidas de alto tráfico
Efectos	Morbilidad por asma
	Mortalidad por IRAS
	Mortalidad por cáncer de pulmón

*\*Los indicadores de Acción no se desarrollan como parte de este proyecto ya que estos corresponden a acciones como reglamentación, financiamiento, incorporación de tecnologías mas limpias, entre otras, que deben ser incorporadas por los tomadores de decisiones.*

## 8.2 Evaluación de los indicadores a través de los criterios de calidad

Como se estableció en la metodología cada indicador fue evaluado con los 10

criterios para garantizar su calidad y saber si era factible su desarrollo. En el siguiente cuadro (Cuadro 5) se presenta cada indicador y su evaluación. Para esta investigación solo se desarrollaron los indicadores que cumplieron con los 10 criterios.

Tabla 5 Evaluación de los indicadores a través de los criterios de calidad

		Criterios de calidad*									
Nombre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fuerzas dinamizadoras	Parque vehicular	√	√	√	√	√	√	x	√	x	√
	Vehículos con motor diesel	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Índice de Motorización	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Presiones	Antigüedad del parque vehicular	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Industrias altamente contaminantes (cementeras, fundidoras y ladrilleras)	x	√	√	√	x	√	√	√	√	x
	Avenidas con tráfico de 10,000 vehículos por día y más	x	√	√	√	x	x	√	√	√	√
Estado	Contingencias ambientales en un año	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√
	Días en que el O <sub>3</sub> rebasa su norma	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Promedio anual de PM10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Exposición	Zonas críticas urbanas expuestas a contaminación del aire	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Familias que viven en avenidas de alto tráfico	x	√	x	√	x	√	√	√	√	√

Efectos	Morbilidad por asma	x	√	√	√	x	√	√	√	√	√
	Mortalidad por IRAS	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Mortalidad por cáncer de pulmón	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

\*Criterios de calidad

1. Es fácil de medir.
2. Fácil de entender.
3. Consistente.
4. Tiene relación con la Salud Ambiental de la ZMG.
5. Con capacidad para acceder a los datos con un esfuerzo razonable.
6. Con disponibilidad de datos a través del tiempo.
7. Compatible a nivel internacional.
8. Se relaciona con la contaminación del aire y su efecto en la salud humana.
9. Flexible y con un amplio marco conceptual.
10. Sensible para cambiar a través del tiempo.

De los 14 indicadores propuestos solo obtienen la máxima puntuación 9.

Los indicadores de salud ambiental aprobados se vertieron en el modelo conceptual DPSEEA, explicado en las figuras 2 y 3.

La siguiente figura muestra ya a los indicadores aprobados y aplicados al modelo DPSEEA, la estructura descendente de este modelo conceptual nos permite visualizar claramente la problemática de la contaminación atmosférica, podemos reconocer fácilmente los sectores involucrados nos posibilita aclarar ideas y así proyectar las posibles acciones.

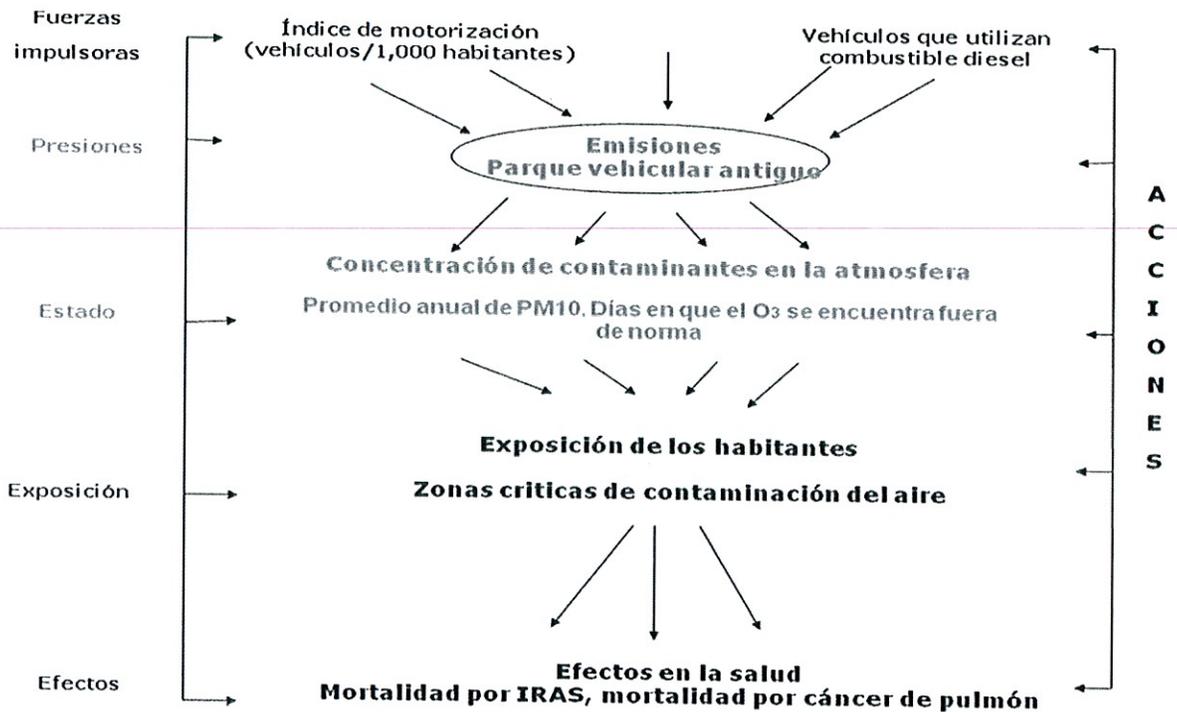


Ilustración 7 Indicadores de Salud Ambiental, en materia de calidad del aire, propuestos para la ZMG.

## 8.1. Fichas de los indicadores

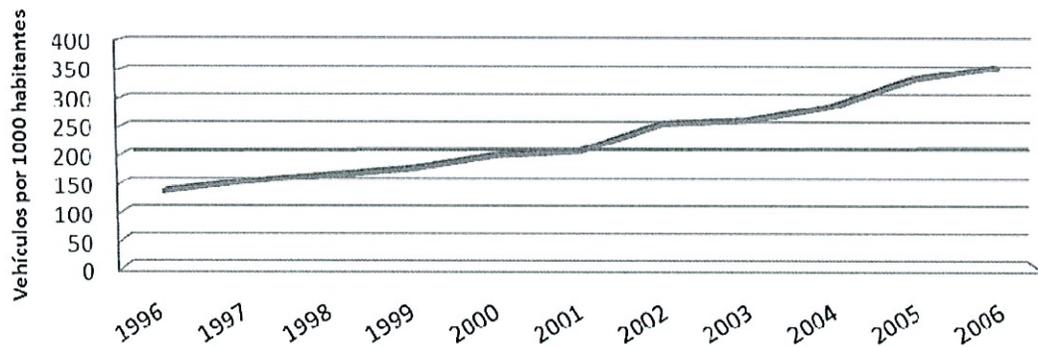
### 8.1.1. Indicadores de Fuerzas Impulsoras

<b>Nombre del indicador.</b>	<b>ÍNDICE DE MOTORIZACIÓN</b>
<b>Definición.</b>	Es el número de vehículos por cada mil habitantes.
<b>Justificación.</b>	El índice de motorización esta asociado con la pérdida de los niveles de confort por ruido y con los niveles de contaminación atmosférica. Actualmente el parque vehicular registrado en la ZMG, supera el millón de vehículos. Los automóviles particulares son actualmente más de 990 mil, lo que significa que el 24% de la población tiene un vehículo particular. La dinámica de aportación de contaminantes por vehículos automotores es la fuente más continua de emisiones, se calcula que cada año los vehículos particulares aportan 1,265 toneladas de partículas y el transporte público 2,242 toneladas. (Pranciskus &

Marija, 2004)

<b>Unidad de medida.</b>	Número de vehículos por cada 1,000 habitantes.
<b>Valor deseable.</b>	200 vehículos por cada mil habitantes*
<b>Calculo del indicador.</b>	$\sum(V_z+V_G+V_T+V_{TI}) \times (1000) / \text{Población de la ZMG}$ Donde: $V_z$ = al número de vehículos registrados en Zapopan $V_G$ = al número de vehículos registrados en Guadalajara $V_{To}$ = al número de vehículos registrados en Tonalá $V_{TI}$ = al número de vehículos registrados en Tlaquepaque
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica lineal
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Antigüedad del parque vehicular.
<b>Fuente de información.</b>	Secretaría de Economía para el número de vehículos Instituto Nacional de Geografía y Estadística, para población
<b>Frecuencia de la medición.</b>	Anual

\*Este es un valor considerando un vehículo por familia promedio.



	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
■ Vehículos por 1,000 habitantes	135	151	163	174	197	204	253	258	283	331	352

Ilustración 8 Índice de motorización (vehículos /1000 habitantes) en la ZMG. 1996-2006.

Esta gráfica muestra un incremento acelerado del parque vehicular en relación con los habitantes, esta tendencia se mantiene constante en los 90's, presentándose un mayor aumento en dicha relación a partir del 2001, en 2006 hay un índice de motorización de 352 vehículos por cada 1,000 habitantes.

<b>Nombre del indicador.</b>	VEHÍCULOS CON MOTOR DIESEL
<b>Definición.</b>	Los motores diesel transforman la energía química contenida en energía mecánica. Los gases procedentes de esta combustión son monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), partículas, óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), dióxido de Sulfuro (SO <sub>2</sub> ), componentes que son dañinos para la salud y el medio ambiente (IARC, 1989)
<b>Justificación.</b>	<p>En estudios recientes se ha puesto de manifiesto la mayor toxicidad de fracción ultrafina de la materia respirable de los gases de escape de los motores diesel (diámetro inferior a 0,1 micras), lo que se atribuye a su elevada superficie específica y a su elevada capacidad de penetración en los alveolos pulmonares (Donaldson <i>et al.</i> 1998).</p> <p>La International Agency for Research on Cancer ha clasificado a las emisiones de los motores diesel en el grupo 2º, probablemente cancerígenos para el hombre (1989).</p>
<b>Unidad de medida.</b>	Número de vehículos que utilizan diesel en la ZMG.
<b>Valor deseable.</b>	Cero
<b>Calculo del indicador.</b>	$\sum (VMD_Z + VMD_G + VMD_{T_o} + VMD_{T_l})$ <p>Donde: VDM<sub>Z</sub>= Vehículos con motor diesel registrados en Zapopan  VDM<sub>G</sub>= Vehículos con motor diesel registrados en Guadalajara  VDM<sub>T<sub>o</sub></sub>= Vehículos con motor diesel registrados en Tonalá  VDM<sub>T<sub>l</sub></sub>= Vehículos con motor diesel registrados en Tlaquepaque</p>
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica lineal.
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Antigüedad del parque vehicular, Zonas críticas urbanas expuestas a contaminación del aire.
<b>Fuente de información.</b>	Secretaría de Economía.

Frecuencia de la medición. Anual

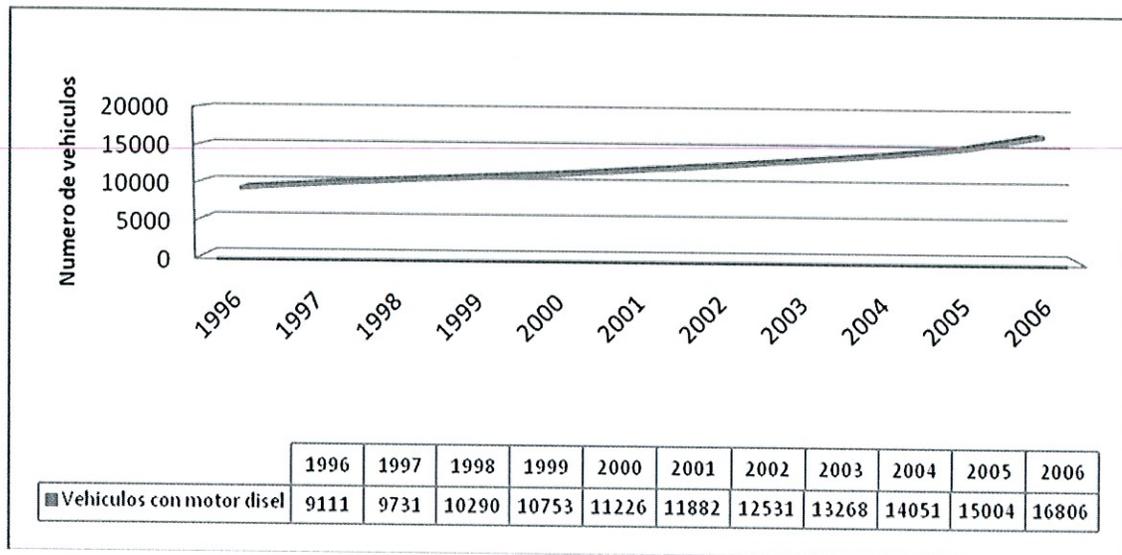


Ilustración 9 Vehículos con motor diesel en la ZMG. 1996 – 2006

### 8.1.2. Indicadores de Presión

<b>Nombre del indicador.</b>	ANTIGÜEDAD DEL PARQUE VEHICULAR
<b>Definición.</b>	Número de autos del parque vehicular total con 13 años de antigüedad o más (para el año 2006 son los modelos 1993 y anteriores).
<b>Justificación.</b>	La introducción del convertidor catalítico en 1991 implicó una reducción significativa de las emisiones vehiculares, así como la sustitución de gasolina con plomo por gasolina libre del mismo. El resultado de diversas investigaciones es consistente con la edad del parque vehicular. Los vehículos viejos asumen una elevada proporción de las emisiones contaminantes agregadas del sector. Considérese que un auto viejo (modelos 1993 y anteriores) emite casi setenta veces más contaminantes que uno nuevo (Ramírez, 1996).
<b>Unidad de medida.</b>	Número de vehículos en circulación de 13 años y más.
<b>Valor deseable.</b>	Cero vehículos en circulación, modelos 1993 y anteriores.

**Calculo del indicador.**  $\Sigma(PVAz+PVA_G+PVA_T+PVA_{TI})$   
 Donde: PVAz = Parque vehicular antiguo en Zapopan  
 PVA<sub>G</sub> = Parque vehicular antiguo en Guadalajara  
 PVA<sub>To</sub> = Parque vehicular antiguo en Tonalá  
 PVA<sub>TI</sub> = Parque vehicular antiguo en Tlaquepaque

**Presentación de datos.** Gráfica lineal

**Relación con otros indicadores.** Índice de motorización.

**Fuente de información.** Secretaría de Economía

**Frecuencia de la medición.** Anual

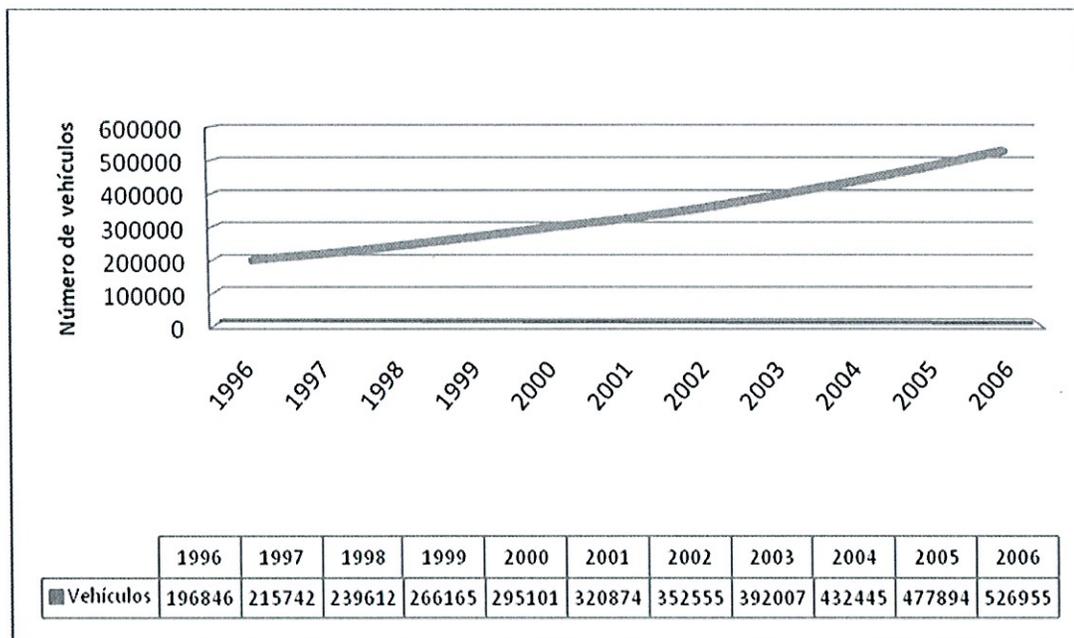


Ilustración 10 Parque vehicular con 13 años o más, registrados en la ZMG de 1996 al 2006.

En esta gráfica podemos ver como el parque vehicular antiguo ha mantenido un crecimiento continuo durante todo el periodo analizado. Cada año más alejado de su valor objetivo, este indicador continua siendo una fuerte presión para el ecosistema.

### 8.1.3. Indicadores de Estado

Como ya se describieron los indicadores de estado son aquellos que reflejan la calidad del ambiente, en el caso de contaminación atmosférica se refieren a la concentración de los contaminantes.

Los contaminantes atmosféricos se han relacionado con diversos efectos negativos para la salud, incluso cuando sus concentraciones son bajas; para la ZMG se decidió desarrollar dos indicadores de estado, los referentes a los niveles de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> ya que estos son los contaminantes criterio que frecuentemente se encuentran fuera de norma.

En la actualidad, la exposición a las PM<sub>10</sub> y al O<sub>3</sub> supone graves riesgos para la salud en muchas ciudades de los países desarrollados y en desarrollo. Es posible establecer una relación cuantitativa entre el nivel de contaminación y parámetros como la mortalidad o la morbilidad. Esto permite hacernos una valiosa idea de cuánto podría mejorar la salud si se redujera la contaminación atmosférica (OMS, 2000). En la ZMG ambos indicadores han superado la norma, provocando contingencias históricas en 1996 para el caso del ozono y 2005 para el caso de PM<sub>10</sub>.

<b>Nombre del indicador.</b>	DÍAS EN QUE EL OZONO (O <sub>3</sub> ) REBASA SU NORMA
<b>Definición.</b>	Según lo establecido en la NOM-020-SSA1-1993 el Ozono provoca daños a la salud a partir de las 0.110 ppm. Es un contaminante secundario, se forma por reacción fotoquímica de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos por los vehículos y la industria o los compuestos orgánicos volátiles.
<b>Justificación.</b>	Según el Gobierno del Estado de Jalisco (1997) <i>“En algunas áreas de la Zona Metropolitana de Guadalajara se rebasa prácticamente la mayor parte del año la norma de ozono, nos permite señalar que un alto porcentaje de la población de la ciudad está expuesta con frecuencia y por períodos de 1 o más horas, a concentraciones superiores a 0.11 ppm (norma actual). Con estos</i>

*niveles de exposición, aún los individuos adultos sanos experimentan efectos como irritación severa de las mucosas, resequedad y cefaleas; en individuos asmáticos y con otros padecimientos respiratorios se pueden presentar una disminución significativa de la capacidad pulmonar.”*

Además de los efectos ya descritos, el ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar; y efectos sistémicos en órganos blandos distantes al pulmón, como por ejemplo, el hígado.

<b>Unidad de medida.</b>	Número de días al año en que al menos una estación de monitoreo rebasa 0.110 ppm de O <sub>3</sub> en una hora.
<b>Valor deseable.</b>	Cero días
<b>Calculo del indicador.</b>	Suma de los días en un año en que al menos una de las ocho estación de monitoreo rebasa 0.110 ppm en una hora.
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica lineal.
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Mortalidad por IRAs
<b>Fuente de información.</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Jalisco. Mediciones horarias de las estaciones de monitoreo ambiental
<b>Frecuencia de la medición.</b>	Anual

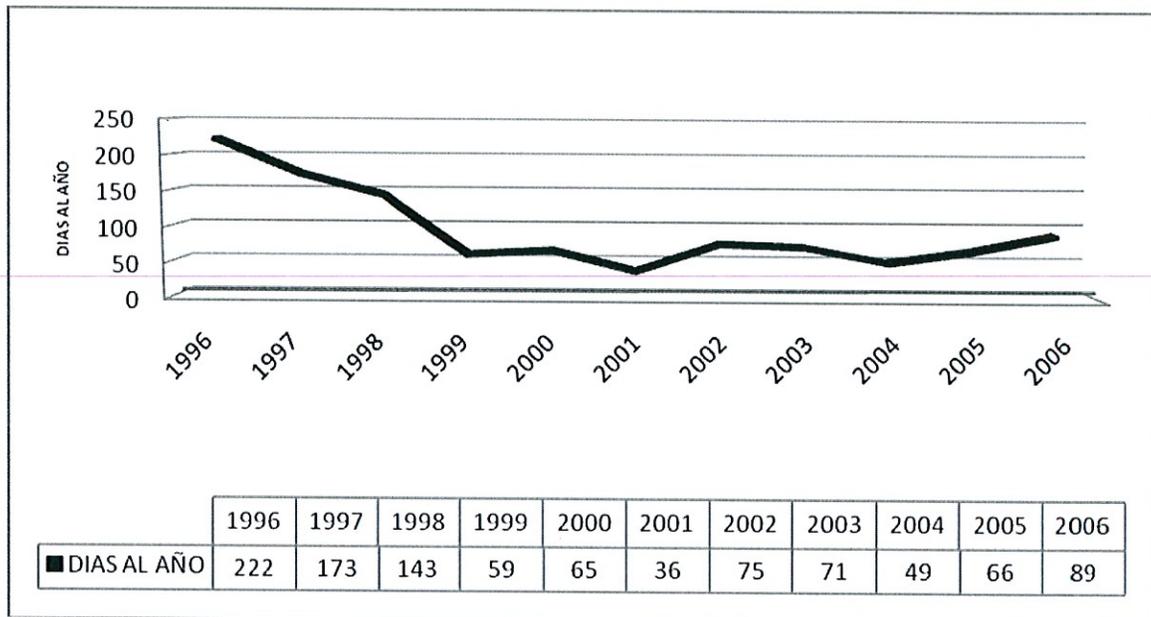


Ilustración 11 Días en que el ozono ( $O_3$ ) rebasa la norma horaria en la ZMG 1996-2006.

El  $O_3$  es uno de los contaminantes que típicamente se encuentra fuera de norma, presentando los niveles más altos en 1996, cuando un 61% de los días del año estuvo fuera de norma presentando niveles de hasta 248 IMECAS. El 2001 es el año de menor registro con un 10% de los días fuera de norma, sin embargo al siguiente año esta tendencia vuelve a incrementarse; a partir del 2004 el indicador muestra una tendencia ascendente.

**Nombre del indicador.** PROMEDIO ANUAL DE  $PM_{10}$

**Definición.** Se refiere a las partículas suspendidas que existen en forma de material sólido o líquido menores a  $10\mu$ . Pueden ser emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias) o formarse por la transformación de emisiones gaseosas (partículas secundarias) como los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (NOM-025-SSA1-2005).

<b>Justificación.</b>	A las PM10 se les considera capaces de bloquear los mecanismos de defensa del aparato respiratorio. Existe evidencia que apoya la asociación entre partículas suspendidas totales (PST) y sobre todo PM10 con mortalidad diaria, especialmente en personas mayores de 65 años o con problemas crónicos respiratorios o cardiovasculares. En un estudio donde se analizaron daños provocados por partículas gruesas (PM <sub>10</sub> -PM <sub>2.5</sub> ), se encontró que por cada 10 µg/m <sup>3</sup> de incremento de este contaminante se asoció un aumento de 4% de las muertes totales diarias (NOM-025-SSA1-2005).
<b>Unidad de medida.</b>	Promedio anual en µg/m <sup>3</sup>
<b>Valor deseable.</b>	< 50 µg/m <sup>3</sup>
<b>Calculo del indicador.</b>	Promedio anual de los valores diarios registrados por hora en las estaciones de monitoreo Miravalle, Loma Dorada y Tlaquepaque.
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica lineal
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Mortalidad por cáncer de pulmón
<b>Fuente de información.</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Jalisco.
<b>Frecuencia de la medición.</b>	Anual

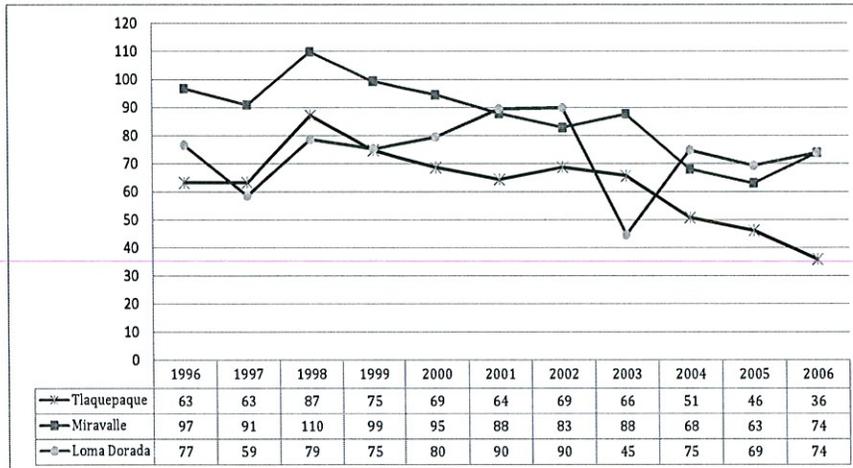


Ilustración 12 Nivel promedio anual de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en las estaciones, Tlaquepaque, Miravalle y Loma Dorada. 1996 -2006

En esta gráfica se resume un periodo de 11 años, en el cual podemos observar la concentración de PM<sub>10</sub>, en la zona sur de la ZMG que debido a las condiciones meteorológicas y geográficas presentan los valores más críticos.

#### 8.1.4. Indicadores de Exposición

<b>Nombre del indicador.</b>	ZONAS CRÍTICAS URBANAS EXPUESTAS A CONTAMINACIÓN DEL AIRE
<b>Definición.</b>	Se consideran zonas criticas de contaminación del aire a las que se ubican dentro de las áreas en las que se reportan las concentraciones de contaminantes atmosféricos mas altas, sobre todo en lo referente a de PM <sub>10</sub> , con una probabilidad de 90% de rebasar la norma anual
<b>Justificación.</b>	Quienes viven en zonas críticas de contaminación del aire presentan un alto riesgo a sufrir daños en su salud y en su calidad de vida por exposición como infecciones respiratorias agudas, asma, enfisema pulmonar, bronconeumonía, enfermedades cardiovasculares, ausencias escolares, días laborales perdidos, incremento de hospitalizaciones y servicios de urgencias por agravamiento de enfermedades respiratorias.
<b>Unidad de</b>	Km <sup>2</sup>

medida.

Valor Cero

deseable.

Calculo del indicador. En base a la delimitación del área de influencia de las estaciones Loma Dorada, Tlaquepaque y Miravalle utilizando el método del polígono de Thiessen, contabilizar el área urbana expuesta en kilómetros cuadrados

Presentación de datos. Gráfica lineal

Relación con otros indicadores. Vehículos con motor diesel

Fuente de información. Guía Roji para superficie de la ZMG  
SEMADES para estaciones de monitoreo.

Frecuencia de la medición. Anual

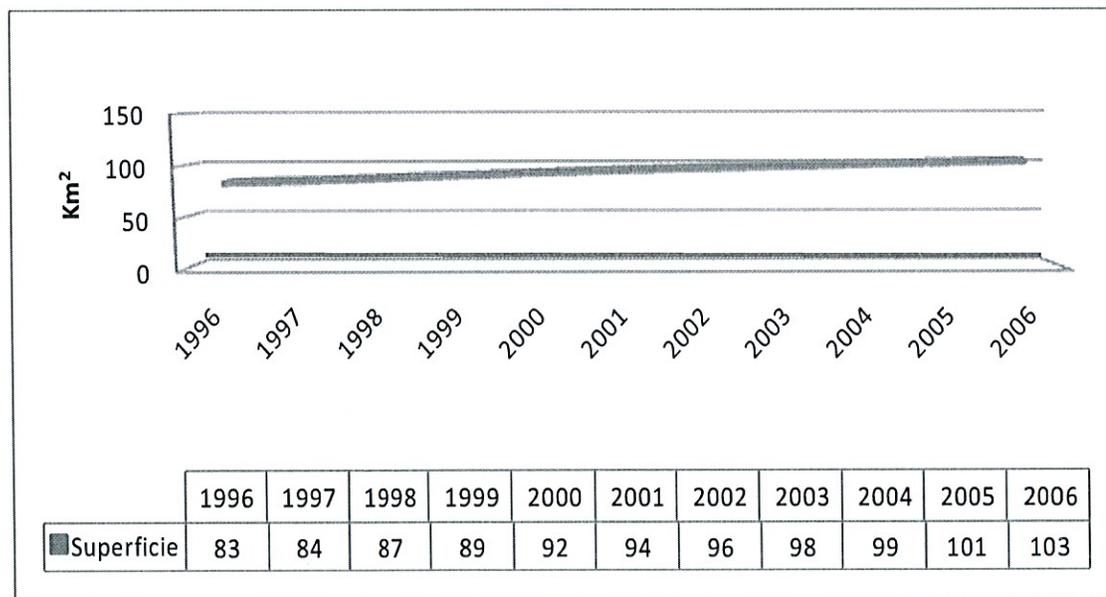


Ilustración 13 Superficie en Km<sup>2</sup>, del área que presenta las condiciones más críticas de contaminación del aire en la ZMG. 1996-2006

Debido a la condiciones meteorológicas y climatológicas que presenta la ZMG, la acumulación de los contaminantes atmosféricos es la zona sur y sur-este, de la ciudad la que presenta las condiciones más críticas de contaminación atmosférica y como consecuencia quienes viven o trabajan en esta área tienen

un mayor exposición a contaminantes como las PM10. En la figura 13 podemos ver la superficie expuesta y su incremento a lo largo de 11 años.

#### 8.1.5. Indicadores de Efecto

<b>Nombre del indicador.</b>	MORTALIDAD POR IRAS
<b>Definición.</b>	<p>Son las muertes a causa de afecciones del aparato respiratorio.</p> <p>Se consideran como infección respiratoria aguda las siguientes afecciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resfriado común.</li> <li>• Faringitis aguda bacteriana.</li> <li>• Otitis media.</li> <li>• Laringitis obstructiva aguda</li> <li>• Bronquitis aguda obstructiva</li> <li>• Neumonía.</li> <li>• Influenza</li> </ul>
<b>Justificación.</b>	<p>Los contaminantes ambientales asociados con infecciones respiratorias agudas (IRA) es una de las causas principales de mortalidad a nivel mundial, principalmente en niños y adultos mayores (65 años y mas), solamente detrás de las afecciones coronarias, cáncer y accidente cerebro vascular. Entre la población infantil menor a cinco años, de tres a cinco millones de defunciones anuales se han atribuido a las IRA, de las cuales el 75% son debido a neumonía (INSP), todo ello relacionado directamente con las emisiones a la atmósfera de los vehículos automotores.</p>
<b>Unidad de medida.</b>	Número de muertes por IRAs
<b>Valor deseable.</b>	Cero muertes por IRAs.
<b>Calculo del indicador.</b>	$\sum (\text{Muertes por IRAS}_{\text{Zapopan}} + \text{Muertes por IRAS}_{\text{Guadalajara}} + \text{Muertes por IRAS}_{\text{Tonalá}} + \text{Muertes por IRAS}_{\text{Tlaquepaque}})$
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica lineal
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Días en que el O <sub>3</sub> rebasa su norma

Fuente de información. Secretaria de Salud Jalisco.

Frecuencia de la medición. Anual

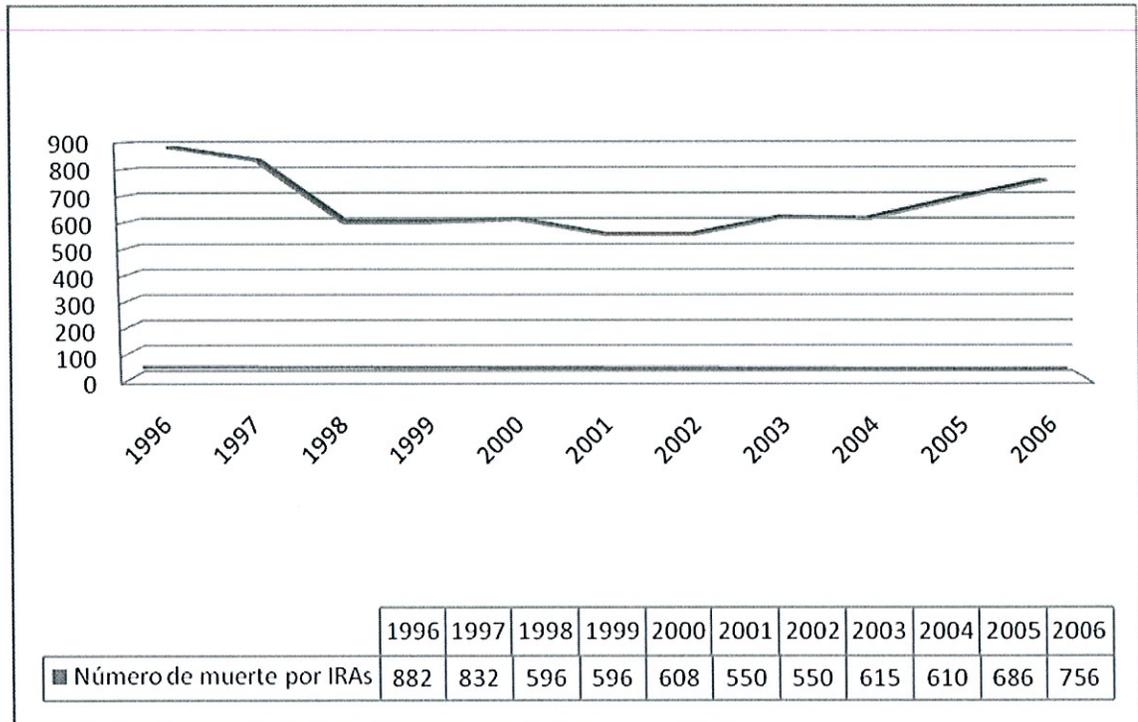


Ilustración 14 Total de muertes reportadas en la ZMG por IRAs durante los años de 1996 al 2006

En esta grafica observamos el comportamiento de la mortalidad por IRAs, con un gran descenso en la mortalidad a finales de los 90's, y se mantiene estable hasta el 2003 y en los tres ultimos años empieza a elevarse.nuevamente.

Nombre del indicador. MORTALIDAD POR CÁNCER DE PULMÓN

Definición. Son las muertes provocadas por un crecimiento incontrolado de células anormales en uno o los dos pulmones. Los tumores deterioran el pulmón y le impiden funcionar apropiadamente.

<b>Justificación.</b>	<p>Jalisco ocupa el tercer lugar a nivel nacional en mortalidad por cáncer pulmonar.</p> <p>Los investigadores han encontrado una relación entre el cáncer de pulmón y la exposición a algunos contaminantes del aire, como los productos que resultan de la combustión del diesel y de otros combustibles fósiles.</p>
<b>Unidad de medida.</b>	Número de muertes por cáncer de pulmón
<b>Valor deseable.</b>	Cero muertes
<b>Calculo del indicador.</b>	$\sum(\text{Muertes por cáncer de pulmón}_{Zapopan} + \text{Muertes por cáncer de pulmón}_{Guadalajara} + \text{Muertes por cáncer de pulmón}_{Tonalá} + \text{Muertes por cáncer de pulmón}_{Tlaquepaque})$
<b>Presentación de datos.</b>	Gráfica Lineal
<b>Relación con otros indicadores.</b>	Promedio anual de PM10
<b>Fuente de información.</b>	Secretaría de Salud Jalisco
<b>Frecuencia de la medición.</b>	Anual

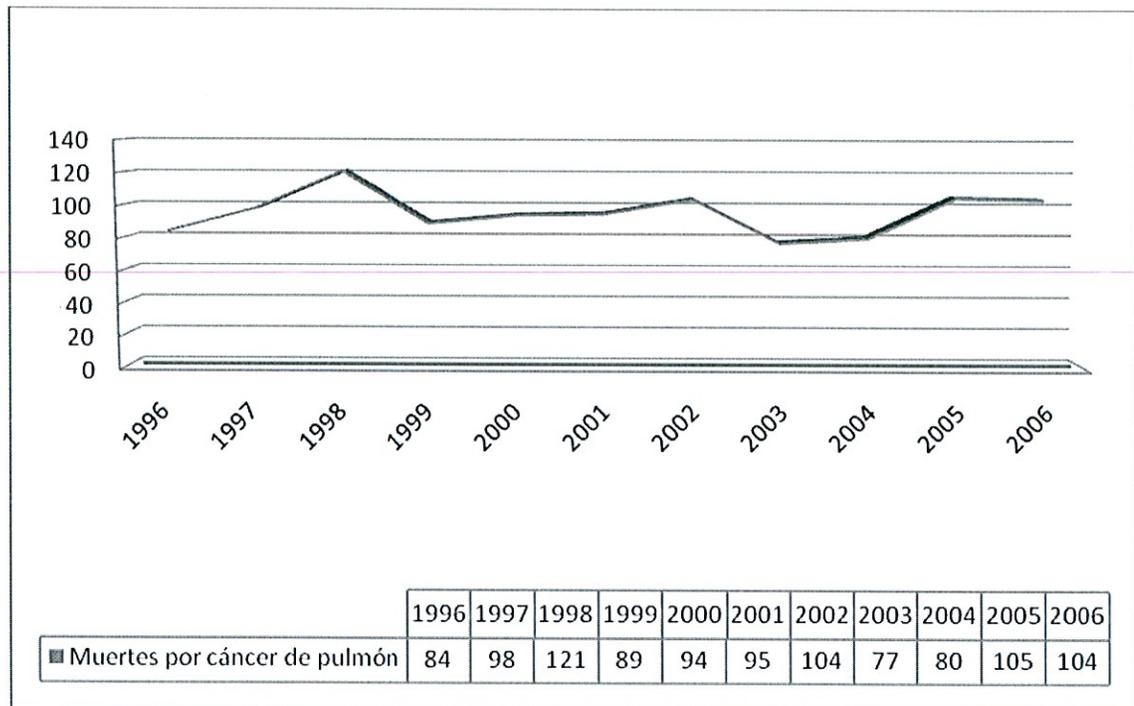


Ilustración 15 Mortalidad por cáncer de pulmón de 1996 al 2006 en la ZMG

## 8.2. Diagrama estrella para la presentación de indicadores

El principal objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema de información basado en indicadores de Salud Ambiental que nos permitiera hacer un diagnóstico de la calidad del aire en la ZMG.

Este diagnóstico se realiza a través del diagrama estrella, que como se mencionó en la metodología, presenta cada indicador en una escala de 0 al 10. Utilizando este diagrama se observa la evolución de todos los indicadores en grupo, y por lo tanto el avance o retroceso de la calidad del aire en la ZMG.

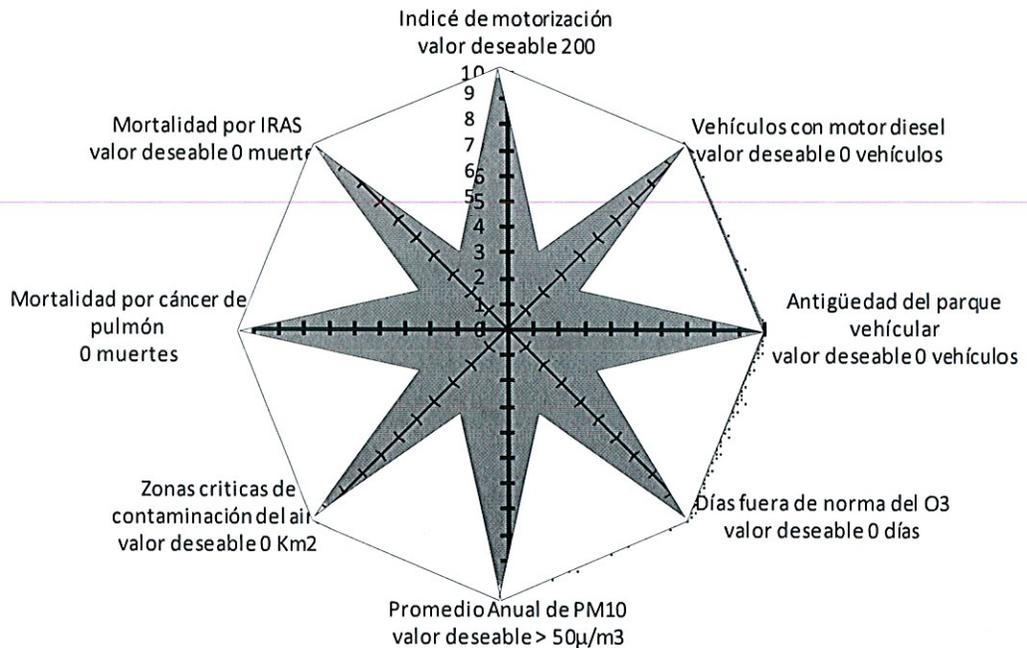


Ilustración 16 Diagrama estrella. Modelo de una situación ideal, donde todos los indicadores alcanzan su valor objetivo

El periodo analizado fue de 11 años (1996-2006). Para cada año se realizó un diagrama estrella, presentados en las figuras 17 a 27.

Para el primer año de estudio (1996) el diagrama muestra un muy buen nivel de calidad del aire. El rayo que corresponde al primer indicador de Fuerzas Impulsoras esta en su nivel objetivo, solo dos indicadores (Días fuera de norma del O<sub>3</sub> y mortalidad por IRAs) se encuentran por debajo del nivel medio.

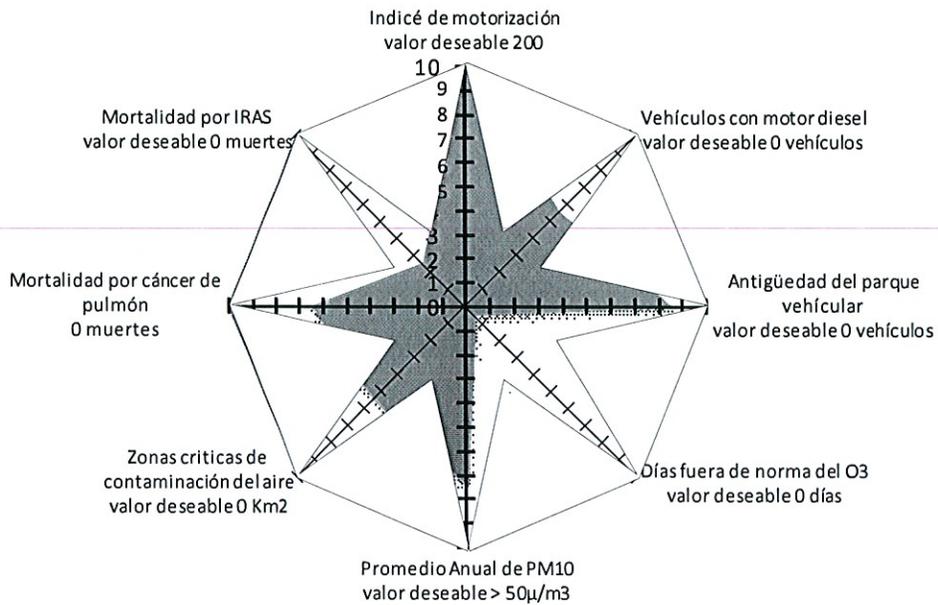


Ilustración 17 Diagrama estrella para los indicadores del año 1996

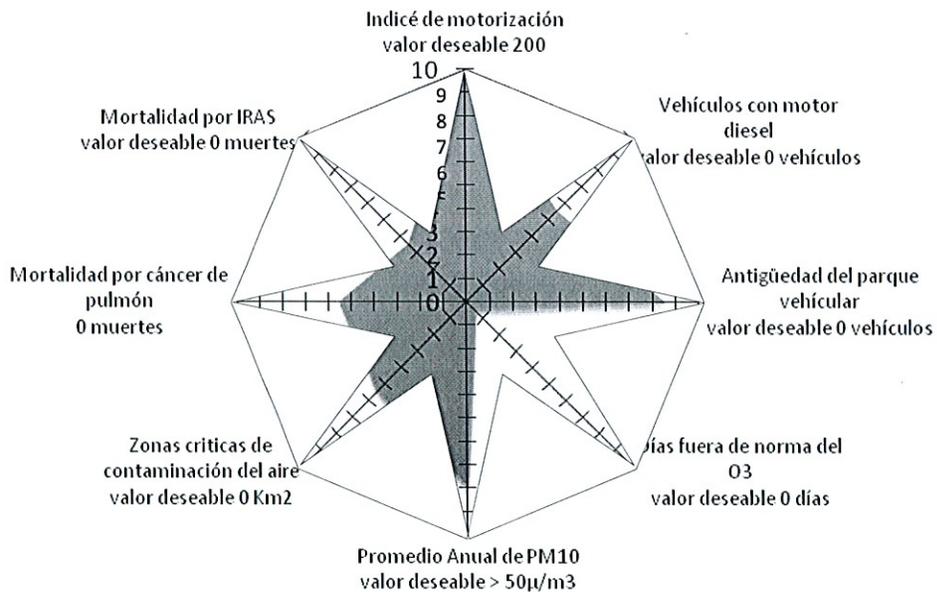


Ilustración 18 Diagrama estrella para los indicadores del año 1997  
 Para este año todos los indicadores están alrededor del punto 5, los más cercanos al nivel objetivo son el índice de motorización y el promedio anual de PM<sub>10</sub>.

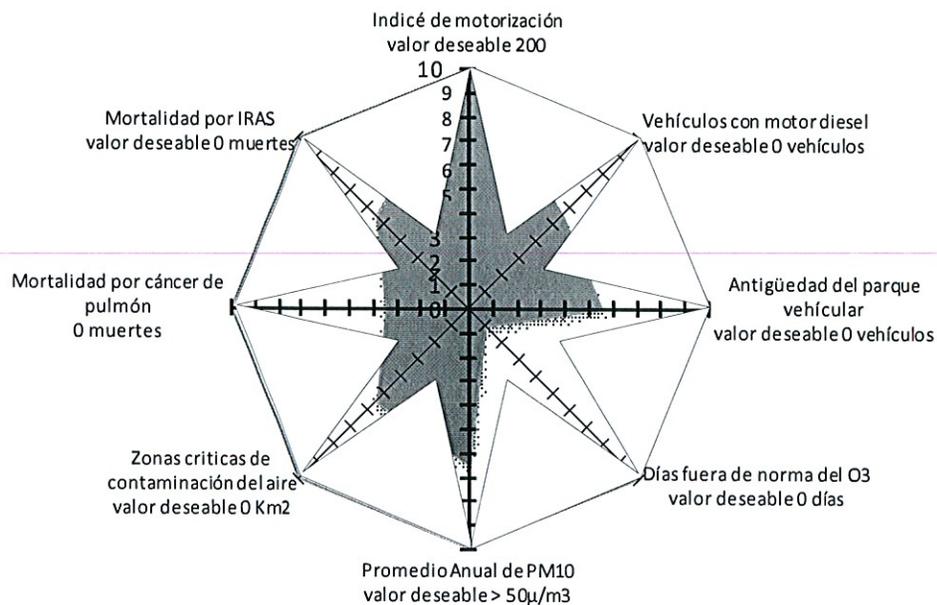


Ilustración 19 Diagrama estrella para los indicadores del año 1998

Para este año indicadores número de vehículos que utilizan motor diesel, días fuera de norma para el O<sub>3</sub>, y mortalidad por IRAs, son los más críticos.

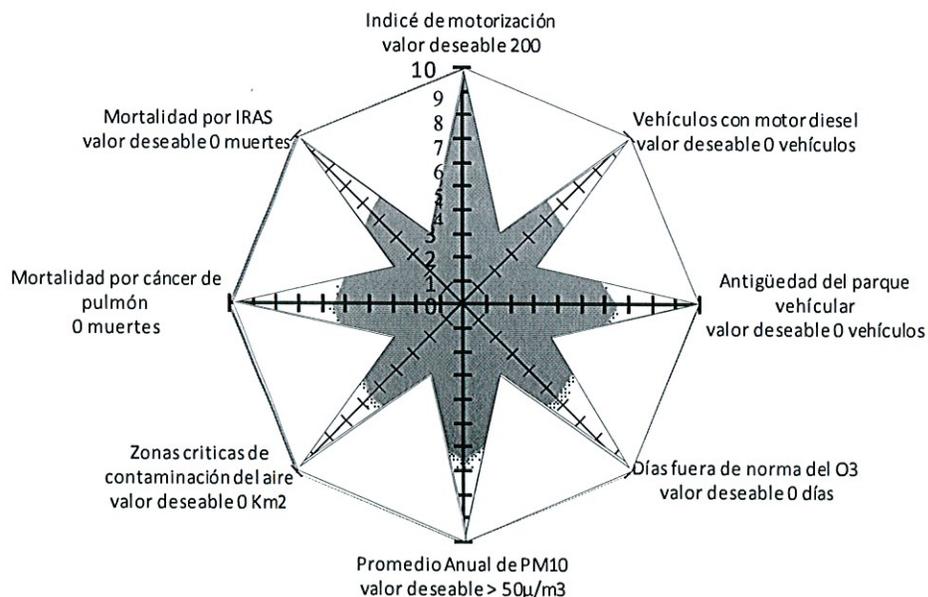


Ilustración 20 Diagrama estrella para los indicadores del año 1999

El índice de motorización, es un indicador que no ha presentado cambios para este año (1999) mantiene su valor objetivo. Sin embargo el resto de los indicadores mantiene una tendencia decreciente, acercándose más al punto cero.

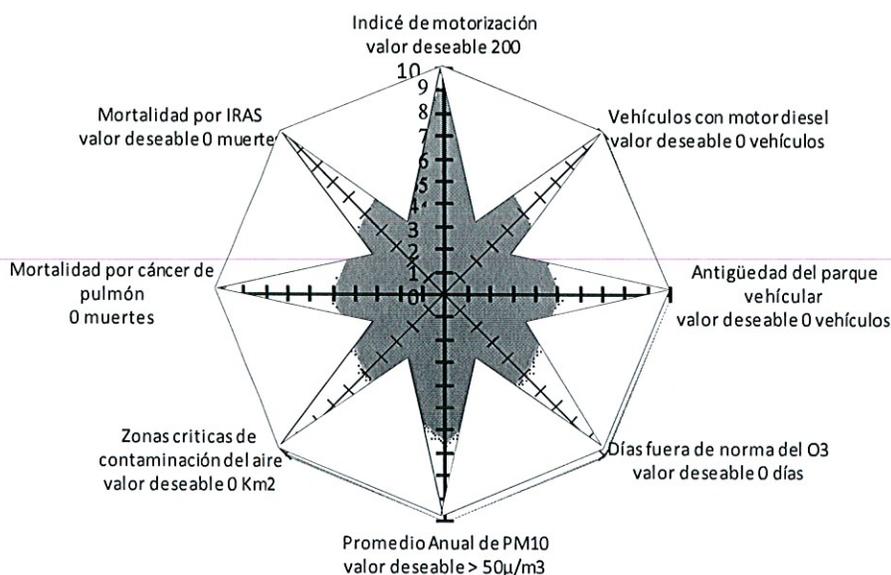


Ilustración 21 Diagrama estrella para los indicadores del año 2000

Este es el año que se toma como punto de referencia en el análisis, para la escala del 1 al 10, es decir el rango para todos los indicadores, es el doble al valor del 2000. La tendencia que han mantenido los indicadores de salud ambiental durante los 90's, continua en el 2000.

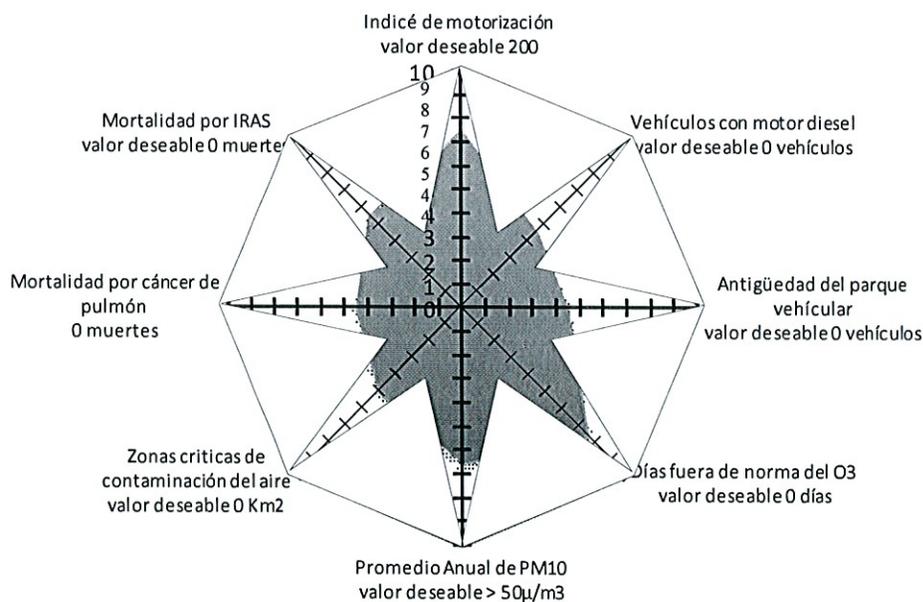


Ilustración 22 Diagrama estrella para los indicadores del año 2001

Para el 2001 hay un cambio en los indicadores de Fuerzas Impulsoras que habían mantenido una tendencia constante, el índice motorización que había permanecido en el punto 10 para este año se encuentra en el 7.5.

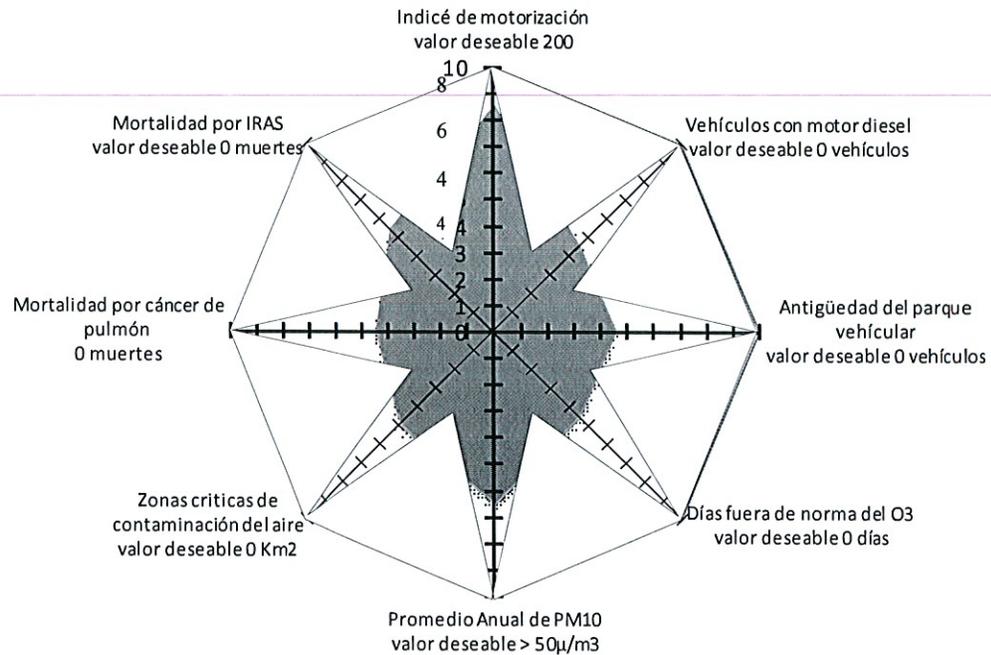


Ilustración 23 Diagrama estrella para los indicadores del año 2002

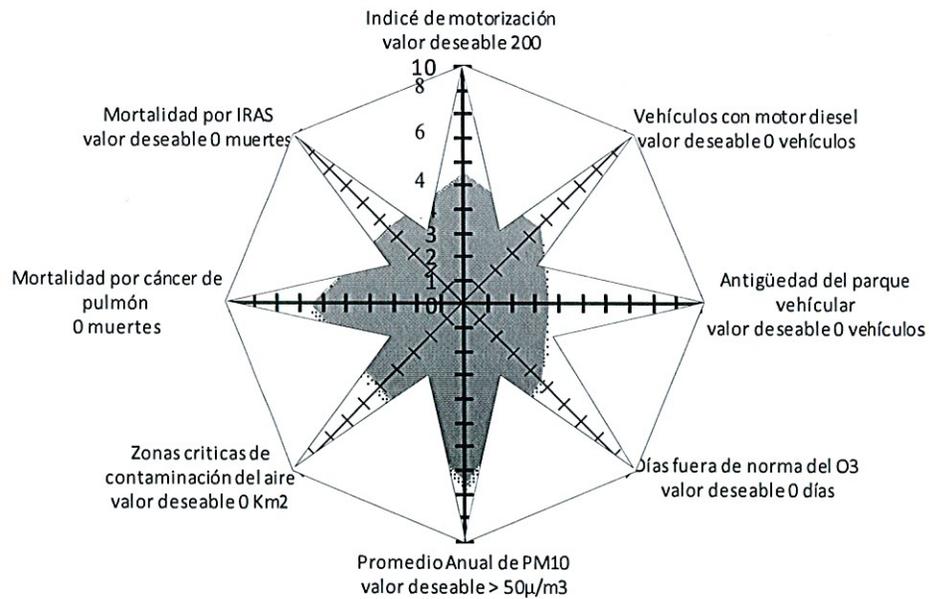


Ilustración 24 Diagrama etrella para los indicadores del año 2003

Considerando la tendencia que hasta el 2002 habían mantenido los indicadores,

el 2003, es el año en que presentan un mayor descenso. La estrella se deforma casi por completo, lo cual indica que la salud ambiental ligada a la calidad del aire en la ZMG se ve dismuida.

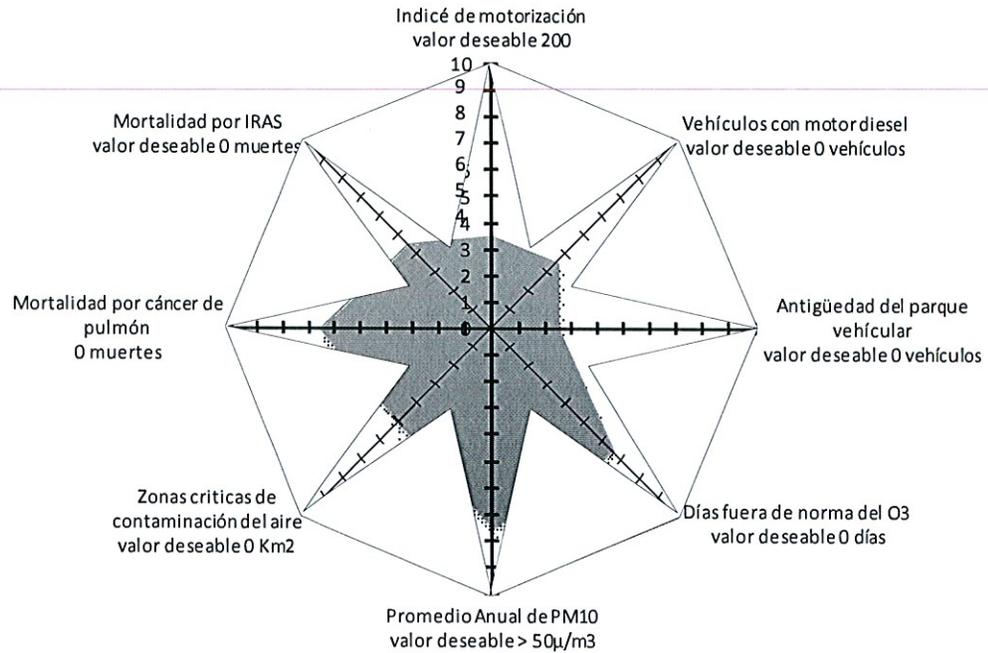


Ilustración 25 Diagrama estrella para los indicadores del año 2004

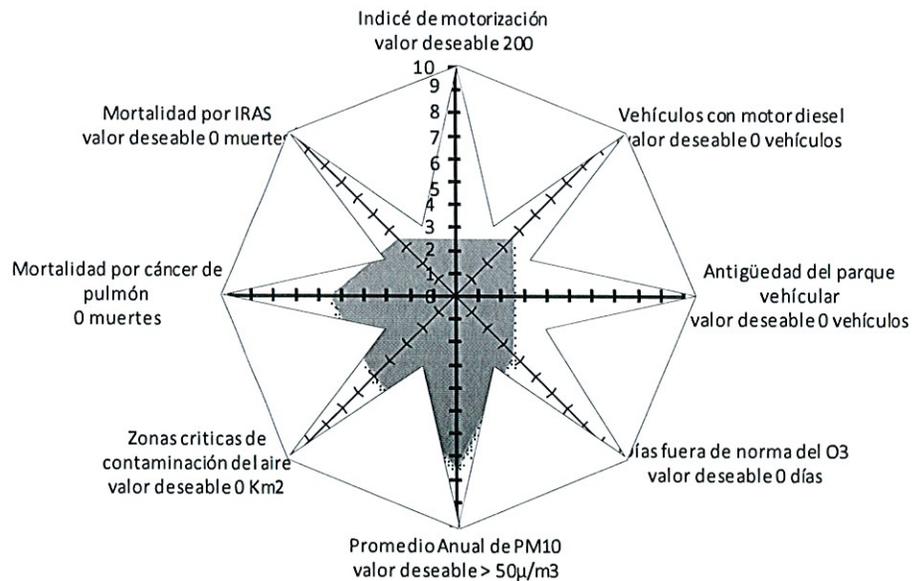


Ilustración 26 Diagrama estrella para los indicadores del año 2005

En esta gráfica observamos como los 8 indicadores se han contraído.

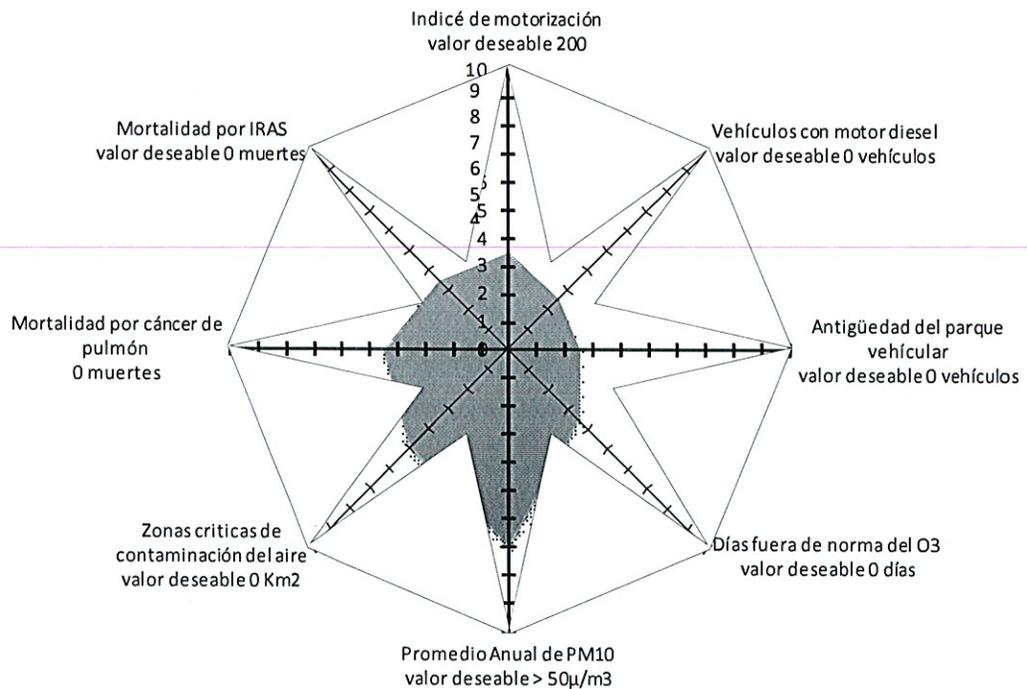
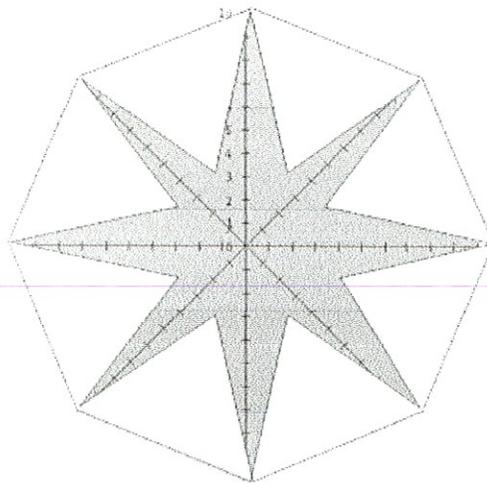


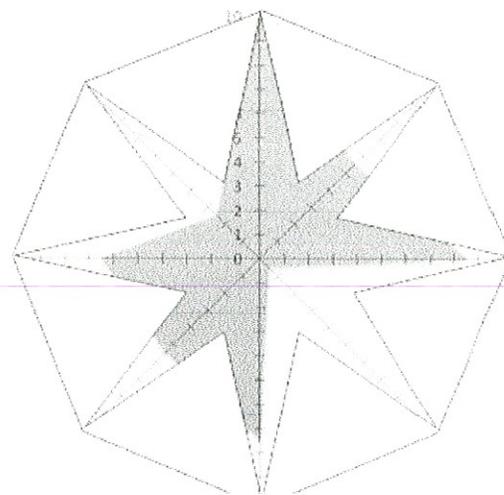
Ilustración 27 Diagrama estrella para los indicadores del año 2006

Para el último año del estudio es notorio el gran deterioro que muestra la salud ambiental en la ZMG a través de calidad del aire. Las Fuerzas Impulsoras, que en la década de los 90's se encontraban en la punta de la estrella son para el 2006 los mas cercanos al centro junto con el indicador de presión.

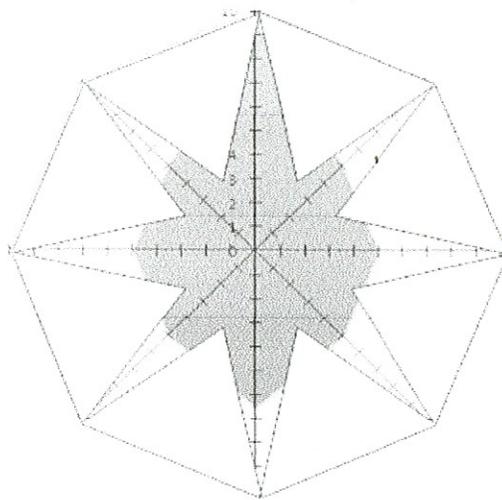
Haciendo un análisis comparativo del diagrama modelo (figura 16), del primer año (1996) esquematizado en la figura 17, del año 2000, mitad del periodo de estudio (figura 21) y el ultimo año estudiado, el 2006 (figura 27) observamos claramente la disminución de la calidad del aire.



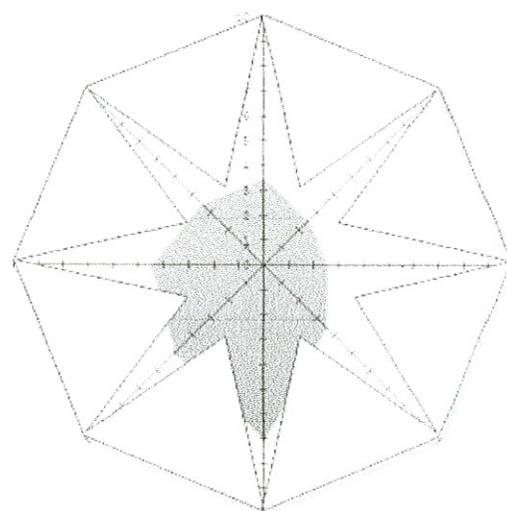
**Modelo teórico**



**Año 1996**



**Año 2000**



**Año 2006**

Ilustración 28. Comparación de la condición de salud ambiental en la ZMG a través de la calidad del aire.

## 9. DISCUSIÓN

La Salud Ambiental, si bien es un abordaje de conocimiento no novedoso, cada vez más es un tema de gran interés social, el reconocer que la salud y el bienestar de una población son determinados por factores ambientales. El aire sin lugar a duda es uno de los factores ambientales mas ligados a la salud ambiental, en parte por estar vinculados de forma permanente la vida de los seres humanos con él, a través de la respiración.

De igual forma, la utilización del modelo “Fuerzas impulsoras-Presiones-Estado-Exposición- Efectos- Acción” ha facilitado una concepción compleja y articulada adecuada para abordar la salud ambiental a través de la calidad del aire en la ZMG.

Dentro de las fuerzas impulsoras del estado de la salud ambiental en la ciudad, la tecnología utilizada para el transporte, sin lugar a dudas es uno de los puntos esenciales, al ser una necesidad humana. En el caso de la ZMG el crecimiento vehicular reflejado en el índice de motorización, es uno de los mejores indicadores que están presentando el deterioro de la salud ambiental en la ciudad. Su forma de crecimiento esta ligado con la manera en que ha crecido la ciudad desdibujándose y dispersándose cada vez más a sitios mas alejados, en donde la dependencia del uso del vehículo se acentúa ante la falta de transporte publico. Además de que el transporte público no cubre todas las áreas de la ciudad, sus motores en base a diesel contribuyen a la presencia de partículas contaminantes peligrosas. En los indicadores se manifiesta que la tendencia en las fuerzas impulsoras del deterioro de la salud ambiental en la ZMG se han incrementado a una velocidad muy acelerada, lo mismo para el caso de las presiones ligadas a emisiones de contaminantes a la atmósfera, que si bien son tres las de mayor importancia: vehículos automotores, industrias e incendios/quemas, los vehículos son la mayor fuerza que se ha visto acrecentada notablemente, con la adición de vehículos antiguos altamente contaminantes y riesgosos.

Con respecto a los indicadores de estado, cuando se analizan los problemas de las 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en los dos contaminantes que han ocasionado contingencias en la ciudad no hay tendencia tan clara como los indicadores de fuerzas impulsoras y presiones, pero lo que sí se presenta con claridad es que Miravalle es una zona que en todos los años monitoreados, se han presentado valores en partículas contaminantes fuera de norma para exposiciones crónicas, siguiendo las estaciones de Loma Dorada y Tlaquepaque que presenta una probabilidad del 90% de rebasar los valores anuales de norma.

Es interesante destacar que en el caso de partículas, los valores no varían al mismo ritmo que las emisiones evaluadas del incremento del parque vehicular, sino que son modificadas principalmente por las fuentes esporádicas de contaminantes, como ha sido el caso de años críticos en incendios forestales, es cuando se denota un incremento en los valores de este indicador.

Lo que sí resulta claro es que en términos de exposición, cada de vez mas una mayor cantidad de habitantes están siendo expuestos a niveles de contaminación del aire dentro de las zonas mas criticas de la ZMG.

Las consecuencias a la salud que pueden derivarse de la exposición a la contaminación del aire son diversas, aun cuando se destaca en primer lugar las enfermedades respiratorias y en segundo lugar las cardiovasculares. En este trabajo se presenta lo referente a muerte por infecciones respiratorias agudas y muertes por cáncer de pulmón. Para el caso de las primeras, hay una ligera tendencia a un incremento y en el caso del cáncer de pulmón destaca su similitud de su tendencia a la de contaminación por partículas, de manera especial en los años más críticos.

Finalmente en el caso del modelo utilizado, y una vez identificados los indicadores, resulta conveniente que para cada uno de ellos, se definan acciones que permitan detener el colapsamiento de la salud ambiental en la ZMG a partir de la contaminación del aire. Sin embargo se podría concluir que hay niveles de prioridad en una actuación con mayor celeridad principalmente en los casos del número de vehículos por habitantes y la antigüedad del parque vehicular, pues sus valores están en situación crítica. Le seguiría el valor de los vehículos con motor diesel, la contaminación por ozono y la mortalidad por infecciones respiratorias agudas.

## 10. CONCLUSIONES

1. El desarrollo de indicadores de salud ambiental en la ZMG se enfrenta a la falta de información accesible y confiable pero a través de la calidad del aire existe una alternativa.
2. La relación de número de vehículos por persona (índice de motorización) se considera un indicador de salud ambiental de Fuerzas Impulsoras en la ZMG, el valor que registra muestra una tendencia que se ha alejado un 76% su valor deseable, estando en lo que es considerado como un indicador de deterioro al bienestar de la ciudad.
3. Los vehículos que utilizan motor diesel, combustible considerado como cancerígeno, han incrementado su volumen en un 84.5%
4. Los vehículos con más 13 años son los que mas contaminantes emiten a la atmosfera, por eso es un indicador presión. Este indicador muestra un mayor incremento a partir del 2001.
5. El O<sub>3</sub> es uno de los contaminantes mas dañinos y uno de los que rebasan la norma establecida constantemente. Los reportes de la RAMAG muestran que en promedio este contaminante está fuera de norma el 30% de los días en un año.
6. La PM<sub>10</sub> son uno de los indicadores más reconocidos nacional e internacionalmente, por su asociación con la mortalidad. En la ZMG las zonas mas afectadas por este contaminantes son las aéreas alrededor de las estaciones de monitoreo Miravalle, Loma Dorada y Tlaquepaque, ya que estas 3 estaciones reportan niveles por arriba de la norma durante los años analizados.
7. A pesar de que es reconocido por los habitantes de la ZMG y por sus autoridades que la zona sur y sur-suroeste son las más afectadas por la contaminación atmosférica, la zonas críticas urbanas expuestas a niveles de riesgo crónico de contaminación aumentó un 25% en superficie.
8. La mortalidad por cáncer de pulmón y a causa de las IRAs son indicadores de efecto que estas dos afecciones son de las más asociadas en la bibliografía con los contaminantes atmosféricos.

Mientras que el cáncer de pulmón se ha incrementado un 24% la mortalidad por IRAs ha disminuido en un 15%.

9. El diagrama estrella facilita el análisis de la salud ambiental. Durante los 90's los indicadores se mantienen constantes, presentando puntuaciones mas bajas. A partir del 2003 se presenta una contracción, lo que significa una perdida de la calidad del aire.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Adriaanse, A. ( 1993). *Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*. The Netherlands. La Haya: general of Environment of the Dutch Ministry of Housing.

Bakkes, J. A., Born, G. J., Helder, J. C., Swater, R. J., Hoppe, C. W., y Parker, j. d. (1994). *An Overview of enviromental Indicators: state of the art and perspectives*. EATR.04-01; Environmental Assessment Sub-Programme, UNEP, Nairobi. 72 p.

Comisión Estatal de Ecología, (1991). Programa de Control de la Contaminación de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Comisión Estatal de Ecología, Gobierno de Jalisco y SEDUE Delegación Jalisco.

Corvalán, C., Kjellström, T. (1995). Health and environment analysis for decision making. *World Health Stat Q* , 48 (2) 71-7.

Corvalán, C., Briggs, D., y Zielhuis, G. (2000). *Decision Making in Environmental Health. From evidence to action*. New York, USA: E & FN SPON, World Health Organization.

Curiel, A.; Ramos A. (2003). Indicadores de sustentabilidad forestal. Propuesta para Jalisco. *De Vinculación y Ciencia* 4 (11) 5-24.

Curiel, A. *et al.* (2006). *Control conjunto de las emisiones locales y globales*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Instituto Nacional de Ecología.

Dockery, D., Pope, C., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., & Fay. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *New England Journal of Medicine*, 329, 1753-1759.

DOF. (1994). Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del aire. Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994.

Comisión Estatal de Ecolgía. (1991). *Programa de Control de la Contaminación de la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara: Comisión Estatal de Ecología, Gobierno de Jalisco y SEDUE delegación Jalisco.

Ehrlich, P. (2005). *Naturalezas Humanas. Genes, culturas y la perspectiva humana* (págs. 527-542). México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.

Ehrlich, P., y Holdren J. (1971). Impact of population Growth. *Science* 171, pp. 1212-17.

Ehrlich, P., Gary, W., Gretchen, D., Jennifer, H., Scott, D., Michael, D., *et al.* (1999). Knowledge and the environment. *Ecological economics* , 267-284.

Feola , G., (2005). Salud y Ambiente en las Americas: Recopilación preliminar de indicadores y desafíos para un enfoque integrador. Taller Satélite: Enfoques Integrados de Salud y Ambiente. Reunión de Ministros de Salud y Ambiente de las Américas. Mar de Plata: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.

Feola, G., y Bazzani, R. (2001). *Challenges and strategies for implementing the ecosystem approach to human health in developing countries: Reflections from regional consultations*. Montevideo: IDRC-Canada, UNEP.

Fusco, G. (2001). Conceptual modelling of the interaction between transportation, land use and the environment as a tool for selecting sustainability indicators of urban morbidity. *12th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography* . Francia.

Gobierno de la ciudad de México (2006). *SIMAT, Sistema de Monitoreo Atmosférico*. Recuperado el 28 de 08 de 2007, de SIMAT, Sistema de Monitoreo Atmosferico: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnimeca.htm#imeca>

Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud. (1996). *Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana de Guadalajara 1997-2001*. Guadalajara, Jalisco, Mexico: Instituto Nacional de Ecología. 219p.

Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Briyant, D., y Woodward, R. (1995). *Environmental indicators: 1995. A Systematic Approach Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Washington D. C.: World Resources Institute.

Holtzman, M., Cunningham, J., Sheller, J., & Irsigler, G. (1979). Effect of ozone on bronchial reactivity. *American Review Respiratory Disease* , 120 (5) 1059-1067.

Indicadores de primera generación para medir los aportes de las universidades al desarrollo sustentable. (2002). *Devinci* (8), 22-27.

Instituto Nacional de Ecología. (1997). *Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México*. México: INE.

Instituto Nacional de Ecología/ Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. (1997). *Programa Ambiental México - Estados Unidos Frontera 2012: Estrategias para el desarrollo de indicadores*. INE/SEMARNAT.

Jesinghaus, J. (1999). A European system of environmental pressure indices, First Volume of the Environmental Pressure Indices Handbook: The indicators: introduction to the political and theoretical background. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Systems, Informatics and Safety (ISIS), Luxembourg, Report No: TP 361.

Johanson, B. L. (1997). *Office of Disease Prevention and Health Promotion, Office of Public Health and Science, Office of the Secretary, U.S. Department of Health and Human Services*. Recuperado el 28 de Agosto de 2008, de Office of Disease Prevention and Health Promotion, Office of Public Health and Science, Office of the Secretary, U.S. Department of Health and Human Services.: <http://www.health.gov/environment/DefinitionsEnvHealth/ehdef2.htm>

Mackenbach, J., Kunst, A., y CWN, L. (1993). Air Pollution, lagged effects of temperature, and mortality: The netherlands 1979-1987. *J Epidemiol Community Health* (47) 121-126.

Ministerio de Medio Ambiente. (1996). *Indicadores Ambientales. una propuesta para España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Munguía, M., y Pérez, J. (2003). La contaminación atmosférica en el sur de la Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias* , (6) 48-53.

Banco Mundial-PNUMA. (2000). *Desarrollo de indicadores. Lecciones aprendidas de America Latina*. Costa Rica: Centro Internacional de Agricultura Tropical-Banco Mundial -Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

OCDE. Organization For Economic Cooperation And Development (1993). *OECD Core set of indicators for environmental performance reviews*.

Environment Monographs # 83. Paris: OECD.

OCDE. Organization For Economic Cooperation And Development. (1994). *Enviromental Indicators and the Enviromental Performance eview of the Netherlands*. Paris:OECD

OMS. Organización mundial de la Salud. (1999) *Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies*. Ginebra: OMS.

OMS. Organización mundial de la Salud. (2003). *Making a difference: Indicators to improve children's environmental health*. Geneva: World Health Organization.

OPS. Organización Panamericana de la Salud. (2002). *La Salud en las Americas*. Washington D. C.: Organización Panamericana de la Salud.

ONU. Organización de las Naciones Unidas. (1992). Agenda 21. Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro (Brasil), 9-14 de junio de 1992

<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter40.htm>

Panamá, Autoridad Nacional del ambiente. (2000). *www.anam.gob.pa*. (A. N. Ambiente, Ed.) Recuperado el 28 de abril de 2006, de [http://www.anam.gob.pa/informe\\_sobre\\_los\\_indicadores/informe\\_sobre\\_los\\_indicadores\\_am.htm](http://www.anam.gob.pa/informe_sobre_los_indicadores/informe_sobre_los_indicadores_am.htm)

PNUMA. Programa de naciones Unidas para el Medio Ambiente (2003). *GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente 2003.*, PNUMA Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Pope, C., Schwartz, J., & Ramson, M. (1992). Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. *Arch Environ Health* (47), 211-217.

Posada de la Paz, M., Carroquina, J., y Soldevilla, L. (2004). Indicadores de Salud Ambiental. *Salud Ambiental*, IV (1-2), 1-7.

Pranciskus, J., y Marija, B. (2007). Quality Factors of a residential environment in urban planning. *International Journal of Environment and Pollution*, 30, 471-484.

Ramírez, M., Aguilar, Pablo. (1996) Medición individualizada sobre exposición

con Dióxido de Nitrógeno en cuatro ciudades de México durante 1996.

Rapport, D., & Friend, A. (1979). Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach. *Statistics Canada* .

Romieu, I., Meneses, F., Sierra, J., Huerta, J., Ruiz Velasco, S., White, M., y otros. (1995). Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City., *American journal of epidemiology* 141(6):546-533.

Schütz, G., Hacon, S., Silva, H., Moreno, A., y Nagatani, K. (2008). Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. *Revista Panamericana de Salud Publica* , 24 (4), 2762-85.

Smith, K., Corvalán, C., y Kjellström, T. (1999). How much global ill health is attributable to environmental factors?. *Epidemiology* , 10 (5). 573-584.

UNEP. United Nations Environment Programme. (2004). Implementing Sustainable Development, Building capacity for integrated policy design and implementation. Geneva, Suiza: UNEP.

Universidad de Guadalajara. (2007). *Sistema Institucional de Indicadores*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

Department of Health and Human Services. (2000). Healthy People in 2010. *Healthy People in 2010*. Washington D. C.

WHO. World Health Organization. (1997). *Health and Environment in sustainable Development -Five Years After the Earth Summit*. Geneva: WHO.